

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**



**ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS A PAVIMENTOS
FLEXIBLES URBANOS EN SUELOS FINOS – APLICACIÓN**

INFORME DE SUFICIENCIA

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

JAIME PABLO SEHENEH ALEJOS

**Lima- Perú
2015**

	Página
RESUMEN	5
LISTA DE CUADROS	6
LISTA DE FIGURAS	8
LISTA DE SÍMBOLOS Y DE SIGLAS	9
INTRODUCCIÓN	10
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO	11
1.1 DEFINICIÓN DE SUELOS	11
1.1.1 Suelos.....	11
1.1.2 Suelos granulares.....	11
1.1.3 Suelos finos.....	14
1.2 CLASIFICACIÓN DE SUELOS.....	15
1.2.1 Sistema de clasificación AASHTO.....	15
1.2.2 Sistema de clasificación SUCS.....	18
1.2.3 Comparación entre el sistema AASHTO y SUCS.....	20
1.3 INVESTIGACIONES GEOTÉCNICAS.....	20
1.3.1 Exploraciones Geotécnicas.....	21
1.3.2 Ensayos de Laboratorio.....	23
1.3.3 Requisitos de los Materiales.....	25
1.3.4 Pruebas de Control de Calidad.....	30
1.4 PAVIMENTOS.....	37
1.4.1 Definición.....	37
1.4.2 Características que debe reunir un pavimento.....	38
1.4.3 Clasificación de los pavimentos.....	38
1.4.4 Selección de tipos de pavimentos.....	39

1.5	ANÁLISIS DE TRÁFICO.....	40	
CAPÍTULO II: METODOLOGÍAS DEL DISEÑO DE LA ESTRUCTURA			
DEL PAVIMENTO FLEXIBLE.....			42
2.1	MÉTODO DE DISEÑO – AASHTO	42	
2.1.1	Volumen vehicular.....	43	
2.1.2	Factor de líneas de tráfico (L).....	44	
2.1.3	Factor de distribución direccional (D).....	44	
2.1.4	Periodo de diseño (Y).....	44	
2.1.5	Confiabilidad (R).....	45	
2.1.6	Desviación Estándar Normalizada	46	
2.1.7	Variabilidad de los datos de entrada	47	
2.1.8	Nivel de servicio (PSI).....	47	
2.1.9	Módulo Resiliente.....	47	
2.1.10	Drenaje.....	49	
2.1.11	Coeficientes Estructurales de los materiales que conforman el pavimento	50	
2.1.12	Número Estructural.....	52	
2.2	MÉTODO DE DISEÑO - INSTITUTO DEL ASFALTO.....	53	
2.2.1	Criterios de diseño.....	54	
2.2.2	Período de diseño y tasa de crecimiento anual.....	58	
2.2.3	Área de contacto y presión de neumático.....	59	
2.2.4	Estimación del tránsito vehicular.....	59	
2.2.5	Evaluación de los materiales.....	60	
2.2.6	Restricciones de tiempo.....	61	
2.2.7	Propiedades de los materiales.....	63	

2.2.8	Factores ambientales.....	64
-------	---------------------------	----

CAPÍTULO III: APLICACIÓN DE LAS METODOLOGÍAS AL DISEÑO DEL		
PAVIMENTO FLEXIBLE EN SUELOS FINOS.....		65
3.1	UBICACIÓN DEL AREA EN ESTUDIO.....	65
3.2	INVESTIGACIONES EFECTUADAS.....	65
3.2.1	Trabajos de campo.....	65
3.2.1.1	Calicatas.....	65
3.2.1.2	Muestreo disturbado.....	66
3.2.1.3	Registro de excavaciones.....	66
3.2.1.4	Densidades naturales.....	66
3.2.2	Ensayos de laboratorio.....	66
3.2.2.1	California Bearing Ratio-CBR.....	67
3.2.3	Clasificación de suelos.....	67
3.2.4	Descripción del perfil estratigráfico.....	68
3.3	DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES.....	68
3.3.1	Método AASHTO.....	68
3.3.1.1	Parámetros de diseño.....	68
3.3.1.2	Diseño de los Espesores del Pavimento.....	71
3.3.2	Método del Instituto del Asfalto.....	72
3.3.2.1	Parámetros de Diseño.....	72
3.3.2.2	Diseño de los Espesores del Pavimento.....	73
CAPÍTULO IV: PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO.....		74
4.1	TRABAJOS PRELIMINARES.....	74
4.2	MOVIMIENTOS DE TIERRA.....	74

4.3	SUB-RASANTE.....	75
4.3.1	Escarificación y homogeneización de la subrasante.....	75
4.3.2	Humectación del suelo de subrasante.....	76
4.3.3	Compactación de la subrasante.....	76
4.4	SUB-BASE GRANULAR.....	77
4.4.1	Colocación del material de sub-base.....	77
4.4.2	Distribución del material de sub-base.....	77
4.4.3	Compactación de la capa de sub-base.....	78
4.5	BASE GRANULAR.....	78
4.6	SARDINELES SUMERGIDOS.....	78
4.7	RIEGO DE IMPRIMACIÓN.....	79
4.7.1.	Materiales empleados en la imprimación.....	79
4.7.2	Condiciones meteorológicas.....	80
4.7.3	Preparación de la superficie para la imprimación.....	80
4.7.4	Riego del material asfáltico sobre la superficie.....	81
4.8	MEZCLA ASFALTICA.....	82
4.8.1	Transporte.....	82
4.8.2	Entrega.....	83
4.8.3	Extensión.....	83
4.8.4	Compactación.....	84
CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		86
5.1	Conclusiones.....	86
5.2	Recomendaciones.....	88
BIBLIOGRAFÍA.....		89
ANEXOS		

RESUMEN

En el presente informe se desarrolla el tema de la “Estudio de mecánica de suelos a pavimentos flexibles urbanos en suelos finos – aplicación”. El cual fue aplicado en un tramo de la prolongación de la Av. Tres, que se ubica en el perímetro de la U.C 02958 Ex. Fundo Hospital Carabayllo Viejo, distrito de Carabayllo, provincia y departamento de Lima.

El informe consta de 5 capítulos principales, los cuales son los siguientes:

Capítulo I: Marco Teórico; Se expone una recopilación de los conocimientos necesarios, conceptos y definiciones aplicables al presente estudio: suelos, investigaciones geotécnicas, pavimentos y análisis de tráfico.

Capítulo II: Metodologías del Diseño de la Estructura del Pavimento Flexible; En este capítulo, se hace énfasis a un enfoque integral cuyo objetivo es asegurar un buen desempeño funcional y estructural del pavimento durante su vida útil. Los métodos que se tratan en el presente informe son dos: El Método AAHSTO – 93 y el Método del Instituto del Asfalto, los cuales son recomendados por la Norma Técnica CE.010 “Pavimentos Urbanos” del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE).

Capítulo III: Aplicación de las Metodologías al Diseño del Pavimento Flexible en Suelos Finos; En este capítulo se precisa la ubicación de área en estudio, los trabajos de campo y ensayos de laboratorio. Con los parámetros obtenidos de la subrasante mas el volumen de transito proyectado, se determinara la estructura del pavimento flexible con las metodologías de diseño expuestas.

Capítulo IV: Procedimiento Constructivo; En este capítulo, se describe los diversos trabajos que se ejecutan en una pavimentación, tipificados como partida y subpartidas.

Capítulo V: Conclusiones y Recomendaciones; Finalmente se concluirá y se recomendará en base a los expuestos en el presente informe.

LISTA DE CUADROS

Cuadro N° 1.1.- Tamaño de los agregados según A.S.T.M.- A.S.C.E	12
Cuadro N° 1.2.- Clasificación de suelos - AASHTO	17
Cuadro N° 1.3.- Símbolos de grupo (SUCS)	18
Cuadro N° 1.4.- Tipología de suelos (SUCS)	18
Cuadro N° 1.5.- Técnicas de investigaciones geotécnicas	21
Cuadro N° 1.6.- Puntos de investigación	22
Cuadro N° 1.7.- Ensayos de Laboratorio	24
Cuadro N° 1.8.- Requerimientos Granulométricos para Sub-Base Granular....	25
Cuadro N° 1.9.- Requerimientos de Calidad para Sub-Base Granular	26
Cuadro N° 1.10.- Requerimientos Granulométricos para Base Granular	26
Cuadro N° 1.11.- Valor Relativo de Soporte, CBR	27
Cuadro N° 1.12.- Requerimientos del Agregado Grueso de Base Granular	27
Cuadro N° 1.13.- Requerimientos del Agregado Fino de Base Granular.....	28
Cuadro N° 1.14.- Requerimientos para los Agregados Gruesos de Mezclas Asfálticas en Caliente.....	28
Cuadro N° 1.15.- Requerimientos para los Agregados Finos de Mezclas Asfálticas en Caliente.....	29
Cuadro N° 1.16.- Requerimientos para Caras Fracturadas	29
Cuadro N° 1.17.- Requerimientos del Equivalente de Arena	29
Cuadro N° 1.18.- Angularidad del Agregado Fino	30
Cuadro N° 1.19.- Gradaciones de los Agregados para Mezclas Asfálticas en Caliente.....	30
Cuadro N° 1.20.- Número de controles de compactación en la subrasante	31
Cuadro N° 1.21.- Frecuencia de Ensayos de Control para Materiales de Sub Base y Base Granulares.....	32
Cuadro N° 1.22.- Frecuencia de Ensayos de Control para mezclas asfálticas...	33
Cuadro N° 1.23.- Cálculo de ejes equivalentes por tipo de eje	41
Cuadro N° 2.1.- Factor de distribución por carril	44
Cuadro N° 2.2.- Período de diseño en función del tipo de carretera	45
Cuadro N° 2.3.- Niveles de confiabilidad R (%) según las clases de vías	46
Cuadro N° 2.4.- Desviación estándar normalizada vs. Factor confiabilidad	46
Cuadro N° 2.5.- Capacidad del drenaje para remover la humedad	49
Cuadro N° 2.6.- Coeficientes de drenajes para la base y subbase	49
Cuadro N° 2.7.- Espesores mínimos en pulgadas, en función de ESAL	50

Cuadro N° 2.8.- Porcentaje de camiones según número de carriles	56
Cuadro N° 2.9.- Factores de equivalencia de carga para diferentes configuraciones de ejes y cargas.....	57
Cuadro N° 2.10.- Tasa de crecimiento anual	58
Cuadro N° 2.11.- Valor percentil para el diseño de subrasante.....	62
Cuadro N° 2.12.- Diferentes pruebas, con materiales de base y subbase	63
Cuadro N° 2.13.- Espesor mínimo de para superficies de concreto asfáltico.	63
Cuadro N° 2.14.- Espesores de concreto asfáltico sobre bases granulares.....	64
Cuadro N° 2.15.- Grados de asfalto de acuerdo el tipo de clima	64
Cuadro N° 3.1.- Calicatas.....	65
Cuadro N° 3.2.- Densidades.....	66
Cuadro N° 3.3.- Clasificación de Suelos.....	67
Cuadro N° 3.4.- Cuadro de resumen de datos obtenidos.....	71
Cuadro N° 3.5.- Espesores finales metodología AASHTO.....	72
Cuadro N° 3.6.- Espesores finales metodología Instituto del Asfalto.....	73

LISTA DE FIGURAS

Figura N° 1.1.- Distribución del esfuerzos de un suelo granular.....	13
Figura N° 1.2.- Distribución del esfuerzos de un suelo fino.....	15
Figura N° 1.3.- Carta de Casagrande.....	19
Figura N° 1.4.- Estructura de un Pavimento.....	37
Figura N° 1.5.- Estructura de un Pavimento Flexible.....	39
Figura N° 1.6.- Estructura de un Pavimento Rígido.....	39
Figura N° 2.1.- Valores de coeficiente estructural para mezclas de concreto asfáltico.....	51
Figura N° 2.2.- Valores de coeficiente estructural para base granular no tratada.....	51
Figura N° 2.3.- Valores de coeficiente estructural para subbase granular no tratada.....	52
Figura N° 2.4.- Deformaciones Unitarias en el Pavimento	55
Figura N° 2.5.- Factor de ajuste de los ejes equivalentes por presión de llantas.....	59
Figura N° 3.1.- Nomograma para determinar el Número Estructural.....	70
Figura N° 4.1.- Escarificación de la superficie de la subrasante.....	75
Figura N° 4.2.- Humectación del material de subrasante.....	76
Figura N° 4.3.- Rodillo pata de cabra para suelo fino.....	77
Figura N° 4.4.- Sardinell sumergido de 0.15x0.30 m.....	79
Figura N° 4.5.- Riego del material asfáltico.....	80
Figura N° 4.6.- Barrido con sopleteo.....	81
Figura N° 4.7.- Base granular Impregnada con Emulsión Asfáltica	82
Figura N° 4.8.- Descargue del asfalto a la pavimentadora.....	83
Figura N° 4.9.- Pavimentadora o finisher.....	84
Figura N° 4.10.-Compactación de la carpeta asfáltica.....	85

LISTA DE SÍMBOLOS Y DE SIGLAS

σ	: Esfuerzo normal total
τ	: Esfuerzo de corte
φ	: Angulo de fricción Interna (°)
ϵ	: Deformación
c	: Cohesión
AASHTO	: American Association of State Highway and Transportation Officials
ASTM	: American Society for Testing and Materials
CBR	: California Bearing Ratio
EAL	: Número de Ejes Equivalentes
IMD	: Índice Medio Diario.
MTC	: Ministerio de Transportes y Comunicaciones
SUCS	: Sistema Unificado de Clasificación de Suelo

INTRODUCCIÓN

Este trabajo constituye dentro de la Ingeniería Civil en el diseño de Pavimentos Flexibles y el conocimiento de la Mecánica de Suelos en la elaboración de los diferentes Métodos para diseñar los espesores de la estructura del pavimento.

Este Perfil está Elaborado en 3 aspectos básicos.

Un aspecto Teórico donde se dan los alcances para poder desarrollar todos los puntos que consterne este tema.

Trabajos de campo, ensayos de laboratorio, procedimiento de diseño de Pavimentos, procedimiento constructivo y por ultimo un aspecto aplicativo.

En la actualidad la tecnología de los pavimentos flexibles se ha desarrollado a tal grado de nueva especialidades dado en nuestro medio la información especializada en el campo de la Mecánica de Suelos en pavimentos flexibles se encuentra muy dispersa.

En este trabajo damos definiciones sencillas de los elementos básicos de la Mecánica de los Suelos aplicados a una base, subbase y subrasante para un diseño de un pavimento flexible; así como la definición de un pavimento que se diseña y se construyen técnicamente con materiales apropiados y debidamente compactados.

Clasificación Tipos de Usos, en donde se describen los pavimentos flexibles, conformadas con una carpeta asfáltica bituminosa en donde se apoyan en una o dos capas no rígidas, los pavimentos Semi rígidos o semi flexibles ,en la que una de sus capas se encuentran rígidas artificialmente por un aditivo que puede ser asfalto, emulsión, cemento, cal o químicos. Los pavimentos rígidos que constituyen por una losa de concreto hidráulico apoyado sobre la subrasante o en otras como la sub base que dicha capacidad estructural depende de la resistencia de la losa y los pavimentos Articulados conformadas por una capa de rodadura elaborada con bloques de concreto o adoquines en la que se apoya una base granular o directamente sobre la subrasante.

Condiciones que deben cumplir un pavimento flexible , se encuentran alas de impacto, de intemperismo, textura superficial adoptada a velocidades resistente al desgaste abrasivo, presentan una regularidad superficial como transversal, longitudinal, debe ser durable, bien drenada, ruido de rodadura moderado, debe ser económico color adecuado para evitar reflejos y deslumbramientos.

La selección de tipos de pavimento es complejo pero la decisión económica es la que cuenta y siempre se inclinara por el más bajo.

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO.

1.1 DEFINICIÓN DE SUELOS

1.1.1 Suelos

Desde el punto de vista ingenieril, se define como suelo a un agregado natural no cementado de granos minerales con o sin componentes orgánico, en su conjunto se encuentra conformado por partículas sólidas, líquido y gases, en la práctica el líquido y los gases son generalmente el agua y el aire respectivamente. Los vacíos entre las partículas sólidas están llenos de agua o de aire o de ambos.

Por otro lado el suelo posee una organización de sus partículas por estratos y con propiedades que varían rápidamente en dirección vertical que en la horizontal.

El ingeniero, compara al suelo como un material de construcción que tienen una importante influencia en el diseño y construcción de una obra de ingeniería (Das, 1999).

1.1.2 Suelos granulares.

Proviene de la erosión física de las rocas, por tanto conservan las propiedades de la roca que les dio origen. Estos suelos, al estado limpio y puro no poseen cohesión solamente fricción o trabazón entre sí, de allí su nombre de friccionante.

A éstos suelos independientemente a su forma, dureza, color, etc., en orden de tamaños decrecientes, se les denomina como sigue: Rocas sueltas, boleas, cantos rodados, gravas, arenas, limos y arcillas en bajísimos porcentajes menores del 15% que pasa la malla N° 200 y por lo general poseen una baja a mediana plasticidad como son los ML y CL. Las dimensiones convencionales de estos suelos véase en el Cuadro N° 1.1.

Cuadro N° 1.1: Tamaño de los agregados según A.S.T.M. – A.S.C.E

Nombre	Tamaño
Boleo	12 pulg. (30.5 cm.) ó más
Canto rodado	3 pulg. (7.6 cm.) a 12 pulg. (30.5 cm.)
Grava gruesa	¾ pulg. (1.9 cm.) a 3 pulg. (7.6 cm.)
Grava fina	T. N° 4 (4.76 mm.) a ¾ pulg. (1.9 cm.)
Arena gruesa	T. N° 10 (2 mm.) a T. N° 4 (4.76 mm.)
Arena media	T. N° 40 (0.42 mm.) a T. N° 10 (2 mm.)
Arena fina	T. N° 200 (0.074 mm.) a T. N° 40 (0.42 mm.)

Fuente: Elaboración propia

Rocas sueltas.- No existe una frontera definida entre roca y suelos, sin embargo como el tránsito de roca a suelo es un proceso, se considera a las “rocas sueltas” como suelo.

En general estos suelos provienen de acarreo de bloques de rocas sueltas por las aguas de los ríos y glaciares. La intensidad de la erosión mecánica sufrida en el arrastre determina la forma de estas piedras, que pueden ser angulares, redondeadas, cúbicas ó en lascas. Sus dimensiones son variables (aproximadamente de 1/2 m. a más). Estos suelos son inestables sobre todo cuando son acumulaciones de grandes tamaños de piedras y depositados en laderas abruptas.

Boleos y bloques.- Son suelos conformados por piedras de formas variables, desde los redondeados hasta los angulosos. Sus dimensiones pueden oscilar desde 30.5 cm. a más.

Cantos rodados.- Son suelos que provienen de pequeñas piedras que han sido rodadas por acción de las aguas de los ríos ó por el oleaje de las aguas del mar sus dimensiones varían entre 7.5 cm. y 30.5 cm.

Gravas.- Denominados también “ripios”, son agregados sin cohesión de fragmentos angulares ó redondeados. Estos suelos son típicamente arrastrados por los ríos y en su avance se van desmenuzando por abrasión, puliéndose parcialmente. Sus dimensiones varían entre 4.76 mm. y 7.60 cm.

Arenas.- Son suelos sin cohesión, cuando provienen de un transporte fluvial son generalmente de granulometría heterogénea. En la práctica de la Ingeniería Civil se conocen como agregados finos. Al tacto son fuertemente rugosos salvo las arenas muy finas que tiene rugosidad apenas perceptible. Sus dimensiones oscilan entre 0.075 mm. y 4.76 mm.

Las arenas densas constituyen suelos de buena capacidad de carga, contrariamente las arenas sueltas ó flojas con densidad inferior a la crítica, debido a pequeñas perturbaciones suelen causar asientos repentinos considerables.

En general la conformación de estos suelos granulares pueden ser los A-1a y A-1b siendo éstos de buena calidad y usados en la base y sub-base de la estructura de un pavimento.

Limos y Arcillas.- Son suelos de grano fino con poca o nada de plasticidad. Al tacto dan la sensación de talco o harina. Estos se pueden utilizar para estabilizar un suelo granular sin cohesión. Por ejm. Una arena mal gradada de Villa El Salvador. La figura N° 1.1 la muestra, la distribución del esfuerzo de corte con el esfuerzo normal.

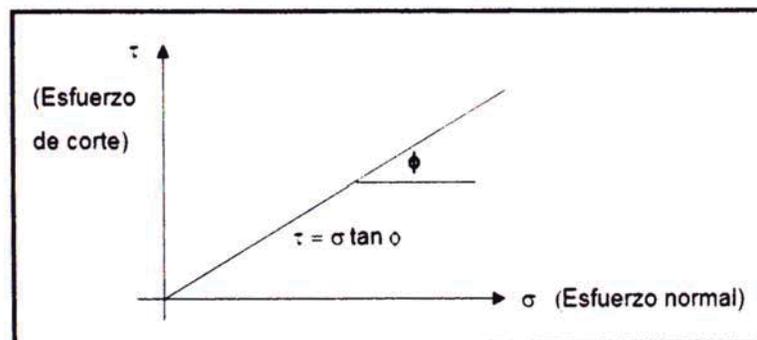


Figura N° 1.1.- Distribución del esfuerzos de un suelo granular.

Fuente: Elaboración propia

Donde:

- σ : Esfuerzo normal que actúa en el plano de deslizamiento
- ϕ : Ángulo de fricción interna
- C : Cohesión aparente
- τ : Esfuerzo cortante a lo largo del plano de deslizamiento

1.1.3 Suelos finos.

Suelos que tienen como característica fundamental la cohesión, en algunos suelos la cohesión está ligada casi exclusivamente a las partículas de menor tamaño como la arcilla.

Arcilla (Definición en Mineralogía). - Es un conjunto de minerales constituidos básicamente por silicatos de aluminio de composición y estructura cristalina muy variadas.

Arcilla (Definición en Mecánica de Suelos). - La palabra arcilla tiene dos sentidos que, aunque íntimamente están relacionados entre sí, no significa la misma cosa:

Por una parte se llama arcilla al conjunto de partículas de unos suelos de tamaño inferior a dos micras (algunas clasificaciones dan como límite cinco micras y otros una micra); mientras que por otra se entiende por arcilla; a un suelo que en su conjunto, se comporta como un material plástico. La arcilla como parte integrante en la composición de la fracción fina del suelo básicamente está compuesta por silicatos de aluminio hidratados cuyos átomos se disponen en láminas: la sílica y la aluminica. Los minerales que se encuentran con mayor frecuencia en las arcillas son: la caolinita, la ilita, y las montmorillonita. La presencia de la montmorillonita en un porcentaje promedio del 25% puede ser problema a cambio de humedad originándose la expansividad de la masa del suelo y creando problemas de levantamientos de la estructura del pavimento.

Una propiedad física importante de las arcillas es el estado plástico definido por el índice de plasticidad (IP); que es la diferencia entre el límite líquido (LL) y el límite plástico (LP), siendo un criterio muy útil para determinar las características plásticas de dicho suelo donde: $IP = LL - LP$. En la que los esfuerzos cortantes a lo largo del plano de deslizamiento es igual a la cohesión aparente y el ángulo es cero ($\tau = c$ y $\phi = 0$) como se presencia en la figura N° 1.2.

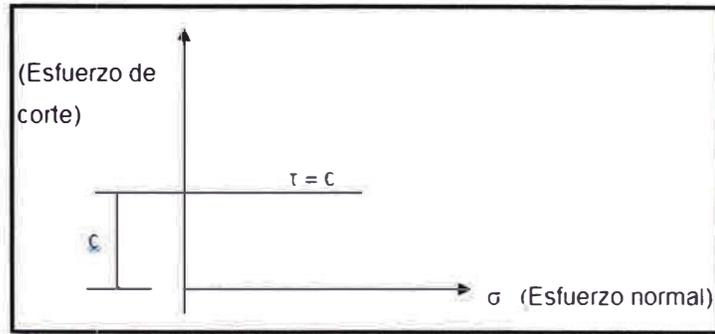


Figura N° 1.2.- Distribución del esfuerzos de un suelo fino.

Fuente: Elaboración propia

Donde:

- σ : Esfuerzo normal que actúa en el plano de deslizamiento
 c : Cohesión aparente
 τ : Esfuerzo cortante a lo largo del plano de deslizamiento.

1.2 CLASIFICACIÓN DE SUELOS

1.2.1.- Sistema de clasificación AASHTO:

Este sistema describe un procedimiento para clasificar suelos en siete grupos, basado en granulometría, límite líquido e índice de plasticidad. La evaluación en cada grupo se hace mediante un "índice de grupo".

Descripción de los grupos de clasificación

- Suelos granulares: Son aquellos que tienen 35% o menos, del material fino que pasa el tamiz No. 200. Estos suelos forman los grupos A-1, A-2 y A-3
- Suelos finos limo arcillosos: Contiene más del 35% del material fino que pasa el tamiz número 200. Estos suelos constituyen los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7.

Índice de grupo: Aquellos suelos que tienen un comportamiento similar se hallan dentro de un mismo grupo, y están representados por un determinado índice. La clasificación de un suelo en un determinado grupo se basa en su límite de líquido, grado de plasticidad y porcentaje de material fino que pasa el tamiz número 200. Los índices de grupo de los suelos granulares están limosos,

entre 8 y 12 y los de suelos arcillosos, entre 11 y 20, o más. Cuando se indica un índice de grupo hay que colocarlo entre paréntesis. Así, por ejemplo, A-2-4 (1), quiere decir un suelo A-2-4 cuyo índice de grupo es 1.

El índice de grupo se calcula con la fórmula:

$$IG = (F-35) [0.2 + 0.005 (LL-40)] + 0.01 (F-15) (IP-10)$$

Donde:

IG = Índice de grupo

F = Porcentaje del suelo que pasa por el tamiz No. 200 expresado como número entero.

LL = Límite líquido

IP = Índice de plasticidad

El índice de grupo siempre se reporta aproximadamente al número entero más cercano, a menos que su valor calculados sea negativo, en cuyo caso se reporta como cero.

El cuadro N° 1.2 presenta los límites para la clasificación de suelos por el sistema AASHTO.

Cuadro N° 1.2: Clasificación de suelos AASHTO.

DIVISIÓN GENERAL	Materiales Granulares (pasa menos del 35% por el tamiz ASTM #200)							Materiales Limo-arcillosos (más del 35% por el tamiz ASTM #200)					
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7		
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5	A-7-6	
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (% que pasa por cada tamiz)													
Serie ASTM	#10	≤ 50											
	#40	≤ 30	≤ 50	≥ 51									
	#200	≤ 15	≤ 25	≤ 10	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≥ 36	≥ 36	≥ 36	≥ 36	≥ 36
ESTADO DE CONSISTENCIA (de la fracción de suelo que pasa por el tamiz ASTM #40)													
Límite líquido			NP	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	>41 (IP<LL-30)	>41 (IP>LL-30)	
Índice de plasticidad	≤ 6			≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≥ 11	≥ 11
ÍNDICE DE GRUPO	0	0	0	0	≤ 4	≤ 8	≤ 12	≤ 20	≤ 20	≤ 20	≤ 20	≤ 20	≤ 20
TIPOLOGÍA	Fragmentos de piedra, grava y arena		Arena fina	Gravas y arenas limosas o arcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos			
CALIDAD	EXCELENTE A BUENA						ACEPTABLE A MALA						

1.2.2.- Sistema de clasificación SUCS.

Se basa en el sistema de clasificación desarrollado por Casagrande durante la Segunda Guerra Mundial. Con algunas modificaciones fue aprobado conjuntamente por varias agencias de gobierno de los EE.UU. en 1952. Refinamientos adicionales fueron hechos y actualmente está estandarizado como la norma ASTM D 2487-93.

Este sistema de clasificación se vale de unos símbolos de grupo, consistente en un prefijo que designa la composición del suelo y un sufijo que matiza sus propiedades. En el cuadro N° 1.3 se muestran dichos símbolos y sus significados.

Cuadro N° 1.3: Símbolos de grupo (SUCS)

TIPO DE SUELO	PREFIJO	SUBGRUPO	SUFIJO
Grava	G	Bien graduado	W
Arena	S	Pobremente graduado	P
Limo	M	Limoso	M
Arcilla	C	Arcilloso	C
orgánico	O	Límite líquido alto (>50)	L
Turba	Pt	Límite líquido bajo (<50)	H

Fuente: elaboración propia

En función de estos símbolos, pueden establecerse diferentes combinaciones que definen uno y otro tipo de suelo, como se muestra en el cuadro N° 1.4.

Cuadro N° 1.4: Tipología de suelos (SUCS)

SIMBOLOS	Características generales		
GW	GRAVAS (>50% EN TAMIZ #4 ASTM)	LIMPIAS	Bien graduadas
GP		(Finos <5%)	Pobremente graduadas
GM		Con finos	Componente limoso
GC		(Finos >12%)	Componente arcilloso
SW	ARENAS (>50% EN TAMIZ #4 ASTM)	Limpias (Finos	Bien graduadas
SP		<5%)	Pobremente graduadas
SM		Con finos	Componente limoso
SC		(Finos >12%)	Componente arcilloso
ML	LIMOS	Baja plasticidad (LL<50)	
MH		Alta plasticidad (LL>50)	
CL	ARCILLAS	Baja plasticidad (LL<50)	
CH		Alta plasticidad (LL>50)	
OL	SUELOS	Baja plasticidad (LL<50)	
OH	ORGANICOS	Alta plasticidad (LL>50)	
Pt	TURBA	Suelos altamente orgánicos	

Fuente: elaboración propia

Como puede distinguirse en el cuadro anterior, existe una clara distinción entre tres grandes grupos de suelos:

- Suelos de grano grueso (G y S) que son de naturaleza tipo grava y arena con menos del 50% pasando por la malla No. 200.
- Los suelos de grano fino (M y C), formados por suelos con al menos un 50% de contenido en limos y arcillas.
- Suelos orgánicos (O, Pt), constituido fundamentalmente por materia orgánica. Son inservibles como terreno de cimentación.

Asimismo, dentro de la tipología expuesta pueden existir casos intermedios, empleándose una doble nomenclatura; por ejemplo, una grava bien graduada que contenga entre un 5 y un 12% de finos se clasificara como GW-GM.

La clasificación de los suelos finos se hace con la carta de plasticidad.(Figura N°1.3), en la que sus diferentes zonas aparecen delimitadas por dos líneas básicas: la Línea A que separa las arcillas de los limos y suelos orgánicos; la línea B que separa los suelos de alta y baja compresibilidad.

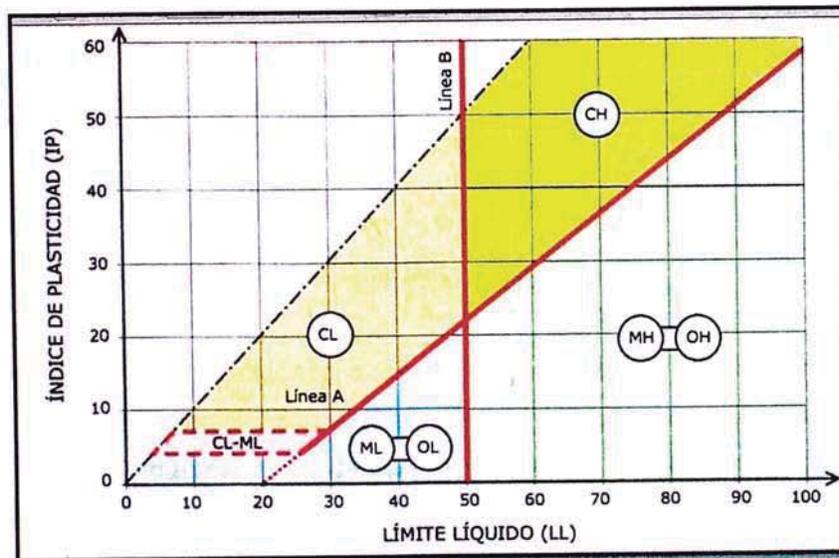


Figura N° 1.3.- Carta de Casagrande.

1.2.3 Comparación entre el sistema AASHTO Y EL SUCS.

Ambos sistemas están basados en la textura y la plasticidad del suelo. Ambos sistemas dividen los suelos en dos categorías mayores: el grano grueso y fino, separado por la malla N° 200.

AASHTO considera grano fino cuando más del 35% pasa por la malla N° 200.

SUCS considera grano fino cuando más del 50 % pasa por la malla N° 200.

El suelo de grano grueso que tiene cerca de 35% de granos finos, tendrá comportamiento de material de grano fino, pues hay suficiente cantidad de finos que llenan vacíos entre los granos gruesos. En este aspecto (de estabilidad), AASHTO parece ser el más apropiado. En obras donde abunda la arcilla se pretende, a veces, estabilizarla con piedra: 1kg de piedra más 1 kg de arcilla = 2 kg de arcilla (mirando el uso vial).

AASHTO usa la malla N° 10 para separar la grava de la arena. SUCS usa la malla N° 4. La malla 10, como límite de separación, es el límite más alto aceptado para arena. Se usa en tecnología del concreto y en tecnología de las bases de carreteras. SUCS separa bien los suelos gravosos de los arenosos. AASHTO no los separa bien.

Grupo A-2 del AASHTO, en particular, contiene una gran variedad de suelos. Símbolos como GW, SW, CH del SUCS describen mejor las propiedades del suelo. Símbolos A describen muy poco. Suelos orgánicos: OH, OL, y Pt son previstos en el SUCS, no así en el AASHTO

1.3 INVESTIGACIONES GEOTECNICAS

Un perfil de suelo se extiende a través de todos sus estratos y dentro de la profundidad de investigación. Generalmente para pavimentos urbanos la profundidad mínima de investigación es de 1.50 m para suelos estables y aumenta conforme se encuentran suelos erráticos como pueden ser rellenos sanitarios, suelos orgánicos, etc. Para la elaboración del mismo se requiere de una investigación geotécnica que involucra los trabajos de campo y pruebas de laboratorio y su interpretación, en concordancia con la Norma CE.010 Pavimentos Urbanos del Reglamento Nacional de Edificaciones.

1.3.1 Exploraciones geotécnicas.

El objetivo de las exploraciones geotécnicas es el de poder determinar información precisa de las características del suelo en el lugar en que se investiga.

- Las técnicas de investigación en el campo, son los indicados en el cuadro N° 1.5.

Cuadro N° 1.5: Técnicas de investigaciones geotécnicas

NORMA	DENOMINACIÓN
MTC E101-2000	Pozos, calicatas, trincheras y zanjas
NTP 339.143:1999	SUELOS. Metodo de ensayo estándar para la densidad y el peso unitario del suelo in-situ mediante el método del cono de arena.
NTP 339.144:1999	SUELOS. Metodo de ensayo estándar para la densidad in-situ de suelo y suelo-agregado por medio de metodos nucleares (Profundidad superficial).
NTP 339.250:2002	SUELOS. Metodo de ensayo para la determinación en campo del contenido de humedad, por el método de presión del gas carburo de calcio. 1a. ed.
NTP 339.150:2001	SUELOS. Descripción e identificación de suelos. Procedimiento visual manual.
NTP 339.161:2001	SUELOS. Práctica para la investigación y muestreo de suelos por perforaciones con barrena.
NTP 339.169:2002	SUELOS. Muestreo geotécnico de suelos con tubos de pared delgada
NTP 339.172:2002	SUELOS. Metodo de prueba normalizada para el contenido de humedad de suelo y roca in situ por métodos nucleares (poca profundidad).
NTP 339.175:2002	SUELOS. Metodo de ensayo normalizado in-situ para CBR (California Bearing Ratio-Relación del Valor Soporte) de suelos
ASTM D 6951	Metodo estándar de ensayo para el uso del penetrómetro dinámico de Cono en aplicaciones superficiales de pavimentos

Fuente: Norma CE.010 Pavimentos Urbanos

- El número de puntos de investigación será de acuerdo con el tipo de vía según se indica el cuadro 1.6 con un mínimo de tres (03):

Cuadro N° 1.6: Puntos de investigación.

TIPO DE VÍA	NÚMERO MÍNIMO DE PUNTOS DE INVESTIGACIÓN	ÁREA (m ²)
Expresas	1 cada	2000
Arteriales	1 cada	2400
Colectoras	1 cada	3000
Locales	1 cada	3600

Fuente: Norma CE.010 Pavimentos Urbanos

Notas:

- a) Cuando no existan los proyectos de lotización y trazado y solamente se ejecutara el proyecto de habilitación urbana, se requiere de 1 punto de investigación por hectárea, con un mínimo de 4.
 - b) Cuando no existan los proyectos de lotización y trazado y se ejecute el proyecto de habilitación urbana y la construcción simultanea de viviendas, se requiere de un punto de investigación adicional por hectárea, a los requeridos en la Tabla N° 6 de la Norma E.050 Suelos y Cimentaciones.
- Los puntos de investigación se ubicarán preferentemente en los cruces de vías, pudiendo emplearse puntos intermedios, que permitan establecer la estratigrafía a lo largo de la vía.
 - En el caso de reposición de pavimentos cortados para instalación o reparación de servicios, se ejecutará un punto de investigación cada 100 metros con un mínimo de tres (03).
 - La profundidad mínima de investigación será de 1,50 m por debajo de la cota de rasante final de la vía.
 - Si dentro de la profundidad explorada se encontraran suelos blandos o altamente compresibles, la profundidad de investigación deberá ampliarse a criterio del profesional responsable.
 - Donde exista rellenos no controlados se deberá investigar en todo su espesor debiendo profundizarse no menos de 0,50 m dentro del suelo natural.
 - Donde se encuentren macizos rocosos dentro de la profundidad de investigación, se deberá registrar su profundidad y grado de fracturamiento y estimar su resistencia a la compresión.

- Efectuados el registro de la estratigrafía, el muestreo y la toma de fotografía, se deberá rellenar las excavaciones con los materiales extraídos.
- Durante la investigación de campo se elaborará un perfil estratigráfico para cada punto de investigación, basado en la clasificación visual manual, según la NTP 339.150:2001.
- En caso de encontrar suelos finos no plásticos dentro de la profundidad de investigación, se deberán ejecutar ensayos para determinar su densidad natural.
- Se tomará por lo menos una muestra representativa de cada tipo de suelo para su posterior ensayo de laboratorio, según las normas respectivas indicadas en el cuadro N° 1.7.
- Se determinará un (1) CBR por cada 5 puntos de investigación o menos según lo indicado en cuadro N° 1.6. y por lo menos un (1) CBR por cada tipo de suelo de sub-rasante.

1.3.2 Ensayos de Laboratorio.

Los trabajos en el laboratorio se orientan para determinar las características físicas y mecánicas de los suelos que son obtenidos del muestreo, las que sirven de base para determinar las características de diseño.

Los ensayos de Laboratorio aplicables a los **EMS** con fines de pavimentación son las indicadas en el cuadro N° 1.7.

Cuadro N° 1.7: Ensayos de Laboratorio.

NORMA	DENOMINACIÓN
NTP 339.126:1998	SUELOS. Métodos para la reducción de las muestras de campo a tamaños de muestras de ensayo.
NTP 339.127:1998	SUELOS. Método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo.
NTP 339.128:1999	SUELOS. Método de ensayo para el análisis granulométrico.
NTP 339.129:1999	SUELOS. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico, e índice de plasticidad de suelos.
NTP 339.131:1999	SUELOS. Método de ensayo para determinar el peso específico relativo de sólidos de un suelo.
NTP 339.132:1999	SUELOS. Método de ensayo para determinar el material que pasa el tamiz 75 μm (N°200)
NTP 339.134:1999	SUELOS. Método para la clasificación de suelos con propósitos de ingeniería (SUCS Sistema Unificado de Clasificación de Suelos)
NTP 339.135:1999	SUELOS. Método para la clasificación de suelos para uso en vías de transporte.
NTP 339.139:1999	SUELOS. Determinación del Peso volumétrico de suelos cohesivo.
NTP 339.140:1999	SUELOS. Determinación de los factores de contracción de suelos mediante el método del mercurio
NTP 339.141:1999	SUELOS. Método de ensayo para la compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (2700 kN-m/m ³ (56000 pie-lbf/pie ³))
NTP 339.142:1999	SUELOS. Método de ensayo para la compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía estándar (600 kN-m/m ³ (12400 pie-lbf/pie ³))
NTP 339.144:1999	SUELOS. Métodos de ensayos estándar para densidad in situ del suelo y suelo agregado por medio de métodos nucleares (profundidad superficial)
(*) NTP 339.145:1999	SUELOS. Método de ensayo de CBR (Relación de soporte de California) de suelos compactados en el laboratorio.
NTP 339.146:2000	SUELOS. Método de prueba estándar para el valor equivalente de arena de suelos y agregado fino
NTP 339.147:2000	SUELOS. Método de ensayo de permeabilidad de suelos granulares (carga constante)

NORMA	DENOMINACIÓN
NTP 339.152:2002	SUELOS. Método de ensayo normalizado para la determinación del contenido de sales solubles en suelos y aguas subterráneas.
NTP 339.177:2002	SUELOS. Método de ensayo para la determinación cuantitativa de cloruros solubles en suelos y agua subterránea.
NTP 339.178:2002	SUELOS. Método de ensayo normalizado para la determinación cuantitativa de sulfatos solubles en suelos y agua subterránea
NTP 339.076:1982	HORMIGON (CONCRETO). Método de ensayo para determinar el contenido de cloruros en las aguas usadas en la elaboración de concretos y morteros.

Fuente: Norma CE.010 Pavimentos Urbanos

(*) Con el valor obtenido del CBR se determina el modulo de resiliencia.

1.3.3 Requisitos de los Materiales.

Todos los materiales deberán cumplir los requerimientos que se dan a continuación:

- De la Sub-Base:
Estos materiales deberán cumplir los requisitos mínimos establecidos en los siguientes cuadros:

Cuadro N° 1.8: Requerimientos Granulométricos para Sub – Base Granular

Tamiz	Porcentaje que Pasa en peso			
	Gradación A *	Gradación B	Gradación C	Gradación C
50 mm (2")	100	100	---	---
25 mm (1")	---	75 – 95	100	100
9.5 mm (3/8")	30 – 65	40 – 75	50 – 85	60 – 100
4.75 mm (N° 4)	25 – 55	30 – 60	35 – 65	50 – 85
2.0 mm (N° 10)	15 – 40	20 – 45	25 – 50	40 – 70
4.25 um (N° 40)	8 – 20	15 – 30	15 – 30	25 – 45
75 um (N° 200)	2 – 8	5 – 15	5 – 15	8 – 15

Fuente: Sección 303 de las EG-2000 del MTC

* La curva de gradación "A" deberá emplearse en zonas cuya altitud sea igual o superior a 3000 msnmm.

Además, el material también deberá cumplir con los siguientes requisitos de calidad:

Cuadro N° 1.9: Requerimientos de Calidad para Sub-Base Granular

Ensayo	Norma	Requerimiento	
		< 3000 msnmm	≥ 3000 msnmm
Abrasión Los Angeles	NTP 400.019:2002	50 % máximo	
CBR de laboratorio	NTP 339.145:1999	30-40 % mínimo*	
Limite Líquido	NTP 339.129:1999	25% máximo	
Índice de Plasticidad	NTP 339.129:1999	6% máximo	4% máximo
Equivalente de Arena	NTP 339.146:2000	25% mínimo	35% mínimo
Sales Solubles Totales	NTP 339.152:2002	1% máximo	

Fuente: Norma CE.010 Pavimentos Urbanos

* 30% para pavimentos rígidos y de adoquines. 40% para pavimentos flexibles.

- De la Base:
Estos materiales deberán cumplir los requisitos de gradación establecidos en el cuadro N°1.10.

Cuadro N° 1.10: Requerimientos Granulométricos para Base Granular

Tamiz	Porcentaje que pasa en Peso			
	Gradación A *	Gradación B	Gradación C	Gradación D
50 mm (2")	100	100	---	---
25 mm (1")	---	75-95	100	100
9.5 mm (3/8")	30-65	40-75	50-85	60-100
4.75 mm (N° 4)	25-55	30-60	35-65	50-85
2.0 mm (N° 10)	15-40	20-45	25-50	40-70
4.25 um (N° 40)	8-20	15-30	15-30	25-45
75 um (N° 200)	2-8	5-15	5-15	8-15

Fuente: Sección 305 de las EG-2000 del MTC

* La curva de gradación "A" deberá emplearse en zonas cuya altitud sea igual o superior a 3000 msnmm.

El material de Base Granular deberá cumplir además con las siguientes características físico-mecánicas y químicas que a continuación se indican en los siguientes cuadros:

Cuadro N° 1.11: Valor Relativo de Soporte, CBR

NTP 339.145:1999

Vías Locales y Colectoras	Mínimo 80%
Vías Arteriales y Expresas	Mínimo 100%

Fuente: Norma CE.010 Pavimentos Urbanos

Cuadro N° 1.12: Requerimientos del Agregado Grueso de Base Granular

Ensayo	Norma	Requerimientos	
		Altitud	
		< 3000 msnmm	≥ 3000 msnmm
Partículas con una cara fracturada	MTC E210-2000	80% mínimo	
Partículas con dos caras fracturadas	MTC E210-2000	40% mínimo	50% mínimo
Abrasión Los Ángeles	NTP 400.019:2002	40% máximo	
Sales Solubles	NTP 339.152:2002	0.5% máximo	
Pérdida con Sulfato de Sodio	NTP 400.016:1999	---	12% máximo
Pérdida con Sulfato de Magnesio	NTP 400.016:1999	---	18% máximo

Fuente: Norma CE.010 Pavimentos Urbanos

Cuadro N° 1.13: Requerimientos del Agregado Fino de Base Granular

Ensayo	Norma	Requerimientos	
		< 3000 msnmm	> 3000 msnmm
Índice Plástico	NTP 339.129:1999	4% máximo	2% máximo
Equivalente de arena	NTP 339.146:2000	35% mínimo	45% mínimo
Sales solubles	NTP 339.152:2002	0,5% máximo	
Índice de durabilidad	MTC E214-2000	35% mínimo	

Fuente: Norma CE.010 Pavimentos Urbanos

- **De los pavimentos asfálticos:**
Estos materiales deberán cumplir los requisitos establecidos en los siguientes cuadros:

Cuadro N° 1.14: Requerimientos para los Agregados Gruesos de Mezclas Asfálticas en Caliente

Ensayos	Norma	Requerimiento	
		Altitud (msnmm)	
		< 3000	> 3000
Pérdida en Sulfato de Sodio	NTP 400.016:1999	12 % máximo	10 % máximo
Pérdida en Sulfato de Magnesio	NTP 400.016:1999	18 % máximo	15 % máximo
Abrasión Los Angeles	NTP 400.019:2002	40 % máximo	35 % máximo
Índice de Durabilidad	MTC E214-2000	35 % mínimo	
Partículas chatas y alargadas *	NTP 400.040:1999	15 % máximo	
Partículas fracturadas	MTC E210-2000	Según cuadro N°1.16	
Sales Solubles	NTP 339.152:2002	0,5 % máximo	
Absorción	NTP 400.021:2002	1,00 %	Según Diseño
Adherencia	MTC E519-2000	+ 95	

Fuente: Norma CE.010 Pavimentos Urbanos

- * La relación a emplearse para la determinación es: 5/1 (ancho/espesor o longitud/ancho)

Cuadro N° 1.15: Requerimientos para los Agregados Finos de Mezclas Asfálticas en Caliente

Ensayos	Norma	Requerimiento	
		Altitud (msnmm)	
		< 3000	> 3000
Equivalente de Arena	NTP 339.146:2000	Según cuadro N°1.17	
Angularidad del agregado fino	MTC E222-2000	Según cuadro N° 1.18	
Adhesividad (Riedel Weber)	MTC E220-2000	4 % mínimo	6 % mínimo
Índice de Durabilidad	MTC E214-2000	35 mínimo	
Índice de Plasticidad	NTP 339.129:1999	Máximo 4	NP
Sales Solubles Totales	NTP 339.152:2002	0,5 % máximo	
Absorción	NTP 400.022:2002	0,50 %	Según Diseño

Fuente: Norma CE.010 Pavimentos Urbanos

**Cuadro N° 1.16: Requerimientos para Caras Fracturadas
MTC E210-2000**

Tipos de Vías	Espesor de Capa	
	< 100 mm	> 100 mm
Vías Locales y Colectoras	65/40	50/30
Vías Arteriales y Expresas	85/50	60/40

Fuente: Norma CE.010 Pavimentos Urbanos

Nota: La notación "85/50" indica que el 85 % del agregado grueso tiene una cara Fracturada y que el 50 % tiene dos caras fracturadas.

**Cuadro N° 1.17: Requerimientos del Equivalente de Arena
NTP 339.146:2000**

Tipos de Vías	Equivalente Arena (%)
Vías Locales y Colectoras	45 mínimo
Vías Arteriales y Expresas	50 mínimo

Fuente: Norma CE.010 Pavimentos Urbanos

Cuadro N° 1.18: Angularidad del Agregado Fino
MTC E222-2000

Tipos de Vías	Angularidad (%)
Vías Locales y Colectoras	30 mínimo
Vías Arteriales y Expresas	40 mínimo

Fuente: Norma CE.010 Pavimentos Urbanos

Gradación

La gradación de los agregados pétreos para la producción de la mezcla asfáltica en caliente será establecida por el Contratista y aprobada por el Supervisor. En el cuadro N°1.19 se muestran algunas gradaciones comúnmente usadas.

Cuadro N° 1.19: Gradaciones de los Agregados para Mezclas Asfálticas en Caliente

Tamiz	PORCENTAJE QUE PASA		
	MAC - 1	MAC - 2	MAC - 3
25,0 mm (1")	100	-	-
19,0 mm (3/4")	80 - 100	100	-
12,5 mm (1/2")	67 - 85	80 - 100	-
9,5 mm (3/8")	60 - 77	70 - 88	100
4,75 mm (N° 4)	43 - 54	51 - 68	65 - 87
2,00 mm (N° 10)	29 - 45	38 - 52	43 - 61
425 µm (N° 40)	14 - 25	17 - 28	16 - 29
180 µm (N° 80)	08 - 17	08 - 17	09 - 19
75 µm (N° 200)	04 - 08	04 - 08	05 - 10

Fuente: Norma CE.010 Pavimentos Urbanos

Además de los requisitos de calidad que debe tener el agregado grueso y fino, el material de la mezcla de los agregados debe estar libre de terrones de arcilla y se aceptará como máximo el uno por ciento (1%) de partículas deleznable según el ensayo NTP 400.015:2002. Tampoco deberá contener más de 0,5% en peso de materia orgánica u otros materiales deletéreos según el ensayo NTP 400.023:1979.

1.3.4 Pruebas de Control de Calidad.

La Supervisión de la Obra es la responsable por la ejecución de las pruebas y por el cumplimiento de las exigencias de esta Norma. Cuando la construcción no tenga Supervisión contratada, el Constructor asumirá esta responsabilidad.

• **En la Sub-rasante:**

- a) La humedad de compactación no deberá variar en $\pm 2\%$ del Optimo Contenido de Humedad a fin de lograr los porcentajes de compactación especificados.
- b) Se comprobará la compactación según lo indicado en el cuadro N°1.20. El grado de compactación requerido será del 95% de su Máxima Densidad Seca Teórica Proctor Modificado (NTP 339.141:1999) en suelos granulares y del 95% de su Máxima Densidad Seca Teórica Proctor Estándar (NTP 339.142:1999) en suelos finos. Se tolerará hasta dos puntos porcentuales menos en cualquier caso aislado, siempre que la media aritmética de 6 puntos de la misma compactación sea igual o superior al especificado.

Cuadro N° 1.20: Numero de controles de compactacion en la subrasante.

TIPO DE VÍA	NÚMERO DE CONTROLES EN LA SUB-RASANTE POR CADA 100 m DE VÍA PARA GRADO DE COMPACTACIÓN Y CBR IN-SITU
Expresas	4
Arteriales	3
Colectoras	2
Locales	1

Fuente: Norma CE.010 Pavimentos Urbanos

- c) Se determinará el CBR in-situ según lo indicado en el cuadro N°1.20. Esta información, conjuntamente con la densidad de campo, se usará para verificar el CBR de diseño
- d) Respecto de las cotas del proyecto, se permitirá una tolerancia de ± 20 mm.
- e) La tolerancia por exceso en el bombeo será de hasta 20%. No se tolerarán errores por defecto en la flecha del bombeo
- f) Donde se haya estabilizado la sub-rasante, se verificara los valores propuestos por el Profesional Responsable en el Proyecto para el agente estabilizador utilizado, con un mínimo de tres verificaciones por cada tipo de agente estabilizador.

- **En la Sub-base y Base Granular es:**

- a) Se efectuarán los ensayos de control y con las frecuencias indicadas en el cuadro N°1.21.

Cuadro N° 1.21: Frecuencia de Ensayos de Control para Materiales de Sub Base y Base Granulares

ENSAYO	NORMAS	BASE Y SUB BASE GRANULAR	
GRANULOMETRÍA	NTP 400.012:2001	1 cada 400 m ³	Cantera
LÍMITES DE CONSISTENCIA	NTP 339.129:1998	1 cada 400 m ³	Cantera
EQUIVALENTE DE ARENA	NTP 339.146:2000	1 cada 1000 m ³	Cantera
ABRASIÓN LOS ANGELES	NTP 400.019:2002	1 cada 1000 m ³	Cantera
SALES SOLUBLES	NTP 339.152:2002	1 cada 1000 m ³	Cantera
PARTÍCULAS FRACTURADAS	MTC E210-2000	1 cada 1000 m ³	Cantera
PARTÍCULAS CHATAS Y ALARGADAS	NTP 400.040:1999	1 cada 1000 m ³	Cantera
PÉRDIDA EN SULFATO DE SODIO/MAGNESIO	NTP 400.016:1999	1 cada 1000 m ³	Cantera
CBR	NTP 339.145:1999	1 cada 1000 m ³	Cantera
RELACIONES DENSIDAD – HUMEDAD (PROCTOR MODIFICADO)	NTP 339.141:1999	1 cada 400 m ²	Pista
DENSIDAD EN EL SITIO (MÉTODO DEL CONO)	NTP 339.143:1999	1 cada 250 m ² con un mínimo de 3 controles.	Pista
DENSIDAD EN EL SITIO (MÉTODO NUCLEAR)	NTP 339.144:1999		

Fuente: Norma CE.010 Pavimentos Urbanos

NOTAS:

- (1) La frecuencia de los ensayos puede incrementarse en opinión del Supervisor, dependiendo de la variación de la estratigrafía en cantera, que pueda originar cambios en las propiedades de los materiales.
- (2) En caso de que los metrados del proyecto no alcancen las frecuencias mínimas especificadas se exigirá como mínimo un ensayo de cada propiedad y/o característica.

- b) El grado de compactación de Base y Sub-base, será como mínimo del 100 % de la Máxima Densidad Seca obtenida en el ensayo Proctor Modificado (Método C). Se tolerará hasta dos puntos porcentuales menos en cualquier caso aislado, siempre que la media aritmética de 6 puntos de la misma

compactación sea igual o superior al especificado. Los tramos por aprobar se definirán sobre la base de un mínimo de seis (6) determinaciones de la densidad.

- c) Respecto de las cotas del proyecto, se permitirá una tolerancia de ± 10 mm. La tolerancia por exceso en el bombeo será de hasta 20 %. No se tolerarán errores por defecto en la flecha del bombeo.

• **En las Mezclas Asfálticas durante la ejecución de las obras:**

- a) Previamente a la colocación de la mezcla asfáltica el Contratista presentará al Supervisor su Fórmula de Trabajo. El Supervisor deberá definir la antelación con la que se presentará la Fórmula de Trabajo. El PR deberá haber definido en su Proyecto la necesidad o no, de ejecutar un Tramo de Prueba.

Una vez aprobada la Fórmula de Trabajo, se hará un control directo de las cantidades de agregados y asfalto que se mezclan, según las siguientes frecuencias y normas de ensayo.

Cuadro N° 1.22: Frecuencia de Ensayos de Control para mezclas asfálticas

ENSAYO	NORMA	FRECUENCIA	LUGAR
Contenido de Asfalto	MTC E502-2000	1 por día	Planta o Pista
Granulometría	NTP 339.128:1998	1 por día	Planta o Pista
Ensayo Marshall	MTC E504-2000	1 por día	Planta o Pista
Temperatura	----	Cada volquete	Planta y Pista

Fuente: Norma CE.010 Pavimentos Urbanos

- b) Las mezclas en caliente deberán cumplir las siguientes tolerancias:

- Materiales que pasa el tamiz de 19,0 mm (3/4")..... $\pm 5\%$
- Material comprendido entre los tamices de 9,5mm (3/8") y 75 μ m (N° 200) $\pm 4\%$
- Material que pasa el tamiz 75 μ m (N° 200) $\pm 1\%$
- Porcentaje de Asfalto $\pm 0.3\%$
- Temperatura de la mezcla al salir de la planta $\pm 11^\circ\text{C}$
- Temperatura de la mezcla entregada en pista $\pm 11^\circ\text{C}$

- c) Las mezclas en frío deberán cumplir las siguientes tolerancias:

- Materiales que pasan los tamices 4,75 mm (N° 4), 2,36 mm (N° 8) y 850 μ m (N° 20)..... $\pm 5\%$
- Solventes $\pm 2\%$
- Asfalto $\pm 0.3\%$

- **En la Carpeta Asfáltica Terminada:**

La Supervisión está obligada a efectuar las siguientes verificaciones:

a) Compactación

a.1) Se realizará según las normas MTC E506-2000 (Gravedad Específica Aparente y Peso Unitario de Mezclas Asfálticas Compactadas Empleando Especímenes Parafinados), MTC E508-2000 (Peso Específico Teórico Máximo de Mezclas Asfálticas para Pavimentos), o MTC E510-2000 [Peso Unitario del Concreto Asfáltico en el Terreno (Método Nuclear)], en una proporción de cuando menos una (1) por cada doscientos cincuenta metros cuadrados (250 m²) de cada capa y los tramos por aprobar se definirán sobre la base de un mínimo de seis (6) determinaciones de la densidad. Los sitios para las mediciones se elegirán siguiendo un Proceso Aleatorio.

a.2) La densidad media del tramo (Dm) deberá ser, cuando menos, el noventa y ocho por ciento (98 %) de la media obtenida al compactar en el laboratorio con la técnica Marshall, cuatro (4) probetas por jornada de trabajo (De).

$$D_m \geq 0,98 D_e$$

a.3) Además, la densidad de cada testigo individual (Di) deberá ser mayor o igual al noventa y siete por ciento (97 %) de la densidad media de los testigos del tramo (Dm).

$$D_i \geq 0,97 D_m$$

a.4) La toma de muestras se hará de acuerdo con Norma MTC E509-2000 (Determinación del Grado de Compactación de una Mezcla Bituminosa) y las densidades se determinarán por alguno de los métodos indicados en las normas MTC E506-2000 (Gravedad Específica Aparente y Peso Unitario de Mezclas Asfálticas Compactadas Empleando Especímenes Parafinados), MTC E508-2008 (Peso Específico Teórico Máximo de Mezclas Asfálticas para Pavimentos), o MTC E510-2000 [Peso Unitario del Concreto Asfáltico en el Terreno (Método Nuclear)].

b) Espesor

b.1) La verificación del espesor la efectuará el Contratista cada trescientos cincuenta metros cuadrados (350 m²) o fracción, debiendo extraerse al menos dos (2) testigos cilíndricos mediante equipos provistos de brocas rotativas.

b.2) Se determinará el espesor medio de la capa compactada (em) según la norma MTC E507-2000 (Espesor o Altura de Especímenes Compactados de Mezclas Asfálticas), el cual no podrá ser inferior al de diseño (ed).

$$em \geq ed$$

b.3) Además, el espesor obtenido en cada determinación individual (ei), deberá ser, cuando menos, igual al noventa y cinco por ciento (95 %) del espesor de diseño (ed).

$$ei \geq 0,95 ed$$

b.4) Si el espesor promedio de los dos (2) testigos no cumpliera con estas condiciones, se extraerán cuatro (4) testigos adicionales.

b.5) De persistir la deficiencia, el Supervisor en coordinación con el **PR** definirá las acciones a tomar.

c) Lisura

c.1) La superficie acabada no deberá presentar zonas de acumulación de agua (depresiones), ni elevaciones mayores de cinco milímetros (5 mm) en capas de rodadura, ni elevaciones mayores de diez milímetros (10 mm) en bacheos, cuando se compruebe con una regla de tres (03) metros (MTC E1001-2000, Medida de la Regularidad Superficial de un Pavimento Mediante la Regla de Tres Metros) colocada tanto paralela como perpendicularmente al eje de la vía.

d) Regularidad Superficial o Rugosidad

d.1) En el caso de Vías Expresas y donde lo indique el **PR** se medirá la Regularidad Superficial de la superficie de rodadura en unidades IRI. La rugosidad tendrá un valor máximo de 2,5 m/km. En el caso de no satisfacer este

requerimiento, deberá revisarse los equipos y procedimientos de esparcido y compactación, a fin de tomar las medidas correctivas que conduzcan a un mejoramiento del acabado de la superficie de rodadura.

d.2) Para la determinación de la rugosidad podrá utilizarse cinta métrica y nivel, rugosímetros, perfilómetros o cualquier otro método técnicamente aceptable y aprobado por la *Supervisión*.

d.3) La medición de la rugosidad sobre la superficie de rodadura terminada, deberá efectuarse en toda su longitud y debe involucrar ambas huellas vehiculares, registrando mediciones parciales para cada kilómetro.

d.4) La medición de la rugosidad sobre la carpeta asfáltica terminada, se efectuará al finalizar la obra como control final de calidad del pavimento terminado y para efectos de recepción de la obra.

e) Medición de Deflexiones sobre la Carpeta Asfáltica Terminada

e.1) En el caso de Vías Expresas y en donde lo indique el **PR**, se efectuará mediciones de la deflexión en todos los carriles, en ambos sentidos cada 50 m y en forma alternada (tresbolillo). Se analizará la deformada o la curvatura de la deflexión obtenida de por lo menos tres valores por punto y se obtendrán indirectamente los módulos de elasticidad de la capa asfáltica. Además, la Deflexión Característica obtenida por sectores homogéneos se comparará con la deflexión admisible para el número de repeticiones de ejes equivalentes de diseño.

e.2) Para efectos de la medición de las deflexiones podrá emplearse la Viga Benkelman (MTC E1002-2000, Medida de la Deflexión y Determinación del Radio de Curvatura de un Pavimento Flexible Empleando la Viga Benkelman), o cualquier otro método técnicamente aceptable y aprobado por la *Supervisión*. Los puntos de medición estarán referenciados con el estacado del Proyecto.

e.3) La medición de deflexiones sobre la carpeta asfáltica terminada, se efectuará al finalizar la obra como control final de calidad del pavimento terminado y para efectos de recepción de la obra.

1.4 PAVIMENTOS

1.4.1 Definición:

Un pavimento está constituido por un conjunto de capas superpuestas, relativamente horizontales, que se diseñan y constituyen técnicamente con materiales apropiados y adecuadamente compactados. Estas estructuras estratificadas se apoyan sobre la subrasante de una vía obtenida por el movimiento de tierras en el proceso de exploración y que han de resistir adecuadamente los esfuerzos que las cargas repetidas del tránsito le transmiten durante el periodo para el cual fue diseñada la estructura del pavimento. La figura N° 1.4 muestra los componentes de la estructura de un pavimento.

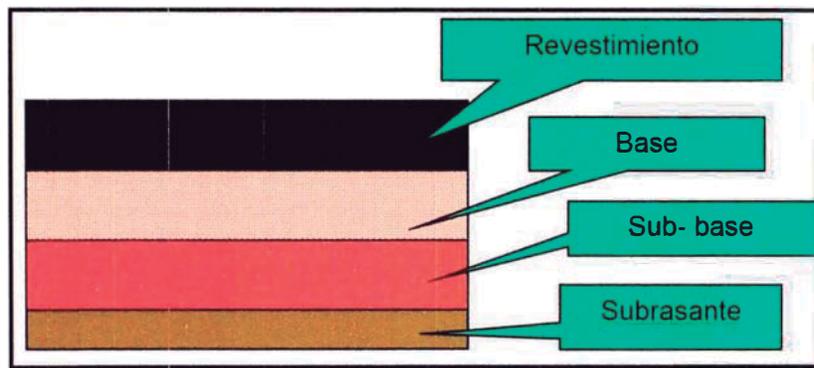


Figura N° 1.4.- Estructura de un Pavimento.

Fuente: Elaboración propia

- Revestimiento: Recibe directamente cargas; debe resistir esfuerzos horizontales; debe proporcionar superficie de rodamiento adecuada.
- Base: Debe resistir y distribuir esfuerzos verticales. Es la capa que recibe la mayor parte de los esfuerzos producidos por los vehículos. La carpeta es colocada sobre de ella porque la capacidad de carga del material friccionante es baja en la superficie por falta de confinamiento. Regularmente esta capa además de la compactación necesita otro tipo de mejoramiento (estabilización) para poder resistir las cargas del tránsito sin deformarse y además de transmitir las en forma adecuada a las capas inferiores. El valor cementante en una base es indispensable para proporcionar una sustentación adecuada a las carpeta asfálticas delgadas. En caso contrario,

cuando las bases se construyen con materiales inertes y se comienza a transitar por la carretera, los vehículos provocan deformaciones transversales.

- Sub-base: Complementaria de Base (económica) o correctiva de Subrasante (transición). Ahorro de dinero porque transforma un espesor de la capa Base a un material de Subbase y además impide por capilaridad al que el agua ascienda a las capas superiores
- Subrasante: Es el terreno natural o de fundación.

1.4.2 Características que debe reunir un pavimento.

Un pavimento debe cumplir adecuadamente sus funciones deben reunir los siguientes parámetros:

- Ser resistente a la acción de las cargas impuestas por el tránsito
- Ser resistente ante los agentes de intemperismo.
- Presentar una textura superficial adaptada a las velocidades previstas de circulación de los vehículos, por cuanto ella tiene una decisiva influencia en la seguridad vial. Además debe ser resistente al desgaste producido por el efecto abrasivo de las llantas de los vehículos.
- Debe presentar una regularidad superficial, tanto transversal como longitudinal, que permitan una adecuada comodidad a los usuarios en función de las longitudes de onda de las deformaciones y de la velocidad de circulación.
- Debe ser durable
- Debe ser económico
- El ruido de rodadura, en el interior de los vehículos que afectan al usuario, así como en el exterior, que influyen en el entorno, deben ser adecuadamente moderado.
- Deben poseer el color adecuado para evitar reflejos y deslumbramiento y ofrecer una adecuada seguridad al tránsito.

1.4.3 Clasificación de los pavimentos

Entre los principales tenemos a:

- Pavimentos flexibles

Este tipo de pavimentos están formados por una carpeta bituminosa apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, la base y la subbase. No obstante puede prescindirse de cualquiera de estas dependencias de las necesidades particulares de cada obra.

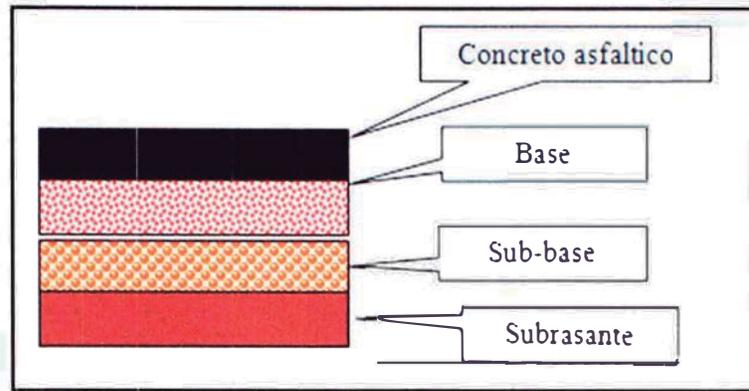


Figura N° 1.5.- Estructura de un Pavimento Flexible.

Fuente: Elaboración propia

- Pavimento rígido

Son aquellos que fundamentalmente están constituidos por una losa de concreto hidráulico, apoyada sobre la subrasante o sobre una capa, de material seleccionado, la cual se denomina subbase del pavimento rígido.

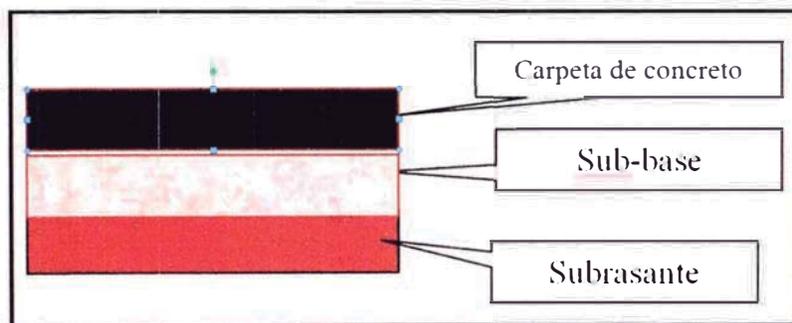


Figura N° 1.6.- Estructura de un Pavimento Rígido.

Fuente: Elaboración propia

1.4.4 Selección de tipos de pavimentos

El procedimiento para seleccionar un pavimento es complejo y difícil de definir. El análisis final para la selección de pavimentos tiene que ver con la decisión económica, si se cumple todos los factores ingenieriles, los costos comparados, descontando el valor presente será el que tome el costo final más bajo de cualquier tipo o diseño será el que se seleccione o también el pavimento que produzca la más alta relación costo / beneficios debería ser la elección apropiada.

1.5. ANÁLISIS DE TRÁFICO.

En el funcionamiento estructural de las capas de la estructura del pavimento influye el tipo de suelo de la subrasante, el número total de los vehículos pesados por día o durante el periodo de diseño, incluido las cargas por eje y la presión de los neumáticos.

La demanda o volumen de tráfico (IMDA), requiere ser expresado en términos de ejes equivalentes acumulados para el periodo de diseño. Un eje equivalente (EE) equivale al efecto de deterioro causado sobre el pavimento, por un eje simple de dos ruedas cargado de 8.2 tn. de peso, con neumáticos con presión de 80 lb./pulg².

Para la obtención de la demanda de tránsito se requerirá como mínimo de la siguiente información:

a.- Conteo de tránsito por un periodo consecutivo de 7 días (5 días de la semana + sábado + domingo), como mínimo, en una semana que haya sido de circulación normal. Los conteos serán volumétricos y clasificados por tipo de vehículo. Asimismo en caso no hubiera información oficial, sobre pesos por eje, aplicable a la zona, se efectuara un censo de carga vehicular durante 2 días consecutivos.

$$IMD = \frac{V_{LU-VI} + V_S + V_D}{7}$$

Donde

- $V_{LU-VI} + V_S + V_D$ son los volúmenes de tráfico registrados en los conteos los días lunes a domingo.
- IMD es el promedio diario de los volúmenes de tráfico.

b.- El estudio podrá ser complementado con información, de variaciones mensuales, provenientes de estaciones de conteo permanente del MTC, cercanas al tramo en estudio, que permita el cálculo del Índice Medio Diario Anual (IMDA).

c.- Con los datos obtenidos, se definirá el número de repeticiones de Ejes Equivalentes (EE) para el periodo de diseño del pavimento.

d.- Para el cálculo de los EE, se puede tomar el criterio simplificado de la metodología AASHTO, aplicando las siguientes relaciones para vehículos pesados, buses y camiones:

Cuadro N°1.23: Cálculo de ejes equivalentes por tipo de eje

Tipo de eje	Eje equivalente (EE8.2 tn)
Eje simple de ruedas simples	$EES1 = [P/6.6]^4$
Eje simple de ruedas dobles	$EES2 = [P/8.2]^4$
Eje tandem de ruedas dobles	$EETR = [P/15.1]^4$
Eje tridem de ruedas dobles	$EETA = [P/22.9]^4$
P= peso real por eje en toneladas.	

Fuente: Guía AASHTO

e.- También se considerará un factor de ajuste por presión de neumáticos, para computar el efecto adicional de deterioro que producen las altas presiones de los neumáticos en el deterioro del pavimento (factor de carga). Con este factor y la data evaluada en el conteo, se obtendrá un Factor Camión, el cual es el número de aplicaciones equivalente a una carga por eje simple de 18,000 lb. En una pasada de un vehículo dado.

$$\text{Factor Camión} = \frac{\sum(\text{Número de Ejes} * \text{Factor de Equivalencia de carga})}{\text{número de Vehículos}}$$

f.- Con la información del IMDA, El Factor Camión y las Tasas de crecimiento vehicular, se puede calcular el valor de Ejes equivalentes anual para el carril de diseño, dentro del horizonte de tiempo a evaluar. Para este cálculo se considerará la siguiente expresión:

$$EAL = 365 \sum \left(F_{\text{camión}} * IMDA * \frac{(1 + t)^n - 1}{t} \right)$$

Donde:

EAL, carga axial equivalente.

IMDA, es el promedio anual de los volúmenes de tráfico.

t, es la tasa de crecimiento promedio del tipo de vehículos.

n, periodo en años.

CAPÍTULO II: METODOLOGÍAS DEL DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO FLEXIBLE.

Los nuevos métodos de diseño y rehabilitación de pavimentos hacen énfasis en un enfoque integral que tiene como objetivo asegurar un buen desempeño funcional y estructural del pavimento durante toda su vida útil. Los criterios de desempeño son definidos estableciendo niveles de tolerancias estructurales y funcionales. Aplicando una filosofía de diseño integral, el diseñador tiene la responsabilidad de anticipar el desempeño del pavimento durante su vida en servicio, debiendo plantear estrategias de mantenimiento y rehabilitación costo efectivas para mantener los niveles de servicio deseados. Este proceso exige al diseñador aplicar su buen criterio, conocimiento de los materiales y técnicas de construcción existentes, y experiencia.

Entre las características deseadas para un buen desempeño del pavimento se encuentran: resistencia y durabilidad de los materiales ante las cargas de tráfico y cambios de las condiciones medio-ambientales, serviciabilidad, buen drenaje, economía en costos de construcción y mantenimiento, amistoso al medio ambiente, y seguridad. En el caso de los pavimentos flexibles los métodos convencionales de diseño de pavimentos flexibles como el AASHTO 1993 y del Instituto del Asfalto que el MTC y la Norma técnica CE.010 – Pavimentos Urbanos, recomiendan para determinar la estructura del pavimento.

2.1 MÉTODO DE DISEÑO - AASHTO

Es el método de mayor difusión y empleo en nuestro medio. El actual método de la AASHTO, versión 1993, describe los pasos para el diseño de la sección estructural de los pavimentos flexibles y rígidos de carreteras. En el caso de los pavimentos flexibles, el método establece que la superficie de rodamiento se resuelve solamente con concreto asfáltico y tratamientos superficiales, pues asume que tales estructuras soportarán niveles significativos de tránsito (mayores de 50,000 ejes equivalentes acumulados de 8.2 ton durante el periodo de diseño).

Los procedimientos involucrados en el actual método de diseño, versión 1993, están basados en las ecuaciones originales de la AASHO que datan de 1961, producto de las pruebas en Ottawa, Illinois, con tramos a escala natural y para

todo tipo de pavimentos. La versión de 1986 y la actual de 1993 se han modificado para incluir factores o parámetros de diseño que no habían sido considerados y que son producto de la experiencia adquirida.

2.1.1 Volumen vehicular

Para el cálculo del tránsito, el método actual contempla los ejes equivalentes sencillos de 18,000 lb. acumulados durante el período de diseño, por lo que no ha habido grandes cambios con respecto a la metodología original de AASHTO.

La siguiente expresión es la ecuación básica para el diseño de pavimentos flexibles:

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R * S_0 + 9.36 * \log_{10}(SN+1) - 0.20 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2-1.5}\right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 * \log_{10}(M_R) - 8.07$$

Donde:

W_{18} = Número de repeticiones de cargas de un eje equivalente simple.

Z_R = Desviación estándar normalizada.

S_0 = Desviación estándar total combinado de la predicción del tráfico y comportamiento de la estructura.

ΔPSI = Diferencia entre el servicio inicial (P_0) y final (P_t).

M_R = Módulo resiliente de la subrasante.

SN = Número estructural.

El diseño de los pavimentos se basa en el número total de pasadas de la carga estándar de diseño (18,000lb), la sumatoria se denomina ESAL (Equivalent Single Axle Load).

$$ESAL = \sum_{i=1}^m F_i n_i$$

Es decir, cualquier configuración del sistema de ejes y neumáticos del vehículo se convierte a la carga estándar para luego ser sumado y determinar el ESAL, la que se obtiene multiplicando el número de repeticiones de cada configuración por su factor de equivalencia EALF (Equivalent Axle Load Factor)

F_i = factor de equivalencia de carga.

n_i = grupo de vehículos.

ESAL = número de repeticiones de cargas de un eje equivalente simple (8.2tn).

2.1.2 Factor de líneas de tráfico (L)

El método también incorpora en su actualización el factor de distribución por carril. Como se observa en el cuadro N° 2.1.

Cuadro N° 2.1: Factor de distribución por carril.

N° Carriles en cada sentido	% de ESAL's en el carril de diseño
1	100
2	80-100
3	60-80
4 o más	50-75

Fuente: Guía para diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO-1993

2.1.3 Factor de distribución direccional (D)

Según la dirección que adopte el tráfico en la carretera (1.0 para un sentido, 0.5 para dos sentidos).

2.1.4 Periodo de diseño (Y)

Es importante hacer notar que la metodología original de AASHTO usualmente consideraba periodos de diseño de 20 años; en la versión actual de 1993, recomienda los siguientes periodos de diseño en función del tipo de carretera:

Cuadro Nº 2.2: Período de diseño en función del tipo de carretera.

TIPO DE CARRETERA	PERIODO DE DISEÑO
Urbana con altos volúmenes de tránsito	30-50 años
Interurbana con altos volúmenes de tránsito	20-50 años
Pavimentada con bajos volúmenes de tránsito	15-25 años
Revestidas con bajos volúmenes de tránsito	10-20 años

Fuente: Guía para diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO-1993

Finalmente la ecuación general para determinar el número total de pasadas de los diferentes grupos vehiculares equivalente al eje estándar para el carril de diseño es:

$$W_{18} = \left[\sum_{i=1}^m p_i F_i \right] (G)(D)(L)(Y)$$

$$W_{18} = (365) \left[\sum_{i=1}^m p_i F_i \right] (G)(D)(L)(Y)$$

G = Tasa de crecimiento anual.

D (%)= Factor de distribución direccional (1.00 para un sentido, 0.5 para 2 sentidos)

L (%)= Factor de líneas de tráfico, cuando se tengan dos o más carriles por sentido.

Y = Período de diseño en años.

2.1.5 Confiabilidad (R)

La Confiabilidad "R", es la probabilidad expresada como porcentaje que el pavimento proyectado soporte el tráfico previsto .Se trata pues de llegar a cierto grado de certeza en el método de diseño, para asegurar que las diversas alternativas de la sección estructural que se obtengan, durarán como mínimo el período de diseño.

El actual método AASHTO para el diseño de pavimentos flexibles, recomienda valores desde 50 y hasta 99.9 % con diferentes clasificaciones funcionales, notándose que los niveles más altos corresponden a vías importantes y de mayor volumen vehicular.

Cuadro N° 2.3: Niveles de confiabilidad R (%) según las clases de vías.

CLASIFICACIÓN FUNCIONAL.	NIVEL RECOMENDADO DE CONFIABILIDAD.	
	URBANO	RURAL
INTERESTATALES Y OTRAS AUTOPISTAS.	85-99.9	80-99.9
ARTERIAS PRINCIPALES.	80-99	75-95
COLECTORES	80-95	75-95
LOCALES	50-80	50-80

Fuente: Guía para diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO-1993

2.1.6 Desviación estándar normalizada.

Este parámetro está ligado directamente con la Confiabilidad (R), descrita en el punto anterior; en este paso deberá seleccionarse un valor ZR “Desviación Estándar Normalizada”, representativo de condiciones locales particulares, que considera posibles variaciones en el comportamiento del pavimento y en la predicción del tránsito.

Cuadro N° 2.4: Desviación estándar normalizada vs. Factor confiabilidad

R (%)	ZR
50	0.000
60	-0.253
70	-0.524
75	-0.674
80	-0.841
85	-1.037
90	-1.282
91	-1.340
92	-1.405

R (%)	ZR
93	-1.476
94	-1.555
95	-1.645
96	-1.751
97	-1.881
98	-2.054
99	-2.327
99.9	-3.090
99.99	-3.750

Fuente: Guía para diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO-1993

2.1.7 Variabilidad de los datos de entrada

Valores de “So” en los tramos de prueba de AASHTO no incluyeron errores en la estimación del tránsito; sin embargo, el error en la predicción del comportamiento de las secciones en tales tramos, fue de 0.25 para pavimentos rígidos y 0.35 para los flexibles, lo que corresponde a valores de la desviación estándar total debidos al tránsito de 0.35 y 0.45 para pavimentos rígidos y flexibles respectivamente.

2.1.8 Nivel de servicio (PSI)

Se debe elegir un nivel de servicio inicial y terminal para el diseño del pavimento. El nivel de servicio inicial p_0 es una estimación inmediatamente después de terminada la construcción (generalmente 4.2 para pavimento flexible).

El nivel de servicio terminal p_t es el nivel aceptable mas bajo antes de que sea necesario repavimentar el pavimento (para vías importantes se recomienda 2.5-3.0 y 2.0 para las vías de bajo volumen).

El cambio en la calidad de servicio, se puede calcular como:

$$\Delta PSI = p_0 - p_t$$

Donde:

ΔPSI =Diferencia entre los índices de servicio inicial y terminal.

p_0 = Índice de servicio inicial (4.5 para pavimentos rígidos y 4.2 para flexibles).

p_t =Índice de servicio terminal.

Se hace notar que aún en la versión actual, AASHTO no ha modificado la escala del índice de servicio original de 0 a 5 para caminos intransitables hasta carreteras perfectas, respectivamente.

2.1.9 Módulo Resiliente

Se define el módulo resiliente, o resiliencia elástica de un material, a la energía absorbida por este durante la deformación elástica, la cual puede recuperarse al

descargar el material. Este valor es la energía por unidad de volumen requerida para llevar el material desde un esfuerzo nulo hasta el valor de esfuerzo de fluencia o límite elástico.

El Módulo Resiliente (M_r) se determina mediante la ejecución de ensayos triaxiales dinámicos en muestras sometidas a cargas repetidas, lo cual se interrelaciona con la recomendación de la guía en lo referido a la determinación del parámetro indicado.

La representación del suelo de fundación en el diseño de estructuras es por medio del Módulo Resiliente (M_r) y por este factor se puede definir el tipo de pavimento que se colocará en la vía proyectada. Es importante precisar que la obtención del módulo resiliente (módulo dinámico) es compleja por no se tiene un numero constante puesto que pueda variar según las condiciones climáticas o drenaje y esto hace variar los resultados de los diseños calculados. En el Perú, se tiene poca experiencia en la determinación experimental directa de este ensayo.

La guía AASHTO reconoce que muchas agencias no tienen el equipo adecuado para llevar a cabo tal prueba, por lo que han establecido factores de correlación entre M_r y la prueba estándar de Valor Relativo de Soporte CBR.

Factores recomendados de correlación:

$$M_r = 1500 * CBR \quad \text{Para } CBR < 10\%. \text{ (AASHTO) - Origen}$$

Heukelom & Klomp (1962).

$$M_r = 3000 * CBR^{0.65} \quad \text{Para } 7.2\% < CBR < 20\% \text{-Origen}$$

Sudáfrica.

$$M_r = 4362 * \ln CBR + 241 \quad \text{Para suelos granulares.}$$

$$M_r = 2555 * CBR^{0.64} \quad \text{Amplia gama de valores - Origen}$$

AASHTO 2004 Design Guide.

Donde las unidades del M_r están expresadas en psi.

Es importante indicar que esta correlaciones solo son aplicables a los materiales de la capa de subrasante.

2.1.10 Drenaje

Para la obtención de los coeficientes de drenaje, m_2 y m_3 , correspondientes a las capas de base y subbase respectivamente, el método actual de AASHTO se basa en la capacidad del drenaje para remover la humedad interna del pavimento, definiendo lo siguiente:

Cuadro N° 2.5: Capacidad del drenaje para remover la humedad.

Calidad del drenaje	Agua removida
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Regular	1 semana
Pobre	1 mes
Malo	agua no drenada

Fuente: Guía para diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO-1993

En el cuadro N° 2.6 que se visualiza a continuación se presentan los valores recomendados para m_2 y m_3 (bases y subbases) en función de la calidad del drenaje y el porcentaje del tiempo a lo largo de un año, en el cual la estructura del pavimento pueda estar expuesta.

Cuadro N° 2.6: Coeficientes de drenajes para la base y subbase.

Porcentaje de Tiempo al cual está expuesto el Pavimento a Niveles de Humedad próxima a la Saturación				
	Menor a 1%	1 - 5%	5 - 25%	Mayor a 25%
Excelente	1.40-1.35	1.35-1.30	1.30-1.20	1.20
Bueno	1.35-1.25	1.25-1.15	1.15-1.00	1.00
Regular	1.25-1.15	1.15-1.05	1.00-0.80	0.80
Pobre	1.15-1.05	1.05-0.80	0.80-0.60	0.60
Malo	1.05-0.95	0.95-0.75	0.75-0.40	0.40

Fuente: Guía para diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO-1993

Para el cálculo de los espesores D1, D2 y D3 (en pulgadas), el método sugiere respetar los siguientes valores mínimos, en función del tránsito en ejes equivalentes sencillos acumulados:

Cuadro N° 2.7: Espesores mínimos en pulgadas, en función de ESAL.

Espesores mínimos (pulgadas).		
Tráfico ESAL	Concreto Asfáltico	Base de agregados
menos de 50,000	1.0 (trat. superficial)	4
50,001 - 150,000	2.0	4
150,001 - 500,000	2.5	4
500,001 - 2' 000,000	3.0	6
2'000,001 - 7' 000,000	3.5	6
mayor a 7'000,000	4.0	6

Fuente: Guía para diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO-1993

Como ya se describió al principio del método, el “número estructural” sobre la capa subrasante o cuerpo del terraplén es lo primero a calcularse. De la misma manera deberá obtenerse el número estructural requerido sobre las capas de la subbase y base, utilizando los valores de resistencia aplicables para cada uno.

La ecuación SN no tiene una única solución; es decir, hay muchas combinaciones de espesores de capas que son soluciones satisfactorias. El espesor de las capas de un pavimento flexible, se sugiere ser redondeados a la $\frac{1}{2}$ pulgada.

2.1.11 Coeficientes Estructurales de los Materiales que conforman el Pavimento.

El coeficiente estructural es una medida de la habilidad relativa de una unidad de espesor de un material/mezcla determinado, para servir como un componente estructural de un pavimento.

Los coeficientes estructurales (a_i) que son empleados en el Método AASHTO-93, para los diversos materiales son los siguientes:

- **Mezcla de concreto Asfáltico.**

La Figura N° 2.1 presenta un gráfico para determinar el coeficiente estructural a_1 para capas de concreto asfáltico, a partir del módulo de elasticidad.

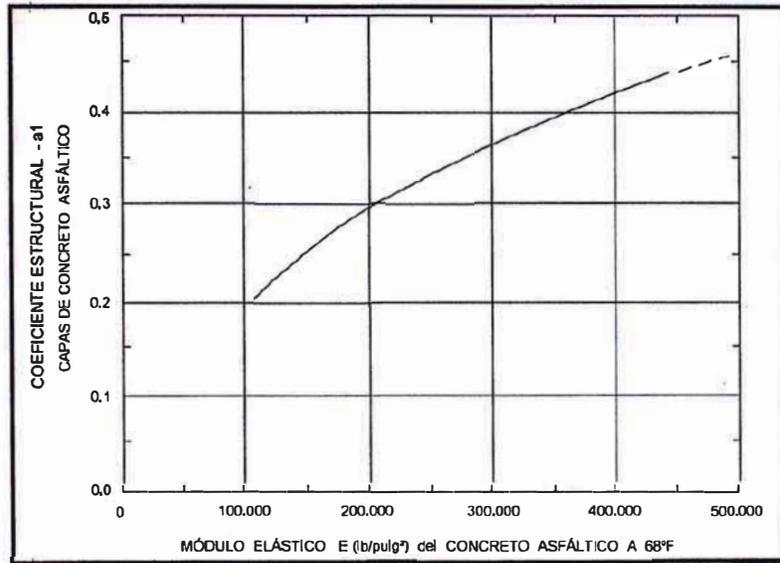


Figura N° 2.1.- Valores de coeficiente estructural para mezclas de concreto asfáltico.

- Base granulares no tratadas.

El coeficiente estructural a_2 para el caso de que la capa base este constituida por agregados no tratados se determina a través del CBR. La figura N°2.2 muestra un gráfico para determinar el coeficiente estructural de la capa base granular no tratada.

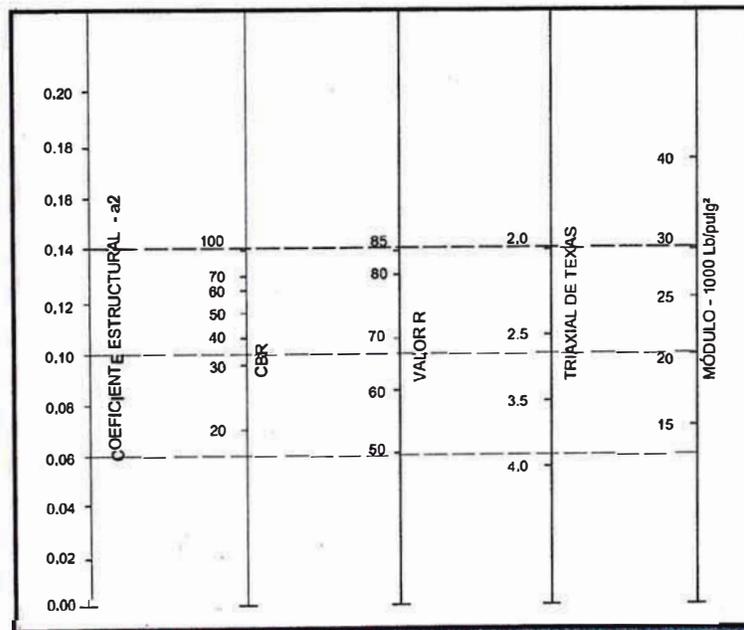


Figura N° 2.2.- Valores de coeficiente estructural para base granular no tratada.

- **Sub base granulares no tratadas.**

El coeficiente estructural a_3 para el caso de que la capa subbase esté constituida por agregados no tratados se determina a través del CBR. La figura N°2.3 muestra un gráfico para determinar el coeficiente estructural de la capa subbase granular no tratada.

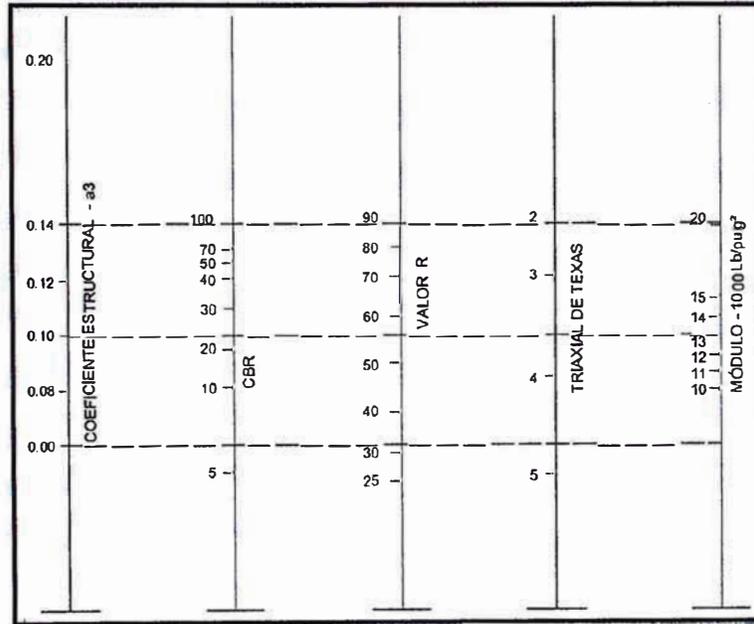
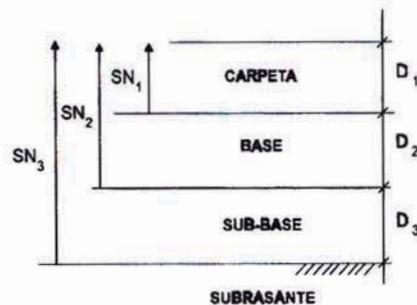


Figura N° 2.3.- Valores de coeficiente estructural para subbase granular no tratada.

2.1.12 Número Estructural

El diseño está basado primordialmente en identificar el número estructural "SN" para el pavimento flexible que pueda soportar el nivel de carga solicitado. La siguiente ecuación puede utilizarse para obtener los espesores de cada capa, (superficie de rodamiento o carpeta, base y subbase) haciéndose notar que el actual método versión 1993, ya involucra coeficientes de drenaje particulares para la base y subbase.

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3$$



Donde:

$$D_1^* \geq \frac{SN_1}{a_1} \quad D_3^* \geq \frac{SN_3 - (SN_1^* + SN_2^*)}{a_3 m_3}$$

$$SN_1^* = a_1 D_1 \geq SN_1$$

$$D_2^* \geq \frac{SN_2 - SN_1^*}{a_2 m_2} \quad SN_1^* + SN_2^* \geq SN_2$$

Nota:

a, D, m y SN = corresponden a valores mínimos requeridos.

D* y SN* = representan los valores finales de diseño.

Siendo:

SN_i = Número estructural de cada capa.

a_i = Coeficiente estructural de la capa i, depende de la característica del material.

D_i = Espesor de la capa i en pulgadas.

m_i = Coeficiente de drenaje de la capa i.

2.2 MÉTODO DE DISEÑO - INSTITUTO DEL ASFALTO

Este método está basado en el establecimiento de un límite de deflexión a la estructura del pavimento, el cual es función del número e intensidad de aplicaciones de carga.

El primer paso para la aplicación del método del Instituto Norteamericano del Asfalto consiste en determinar el número de tránsito para el periodo de diseño. Por otro lado, el método permite el empleo de concreto asfáltico o emulsiones asfálticas en la totalidad o en parte de la estructura del pavimento, e incluye varias combinaciones de capa de rodadura y bases de concreto asfáltico; de capa de rodadura y bases con emulsiones asfálticas, así como capas de rodadura asfáltica con base y subbase granulares.

También considera al pavimento como un sistema elástico de varias capas y para su análisis emplea conceptos teóricos, experimentales y corridas de programa de cómputo, sin embargo con el objeto de simplificar el método, el Instituto de Asfalto propone una serie de ábacos que permiten la aplicación del método en forma rápida y sencilla.

2.2.1 Criterios de diseño.

Mediante esta metodología, se asume que las cargas en la superficie del pavimento producen 2 deformaciones que son consideradas críticas para el diseño. Estas deformaciones unitarias son:

- La deformación horizontal de tensión ϵ_t en el fondo de la capa asfáltica más profunda, ya sea que se trate de concreto asfáltico o de una capa tratada con asfalto emulsificado.
- La deformación vertical de compresión ϵ_c , en la parte superior de la capa de subrasante.

Si ϵ_t es excesiva, se producirán fisuras en la capa asfáltica, mientras que si ϵ_c es excesiva, se producirán deformaciones permanentes en la superficie del pavimento.

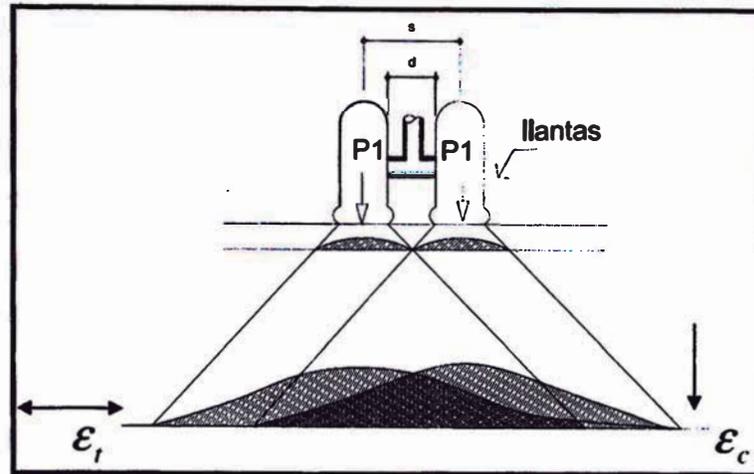


Figura N° 2.4.- Deformaciones Unitarias en el Pavimento.

Donde:

ϵ_t : Deformación horizontal de tensión

ϵ_c : Deformación vertical de compresión.

Debido a la heterogeneidad de vehículos existentes, se debe primero analizar cada eje del vehículo a fin de encontrar la incidencia de carga que cada uno produce (factor de equivalencia de carga).

Como ejemplo para la realidad nacional, un vehículo liviano con ejes simples se conforma de la siguiente manera: el eje delantero con una carga bruta de 2000 lb; el eje trasero con 4000 lb (Según EMAPE). Su conversión a ejes simples es de 0.00018 y 0.00209 respectivamente. Estos valores son altos para un vehículo ligero promedio. Sin embargo, se toma el caso más desfavorable debido a que ellos se encuentran conformados por autos, camionetas y furgonetas.

Cada eje puede llevar en sus extremos un neumático, en cuyo caso se designa como neumático simple, o dos neumáticos, en cuyo caso se designa como neumáticos gemelos o duales.

Los tipos de ejes legalmente reconocidos son:

Eje simple: un único eje.

Eje tándem: grupo de dos ejes sucesivos cuya distancia entre centros es menor a 2 metros.

Eje tridem: grupo de tres ejes sucesivos cuya distancia entre centros es menor a 2 metros

Carril del diseño.

Para calles y carreteras de 2 carriles, el carril de diseño puede ser cualquiera de los carriles de la vía, mientras que para calles y carreteras de carriles múltiples, generalmente es el carril externo. Entonces para el cálculo del porcentaje de camiones en el flujo vehicular sobre el carril de diseño, el actual método recomienda los siguientes valores indicados en el cuadro N° 2.8.

Cuadro N° 2.8: Porcentaje de camiones según número de carriles.

Número de carriles en ambas direcciones	Porcentaje de camiones en el carril de diseño
2	50
4	45
6 o más	40

Fuente: Instituto del Asfalto (MS-1) 1991

A continuación se visualiza el cuadro N° 2.9, para la conversión de cualquier carga y/o combinación de ejes y de neumáticos en un número total de pasadas del eje estándar.

**Cuadro N° 2.9: Factores de equivalencia de carga para diferentes
configuraciones de ejes y cargas.**

Carga Total por Eje o Conjunto de Ejes.		Factores de Equivalencia de Carga.		
Kn	lb	Eje Sencillo	Ejes dobles	Ejes Triples
4.45	1,000	0.00002		
8.9	2,000	0.00018		
17.8	4,000	0.00209	0.0003	
26.7	6,000	0.01043	0.001	0.0003
35.6	8,000	0.0343	0.003	0.001
44.5	10,000	0.0877	0.007	0.002
53.4	12,000	0.189	0.014	0.003
62.3	14,000	0.360	0.027	0.006
71.2	16,000	0.623	0.047	0.011
80.0	18,000	1.000	0.077	0.017
89.0	20,000	1.51	0.121	0.027
97.9	22,000	2.18	0.180	0.040
106.8	24,000	3.03	0.260	0.057
115.6	26,000	4.09	0.364	0.080
124.5	28,000	5.39	0.495	0.109
133.4	30,000	6.97	0.658	0.145
142.3	32,000	8.88	0.857	0.191
151.2	34,000	11.18	1.095	0.246
160.1	36,000	13.93	1.38	0.313
169.0	38,000	17.20	1.70	0.393
178.0	40,000	21.08	2.08	0.487
187.0	42,000	25.64	2.51	0.597
195.7	44,000	31.00	3.00	0.723
204.5	46,000	37.24	3.55	0.868
213.5	48,000	44.50	4.17	1.033
222.4	50,000	52.88	4.86	1.22
231.3	52,000		5.63	1.43
240.2	54,000		6.47	1.66
249.0	56,000		7.41	1.91
258.0	58,000		8.45	2.20
267.0	60,000		9.59	2.51
275.8	62,000		10.84	2.85
284.5	64,000		12.22	3.22
293.5	66,000		13.73	3.62
302.5	68,000		15.38	4.05
311.5	70,000		17.19	4.52
320.0	72,000		19.16	5.03
329.0	74,000		21.32	5.57
338.0	76,000		23.66	6.15
347.0	78,000		26.22	6.78
356.0	80,000		29.00	7.45
364.7	82,000		32.00	8.2
373.6	84,000		35.30	8.9
382.5	86,000		38.80	9.8
391.4	88,000		42.60	10.6
400.3	90,000		46.80	11.6

Fuente: Guía para diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO-1993

2.2.2 Período de diseño y tasa de crecimiento anual

En el cuadro N° 2.10, se presenta la relación entre la tasa de crecimiento anual. Afectando el índice medio diario anual por la tasa de crecimiento se estima el crecimiento del volumen vehicular proyectado para los años que se diseñó el pavimento.

Cuadro N° 2.10: Tasa de crecimiento anual

Período de Diseño (años)	Tasa de crecimiento anual - Porcentaje "r"							
	Sin Crecimiento	2	4	5	6	7	8	10
1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2	2.00	2.02	2.02	2.05	2.06	2.07	2.08	2.10
3	3.00	3.06	3.12	3.15	3.18	3.21	3.25	3.31
4	4.00	4.12	4.25	4.31	4.37	4.44	4.51	4.64
5	5.00	5.20	5.42	5.53	5.64	5.75	5.87	6.11
6	6.00	6.31	6.63	6.80	6.98	7.15	7.34	7.72
7	7.00	7.43	7.90	8.14	8.39	8.65	8.92	9.49
8	8.00	8.58	9.21	9.55	9.90	10.26	10.64	11.44
9	9.00	9.75	10.58	11.03	11.49	11.98	12.49	13.58
10	10.00	10.95	12.01	12.58	13.18	13.82	14.49	15.94
11	11.00	12.17	13.49	14.21	14.97	15.78	16.65	18.53
12	12.00	13.41	15.03	15.92	16.87	17.89	18.98	21.38
13	13.00	14.68	16.63	17.71	18.88	20.14	21.50	24.52
14	14.00	15.97	18.29	19.16	21.01	22.55	24.21	27.97
15	15.00	17.29	20.02	21.08	23.28	25.13	27.15	31.77
16	16.00	18.64	21.82	23.66	25.67	27.89	30.32	35.82
17	17.00	20.01	23.70	25.84	28.21	30.84	33.75	40.00
18	18.00	21.41	25.65	28.13	30.91	34.00	37.45	40.88
19	19.00	22.84	27.67	30.54	33.76	37.38	41.45	51.16
20	20.00	24.30	29.78	33.06	36.79	41.00	45.76	57.28
25	25.00	32.03	41.65	47.73	54.86	63.25	73.11	90.12
30	30.00	40.57	56.08	66.44	79.06	94.46	113.28	166.15
35	35.00	49.99	73.65	90.32	111.43	138.24	172.32	271.02

Fuente: Instituto del Asfalto (MS-1) -1991

La tasa de crecimiento para diferentes tipos de vehículos puede ser estimada variando el crecimiento normal entre 3 y 5% por año. No obstante, carreteras nuevas o nuevos desarrollos pueden generar incrementos de mayor magnitud, los cuales pueden alcanzar valores de hasta 10%.

2.2.3 Área de contacto y presión de neumático

Es sabido que la carga puede causar más daño si la presión del neumático es alta (por la menor área de contacto). Tener en cuenta pues, que la presión del neumático no siempre es igual a la presión de contacto.

En la versión actual, el método incorpora factores de ajuste de los ejes equivalentes de diseño, para diferentes presiones de contacto de las llantas sobre el pavimento, en función de su presión de inflado y de los espesores de la carpeta asfáltica, donde contempla desde cuatro hasta diez pulgadas de espesor, tal como se aprecia en la figura N°2.5.

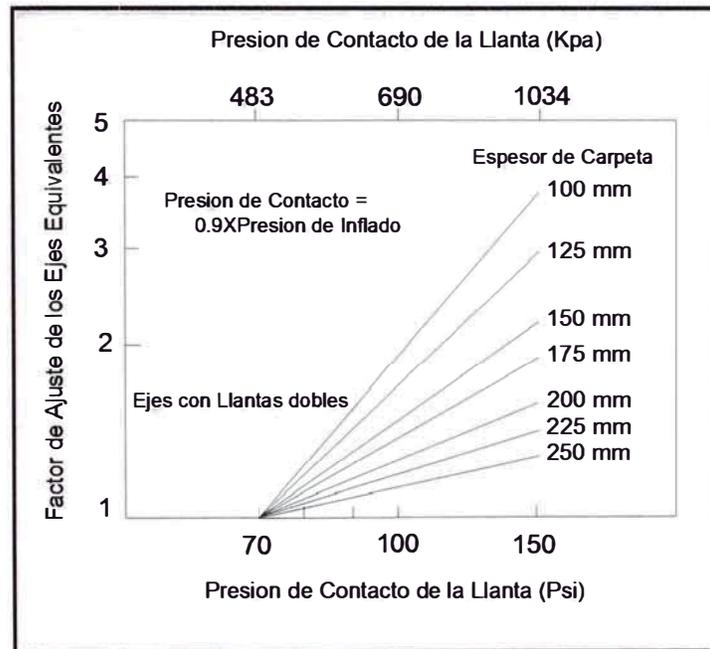


Figura N° 2.5.- Factor de ajuste de los ejes equivalentes por presión de llantas.

Fuente: Instituto del Asfalto -1991

2.2.4 Estimación del tránsito vehicular

Para obtener el índice medio diario o tráfico diario promedio, es necesario contar con una estación de control, la cual recoja los diferentes datos del volumen vehicular a fin de agruparlos por categorías según las normas propuestas para cada país. Ya teniendo esa información se afecta cada grupo vehicular por un

factor de equivalencia de carga. El número de repeticiones para producir igual daño se basa en factores de equivalencia entre la carga real (volumen vehicular) y la carga estándar (eje simple 18,000lb).

$$ESAL = 365(IMD \times F_i) * \frac{(1 + r)^n - 1}{r}$$

Donde:

ESAL = Carga por eje simple equivalente a 80KN.

IMD = Índice medio diario de cada grupo vehicular.

F_i = Factor de equivalencia de carga de cada grupo vehicular.

r (%) = Tasa de crecimiento anual en porcentaje.

n = Período de diseño en años.

2.2.5 Evaluación de los materiales

Para el diseño de los espesores de una sección estructural del pavimento flexible, el método actual del Instituto del Asfalto, considera como parámetro fundamental, dentro de la evaluación de los materiales, la obtención del Módulo de Resiliencia (*Mr*) de la subrasante. Sin embargo, reconocen que no todos los organismos tienen el equipo adecuado para llevar a cabo tal prueba, por lo que han establecido factores de correlación entre *Mr* y la prueba estándar de Valor Relativo de Soporte CBR. Señalan que los resultados son bastante aproximados; sin embargo, para un diseño preciso, se recomienda llevar a cabo la prueba del Módulo de Resiliencia para la subrasante.

Factores recomendados de correlación:

$M_r = 1500 * CBR$	Para $CBR < 10\%$. (AASHTO) - Origen Heukelom & Klomp (1962).
$M_r = 3000 * CBR^{0.65}$	Para $7.2\% < CBR < 20\%$ - Origen Sudáfrica.
$M_r = 4362 * LnCBR + 241$	Para suelos granulares.
$M_r = 2555 * CBR^{0.64}$	Amplia gama de valores – Origen AASHTO 2004 Design Guide.

Donde las unidades del M_r están expresadas en psi.

Es importante indicar que estas correlaciones solo son aplicables a los materiales de la capa de subrasante.

2.2.6 Restricciones de tiempo

Un pavimento debe ser diseñado para soportar los efectos acumulados del tránsito para cualquier período de tiempo. El período seleccionado que dura el pavimento antes que requiera rehabilitación, se define como “*Período de Diseño*”. Al término de éste, se espera que el pavimento requiera alguna rehabilitación mayor, como puede ser una sobrecarpeta de refuerzo para restaurar su condición original. Luego de la primera intervención la vida útil del pavimento, o “*Período de Análisis*”, puede ser extendida indefinidamente, a través de mejoramientos sucesivos de rehabilitación, hasta que el pavimento sea obsoleto por cambios significativos en pendientes, alineamiento geométrico y otros factores.

En función del tránsito esperado sobre el pavimento en estudio, el método del Instituto del Asfalto recomienda los siguientes valores percentiles para calcular el Módulo de Resiliencia de diseño de la capa subrasante.

Cuadro N° 2.11: Valor percentil para el diseño de subrasante.

Nivel de Tránsito	Valor Percentil Diseño Subrasante
Menor a 10,000 ejes equivalentes	60
Entre 10,000 y 1'000.000 ejes equivalentes	75
Mayor a 1'000.000 de ejes equivalentes	87.5

Fuente: Instituto del Asfalto (MS-1) - 1991

Con las muestras de material obtenidas en el campo y con los resultados obtenidos en el laboratorio para determinar sus Módulos de Resiliencia, se deberá calcular el Mr de diseño de la capa subrasante, con los percentiles sugeridos en el cuadro anterior.

Para los requerimientos de compactación en las capas de base y subbase, el actual método proporciona las siguientes recomendaciones:

Capas de base y subbase formadas con materiales granulares sin tratamiento, esto es, no estabilizadas, deberán compactarse con un contenido de humedad óptimo más menos 1.5 puntos en porcentaje, para alcanzar una densidad mínima del 100% de la densidad máxima de laboratorio.

Así mismo, recomienda los siguientes valores para las diferentes pruebas a realizarse con materiales de bases y subbases, como se observa en el cuadro N° 2.12.

Cuadro N° 2.12: Diferentes pruebas, con materiales de base y subbase.

Requisitos de calidad de las capas granulares		
Ensayo	Base	Sub-base
CBR mínimo	80	20
LL máximo	25	25
IP máximo	NP	6
Equiv. de arena, mínimo	35	25
% Material que pasa la malla N°200	7	12

Fuente: Instituto del Asfalto (MS-1) -1991

2.2.7 Propiedades de los materiales

Las bases estabilizadas con emulsiones asfálticas corresponden a tres tipos de mezcla, según la clase de agregados utilizados, se tiene:

Tipo I: Mezcla elaborada con agregados procesados de gradación densa.

Tipo II: Mezcla elaborada con agregados semi-procesados.

Tipo III: Mezcla elaborada con arenas o arenas limosas.

En cuanto a requerimientos de espesores mínimos, en función del nivel de tránsito en ejes equivalentes, el método recomienda los siguientes valores:

A) Para superficies de concreto asfáltico construidas sobre bases estabilizadas con emulsión asfáltica:

Cuadro N° 2.13: Espesor mínimo de para superficies de concreto asfáltico.

Tráfico de Diseño (EAL)	Espesor mínimo	
	(cm)	(pulg)
10 ⁴	5	2
10 ⁵	5	2
10 ⁶	7.5	3
10 ⁷	10	4
>10 ⁷	13	5

Fuente Instituto del Asfalto (MS-1) -1991

*Podrá usarse concreto asfáltico o mezclas asfálticas emulsificadas Tipo I con un tratamiento superficial, sobre bases asfálticas tipo II o III.

B) Para superficies de concreto asfáltico construido sobre bases granulares sin estabilizar:

Cuadro N° 2.14: Espesores de concreto asfáltico sobre bases granulares.

Espesores mínimos de concreto asfáltico sobre Bases granulares		
Tráfico de diseño EAL	Condicion de tránsito	Espesor (cm)
$\leq 10^4$	Vías de tránsito liviano	7.5
$10^4 - 10^6$	Vías de tránsito medio	10
$\geq 10^6$	Vías de tránsito medio a pesado	12.5

Fuente: Instituto del Asfalto (MS-1) -1991

* Para pavimentos con espesor pleno de concreto asfáltico o con base estabilizada con emulsión asfáltica, se requiere un espesor mínimo de 10cm.

El método más reciente del Instituto del Asfalto, proporciona para el diseño final de los espesores, 18 cartas de diseño en sistema métrico y 18 en sistema inglés.

2.2.8 Factores ambientales

Es importante hacer notar que el método contempla factores de medio ambiente y varios tipos o clases de asfalto según las necesidades particulares del diseño, como se observa en el cuadro N° 2.15.

Cuadro N° 2.15: Grados de asfalto de acuerdo el tipo de clima.

Condiciones de temperatura.	Grado de asfalto.	
Frío, \bar{T} promedio anual menor a 7°C.	AC-5 AR-2000 Pen 120/150	AC-10 Ar-4000 Pen 85/100
Templado, \bar{T} promedio anual entre 7°C y 24 °C.	AC-10 AR-4000 Pen 85/100	AC-20 Ar-8000 Pen 60/70
Cálido, \bar{T} promedio anual mayor a 24 °C.	AC-20 Ar-8000 Pen 60/70	AC-40 Ar-16000 Pen 40/50

Fuente: Instituto del Asfalto (MS-1) -1991

CAPÍTULO III: APLICACIÓN DE LAS METODOLOGÍAS AL DISEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN SUELOS FINOS.

3.1 UBICACIÓN DEL AREA EN ESTUDIO.

La prolongación de la Av. Tres, se encuentra emplazada en el perímetro de la Parcela U.C 02958 Ex Fundo Hospital Carabayllo Viejo, Distrito de Carabayllo, Provincia y Departamento de Lima, que comprende una longitud de 160.24 ml, con un ancho de vía de 30.00m tal como se aprecia en el Plano MS-01.

Tiene clima árido y semicálido con un temperatura promedio de 18°C, en la época de invierno hay presencia de nieblas bajas.

3.2 INVESTIGACIONES EFECTUADAS.

3.2.1 Trabajos de Campo.

3.2.1.1 Calicatas.- Se realizaron tres (03) calicatas en la modalidad "a cielo abierto", las mismas que fueron ubicadas convenientemente y con una profundidad de 1.50m con respecto al nivel actual del terreno, como se muestra en el cuadro N°3.1.

Este sistema de exploración nos permite analizar directamente los diferentes estratos encontrados, así como sus principales características físicas y mecánicas, tales como: granulometría, color, humedad, plasticidad, compactación, etc.

Cuadro N° 3.1: Calicatas

CALICATA	PROFUNDIDAD (m)	NIVEL FREATICO	OBSERVACIONES
C-1	1.50	No se detecto	0.15m de tierra de cultivo
C-2	1.50	No se detecto	0.10m de tierra de cultivo
C-3	1.50	No se detecto	0.10m de tierra de cultivo

Fuente: Elaboración propia

3.2.1.2 Muestreo Disturbado.- Se tomaron muestras disturbadas de cada uno de los tipos de suelos encontrados, con la finalidad de realizar las pruebas de laboratorio enmarcados en la determinación de los parámetros geotécnicos necesarios para la clasificación de los suelos encontrados y resistencia; que conlleve a un adecuado diseño estructural del pavimento.

3.2.1.3 Registros de excavaciones.- Paralelamente al muestreo, se elaboraron los registros de excavaciones de cada una de ellas, indicando las principales características de todos los estratos encontrados.

3.2.1.4 Densidades Naturales.- Se determinaron densidades naturales, utilizando el Método del Cono y la Arena, tal como indica el cuadro N° 3.2.

Cuadro N° 3.2: Densidades

DENSIDAD	CALICATA	PROFUNDIDAD (m)	DENSIDAD NATURAL tn/m ²
D-1	C-1	0.50	1.682
D-2	C-2	0.60	1.698
D-3	C-3	0.40	1.691

Fuente: Elaboración propia

3.2.2 Ensayos de Laboratorio.

Con las muestras representativas extraídas se realizaron los siguientes ensayos:

- Análisis Granulométrico por Tamizado (NTP 339.128).
- Límite Líquido (NTP 339.129).
- Límite Plástico (NTP 339.129).
- Contenido de Humedad (NTP 339.127).
- Analisis Quimico: sales solubles (NTP 339.152).
- California Bearing Ratio – C.B.R. (NTP 339.145)

3.2.2.1 California Bearing Ratio – CBR (NTP 339.145)

El Índice de California (CBR) es una medida de la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo, bajo condiciones de densidad y humedad, cuidadosamente controladas.

Se usa en el proyecto de pavimentos flexibles auxiliándose de curvas empíricas. Se expresa en porcentaje como la razón de la carga unitaria que se requiere para introducir un pistón a la misma profundidad en una muestra de tipo piedra partida. Los valores de carga unitaria para las diferentes profundidades de penetración dentro de la muestra patrón están determinados.

El CBR que se usa para proyectar, es el valor que se obtiene para una profundidad de 0.1 pulgadas. Como el CBR de un agregado varía de acuerdo a su grado de compactación y el contenido de humedad, se debe repetir cuidadosamente en el laboratorio las condiciones del campo, para lo que se requiere un control minucioso. A menos que sea seguro que el suelo no acumulara humedad después de la construcción, los ensayos CBR se llevan a cabo sobre muestras saturadas.

3.2.3 Clasificación de Suelos.

Con los resultados de propiedades índices y análisis granulométrico, se presenta el cuadro N° 3.3 “Clasificación de Suelos”, que resume los resultados principales de los materiales ensayados incluyendo las clasificaciones SUCS y AASTHO.

Cuadro N° 3.3: Clasificación de Suelos

CALICATA	C-1		C-2		C-3	
	0.10-0.80	0.80-1.50	0.10-0.80	0.80-1.50	0.10-0.80	0.80-1.50
Prof. (m)	0.10-0.80	0.80-1.50	0.10-0.80	0.80-1.50	0.10-0.80	0.80-1.50
Ret. N° 4	0.0	0	0	0	0	0
Pasa N° 200	67.2	63.5	68.4	64.7	67.8	65.5
L.L.(%)	44	22	44.8	22.4	44.3	22.1
I.P.(%)	21.9	NP	23.1	NP	23.1	NP
SUCS	CL	ML	CL	ML	CL	ML
AASHTO	A-7-6(13)	A-4(6)	A-7-6(15)	A-4(6)	A-7-6(13)	A-4(6)

Fuente: Elaboración propia

3.2.4 Descripción del Perfil Estratigráfico.

Con los resultados de laboratorio, muestreo in-situ se dedujo la siguiente conformación del subsuelo:

Superficialmente se ubica tierra de cultivo con arbustos en un espesor promedio de 0.15m, continua hasta 0.80m de profundidad una arcilla arenosa de mediana plasticidad color marrón claro, consistencia dura, densidad natural promedio de 1.680 tn/m³, en este estrato se realizó el Ensayo de CBR, obteniéndose un valor de 9.4% al 95% de la Máxima Densidad Seca del Ensayo del Proctor Modificado; sub yace los limos arenosos no plásticos color marrón claro amarillento, con intercalaciones de arena fina de 4 a 8 cm de espesor, consistencia media hasta 1.50m de profundidad.

3.3 DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES.

3.3.1 Método AASHTO.

3.3.1.1 Parámetros de Diseño

- **Numero de repeticiones de ejes equivalentes de 8.2 Ton (W_{18})**

El volumen de tráfico proyectado que soportara la estructura del pavimento será pesado y se obtuvo (ver anexo 1) un número de repeticiones de carga equivalente por eje simple igual:

$$W_{18} = 1 \times 10^6.$$

- **Confiabilidad (R).**

El tramo en estudio se encuentra en una zona urbana y se clasifica como arteria principal, por lo cual se adoptó como nivel de confiabilidad el valor de **R= 90%**, de acuerdo a la recomendación de la guía de diseño AASHTO presentada en el cuadro N° 2.3.

Para la confiabilidad considerada se obtiene la Desviación Estándar Normal de acuerdo al Cuadro N° 2.4 de **Zr=-1.282**.

- **Desviación Estándar Total (So):**

El valor de desviación Estándar Total varía entre 0.40 y 0.50 para pavimento flexible. Se adopta el valor promedio de **So=0.45**.

- **Serviciabilidad.**

La guía AASHTO recomienda un índice de serviciabilidad inicial $P_o=4.2$, para pavimentos flexibles y un índice de serviciabilidad final $P_f = 2.2$ con lo cual para el diseño del pavimento en el presente informe se tiene una pérdida de serviciabilidad **$\Delta PSI= 2.0$** , para un periodo de 10 años.

- **Módulo Resiliente.**

Para calcular el Módulo Resiliente (M_r) a partir del valor del CBR, usamos una de la siguiente formula:

$$M_r (\text{psi})= 1500 \cdot \text{CBR}$$

De acuerdo a lo indicado en la sección 3.2.4 se determinó el valor de CBR para la subrasante de $\text{CBR} = 9.4\%$. Con lo cual reemplazando este valor obtenemos el Modulo resilente para la subrasante es: **$M_r= 14100 \text{ psi}$**

- **Índices Estructurales.**

- a) **Coficiente de Aporte Estructural.**

Para determinar los índices estructurales que constituyen el pavimento se emplean nomogramas los cuales relacionan valores de CBR, módulo de elasticidad, dependiendo el caso y el valor a determinar.

Se ha considerado para los factores a_i , los siguientes coeficientes de aporte estructural, en base a sus propiedades físicas, como se indica a continuación:

Carpeta asfáltica **$a_1= 0.42/\text{pulg}$** (estabilidad 2000 lb)

Base granular **$a_2= 0.14/\text{pulg}$** (CBR=100%)

Subbase granular $a_3 = 0.12$ / pulg (CBR=40%)

Los coeficientes de aporte estructural se han obtenido de las cartas proporcionada por la Guía AASHTO.

b) Coeficiente de Drenaje.

Considerando una calidad de drenaje regular y del 5% al 25% del tiempo del año expuesta a la humedad, los valores de los coeficientes de drenaje asumidos son los siguientes:

Base granular $m_2 = 1.00$

Subbase granular $m_3 = 1.00$

• **Numero Estructural (SN)**

Para determinar el número estructural se ingresan los valores determinados en el nomograma indicado por la guía AASHTO.

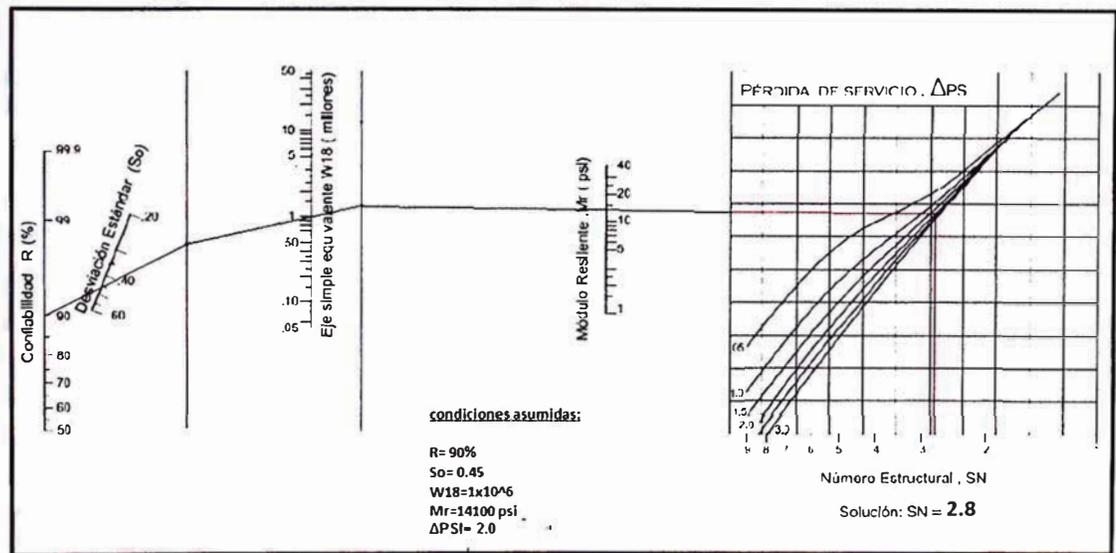


Figura N° 3.1.- Nomograma para determinar el Numero Estructural.

Fuente Guía AASHTO-1993

Se indica el cuadro resumen de los datos obtenidos anteriormente:

Cuadro N° 3.4: Cuadro de resumen de datos obtenidos

DATOS	
Mr	14100 psi
R	90%
So	0.45
Δ PSI	2.00
W18	1×10^6

Fuente: Elaboración propia

Con los valores indicados en el cuadro N° 3.4 y graficados en el Nomograma de la Figura N° 3.1, se obtiene como valor de Número Estructural **SN=2.8**.

3.3.1.2 Diseño de los Espesores del Pavimento.

Con el valor del Número Estructural, los coeficientes de drenaje, índices estructurales:

$$m_2 = m_3 = 1.00$$

$$a_1 = 0.42/\text{pulg}$$

$$a_2 = 0.14/\text{pulg}$$

$$a_3 = 0.12/\text{pulg}$$

$$SN = 2.8.$$

Y teniendo en cuenta los espesores mínimos requeridos, de la guía AASHTO-93, de la carpeta asfáltica y de la base indicada en el cuadro N° 2.7.

Espesores mínimos para un ESAL= 1×10^6 :

Carpeta asfáltica: 3 pulg

Base granular: 6 pulg

Remplazando todos los valores obtenidos en la siguiente formula:

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3$$

Se determinó los espesores adecuados y requeridos para el pavimento a diseñar.

Cuadro N° 3.5: Espesores Finales metodología AASHTO

TIPO DE CAPA	ESPESOR	
Carpeta Asfáltica	7.50 cm	3 pulg
Base Granular	15.00cm	6 pulg
Sub base	15.00cm	6 pulg

Fuente: Elaboración propia

3.3.2 Método del Instituto del Asfalto.

3.3.2.1 Parámetros de Diseño

- **Tráfico (EAL).**

Se consideran de primordial importancia al número y cargas por eje esperadas en un periodo de tiempo determinado. El volumen de tráfico proyectado que soportara la estructura del pavimento será pesado y se obtuvo (ver anexo 1), un número de repeticiones de carga equivalente por eje simple igual:

$$EAL = 1 \times 10^6.$$

- **Suelos – Modulo Resilente (Mr).**

En el diseño de espesores de una estructura de pavimento flexible, este método, considera como parámetro fundamental la evaluación de los materiales para obtener el Modulo Resilente.

Como no es fácil tener el equipo adecuado para llevar a cabo este tipo de pruebas, se han establecidos factores de correlación entre el Modulo Resilente (Mr) y la prueba del CBR; los valores obtenidos son bastante aproximado.

Para calcular el Módulo de Resiliente (M_r) a partir del valor del CBR, usamos una de las siguientes formulas (dependiendo la unidad en que se requiera el M_r):

- a) M_r (psi) = $1500 \cdot \text{CBR}$
- b) M_r (Mpa) = $10.342 \cdot \text{CBR}$

De acuerdo a lo indicado en la sección 3.2.4 se determinó el valor de CBR para la subrasante de $\text{CBR} = 9.4\%$. Con lo cual reemplazando este valor obtenemos el Modulo resiliente para la subrasante: **$M_r = 97.21$ Mpa**

- **Condiciones ambientales de temperatura.**

Para el diseño del pavimento en estudio se consideró como referencia de temperatura media anual del aire 15.5°C , en un clima templado.

3.3.2.2 Diseño de los Espesores del Pavimento.

Con las consideraciones anteriores mencionadas se utilizó la Carta de Diseño A12 para calcular los espesores del pavimento de la carpeta asfáltica y la base granular respectivamente.

Trafico de Diseño	$EAL = 1 \times 10^6$
Módulo Resiliente	$M_r = 97.21$ Mpa
Clima	$TMAA = 15.5^\circ\text{C}$

Por lo tanto para una base de 300mm, en la carta de diseño A12 (ver anexo 3) se determinó los espesores indicados en el cuadro N° 3.4.

Cuadro N° 3.6: Espesores finales metodología Instituto del Asfalto

TIPO DE CAPA	ESPESOR	
Carpeta Asfáltica	12.50 cm	5 pulg
Base Granular	30.00 cm	12 pulg

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV: PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO

Desde el principio de la existencia del ser humano se ha observado su necesidad por comunicarse, por lo cual fue desarrollando diversos métodos para la construcción de caminos, desde los caminos a base de piedra y aglomerante hasta nuestra época con métodos perfeccionados basándose en la experiencia que conducen a grandes autopistas de pavimento flexible o rígido.

Es por esto, que en el presente capítulo desarrollaremos el proceso constructivo de un pavimento flexible urbano cuya subrasante está formado por un suelo fino.

4.1 TRABAJOS PRELIMINARES

En los trabajos previos a la formación de la capa subrasante, se realiza los siguientes trabajos:

- movilización y desmovilización de equipos y herramientas
- trazo, niveles y replanteo
- mantenimiento de tránsito y desviaciones, etc.

4.2 MOVIMIENTOS DE TIERRA

Comprende los trabajos los siguientes trabajos:

- Excavación (y de relleno si fuese el caso) hasta el nivel indicado en los planos del proyecto, para llegar al nivel de la sub rasante.

El corte o excavación se realiza con equipo adecuado, ejemplo un cargador frontal y se tendrá especial cuidado de no dañar ni obstruir el funcionamiento de las instalaciones de servicio público existentes, tales como conexiones domiciliarias de agua, luz, teléfono, etc.

- Eliminación de todo el material proveniente de la excavación a nivel de la subrasante y materiales que fuera excedente. Se prestará particular atención al hecho que tratándose de trabajos a realizarse en zona urbana, no deberá apilarse los excedentes interrumpiendo el tránsito peatonal o vehicular así como molestias con el polvo que generen las tareas de apilamiento, carguío y transporte. Estos trabajos se realizan con cargador frontal y volquetes.

4.3 SUB-RASANTE

En este caso la Norma Peruana del MTC (Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú 2012) considera un material apto para ser considerado como subrasante cuando su CBR es mayor o igual a 6%. Si tiene un CBR menor se debe plantear el mejoramiento o reemplazo de dicho suelo.

Para nuestro caso el suelo fino de la subrasante tiene un CBR = 9.4%, por lo que no necesita mejoramiento del suelo.

La preparación del suelo que hará la función de la subrasante, consiste en una serie de operaciones previas, cuya ejecución es necesaria y muy importante para cimentar la colocación de la capa de sub-base sobre la subrasante.

4.3.1. Escarificación y homogeneización de la subrasante.

El procedimiento consiste en disgregar la superficie del suelo a lo largo y ancho de lo que será la calzada en una profundidad no menor de 20 cm, permitiendo que adquiera una condición suelta. Este procedimiento se realiza con tractor de orugas (ver figura N° 4.1.), o bien mediante escarificadores de gradas o discos. El objeto de esta actividad es obtener una mezcla uniforme y asegurar una compactación adecuada. Se eliminarán partículas mayores a 2.5".



Figura N° 4.1.- Escarificación de la superficie de la subrasante.

4.3.2. Humectación del suelo de subrasante.

Después de la escarificación y la homogeneización del material, si el suelo estuviese muy seco de acuerdo a la humedad especificada del material ha compactar, éste puede humedecerse mediante los sistemas de riego tradicionales (ver figura N°4.2) hasta llevarlo a una condición de ± 2 % con respecto a la humedad óptima de compactación, obtenida en el laboratorio por medio del ensayo proctor.

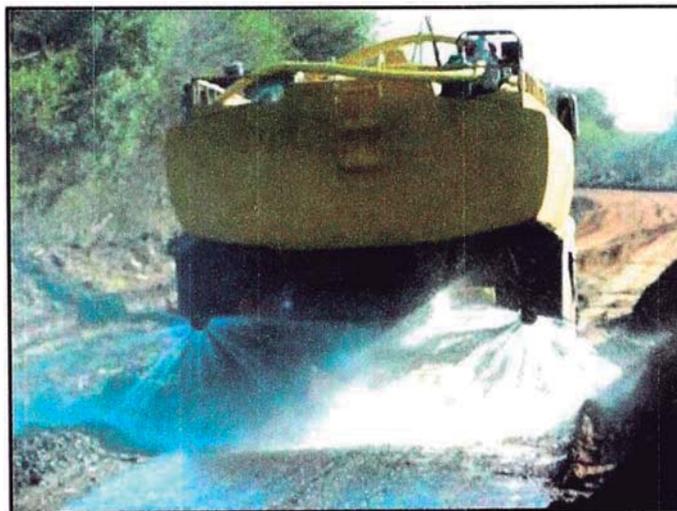


Figura N° 4.2.- Humectación del material de subrasante.

4.3.3 Compactación de la subrasante.

Al efectuarse la operación de compactación, después de realizar la nivelación con motoniveladora hasta la altura requerida de la capa de subrasante, mediante las técnicas convencionales en el movimiento de tierras, se realiza una compactación con un rodillo compactador pata de cabra, hasta llegar a una compactación uniforme de por lo menos el 95 de la máxima densidad seca del Proctor Estándar.



Figura N° 4.3.- rodillo “pata de cabra” para compactación de suelo fino.

4.4 SUB-BASE GRANULAR.

Para el proceso de conformación de la capa sub-base, se realiza el suministro de agregados granulares para su colocación en conformidad con los alineamientos verticales, pendientes y dimensiones indicadas en los planos del proyecto o establecidos por el Ingeniero supervisor.

4.4.1. Colocación del material de sub-base.

El material granular para sub-base, se colocara sobre la superficie de la subrasante evitando su segregación. En ningún caso se deberá colocar capas de material para sub-base mayores de 20 cm, ni menores a 10 cm.

4.4.2. Distribución del material de sub-base.

El material de sub-base en estado suelto, será esparcido con un contenido de humedad de $\pm 2\%$ con respecto a la humedad óptima, en un espesor necesario para que después de ser compactado, tenga el espesor de diseño. El esparcimiento se deberá hacer con el equipo adecuado, ya sea con una finisher o una motoniveladora para producir una capa de espesor uniforme en todo el ancho requerido, conforme a las secciones transversales mostradas en los planos.

4.4.3. Compactación de la capa de sub-base.

El procedimiento de compactación de la capa sub-base, se realiza por medio de compactadores mecánicos como rodillos lisos, rodillos con ruedas neumáticas o con otro equipo aprobado para compactación, que produzca los resultados exigidos por las especificaciones técnicas de construcción.

La compactación deberá avanzar gradualmente, en las tangentes, desde los bordes hacia el centro y en las curvas desde el borde interior al exterior, paralelamente al eje de la carretera y traslapando uniformemente la mitad del ancho de la pasada anterior. El procedimiento se continuara alternadamente hasta lograr una densidad que cumpla con la del proctor, según la especificación, en todo el espesor de la capa.

4.5 BASE GRANULAR.

Concluidos los trabajos de colocación de la sub base, la siguiente capa a construir será la base; antes de comenzar su construcción, se deberá realizar un barrido sobre la superficie de la sub base, con la finalidad de eliminar cualquier partícula u objeto no deseado.

El procedimiento constructivo será igual que el anotado en el punto anterior.

4.6 SARDINELES SUMERGIDO

Se realizarán los trabajos construcción de sardineles sumergidos, los cuales servirán para confinar la sub base, base y carpeta asfáltica.

Una vez culminada los trabajos de colocación de la base granular se procederá a los trabajos de excavación manual para sardineles sumergidos según medidas detallada en los planos del expediente técnico.

Luego se procederá a realizar el encofrado generalmente una sola cara a la profundidad determinada en los planos, dejando juntas cada 6 ml. El espesor del sardinel será de 15 cm. El encofrado deberá estar perfectamente alineado y guardando las pendientes de los planos.

Se procederá al vaciado de concreto una vez que los encofrados sean aprobados por la supervisión.

Finalmente se realizara el desencofrado y la limpieza de las “rebabas” de concreto.



Figura N° 4.4.- sardinel sumergido de 0.15x0.30 m.

4.7 RIEGO DE IMPRIMACIÓN.

4.7.1. Materiales empleados en la imprimación.

El material asfalto líquido, de grado MC-30

El material debe ser aplicado tal como sale de planta, sin agregar ningún solvente o material que altere sus características.

La tasa de aplicación o dosificación podrá variar de 1.00 a 1.75 litros por metro cuadrado, debiéndose adoptar la que es totalmente absorbida en 24 horas. El material secante deberá ser arena libre de materia orgánica y de sustancias perjudiciales.

4.7.2. Condiciones meteorológicas.

No se podrá imprimir cuando existan condiciones de lluvia.

La Capa de Imprimación debe ser aplicada solamente cuando la temperatura atmosférica a la sombra esté por encima de los 10 °C, y la superficie del camino esté razonablemente seca.

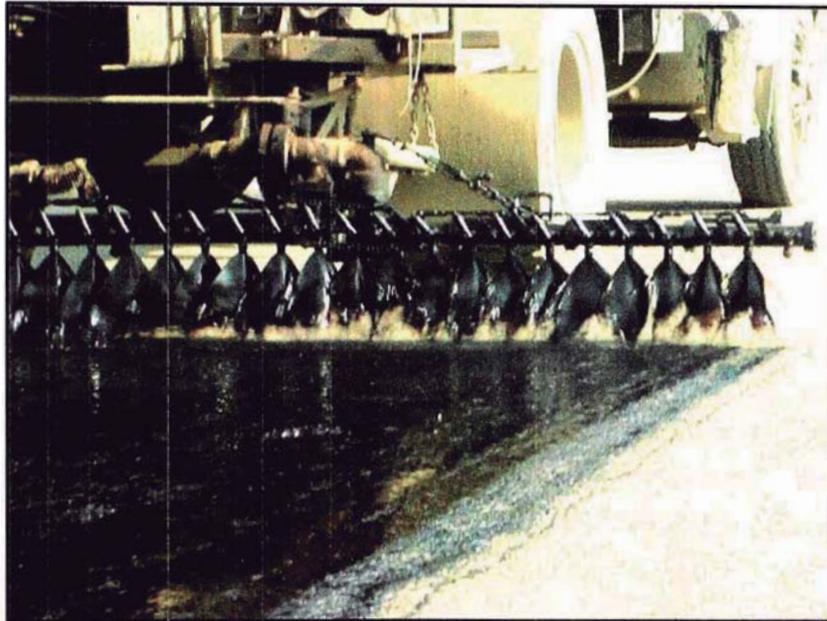


Figura N° 4.5.- riego del material asfáltico.

4.7.3 Preparación de la superficie para la imprimación.

Antes de aplicar el riego de imprimación se deberá remover todo el material suelto, barriendo la superficie obligatoriamente con una escoba mecánica o soplete de aire, solo se podrá usar escobillones a mano en secciones limitadas o de difícil acceso comprobado. Se hará un riego ligero de agua a las zonas demasiado secas, sobre la superficie limpia antes de aplicar el material asfáltico. Se procederá con el riego de imprimación cuando la base comience a presentar la apariencia de estar seca.



Figura N° 4.6.-barrido con sopleteo.

4.7.4 Riego del material asfáltico sobre la superficie.

El riego del material asfáltico deberá hacerse preferiblemente durante las horas más calurosas del día y por ningún motivo se aplicara cuando la base se encuentre mojada o haya peligro de lluvia. La penetración normal del riego debe ser de 8 a 10 mm, aunque puede considerarse como satisfactoria una penetración menor, siempre que haya buena adherencia entre el material asfáltico y el pétreo de la base.

La base imprimada deberá cerrarse al tránsito durante 24 y 48 horas para que el producto bituminoso penetre y se endurezca superficialmente. El exceso de material bituminoso que forme charcos, será retirado con escobas y trabajo manual con o sin adición de arena.

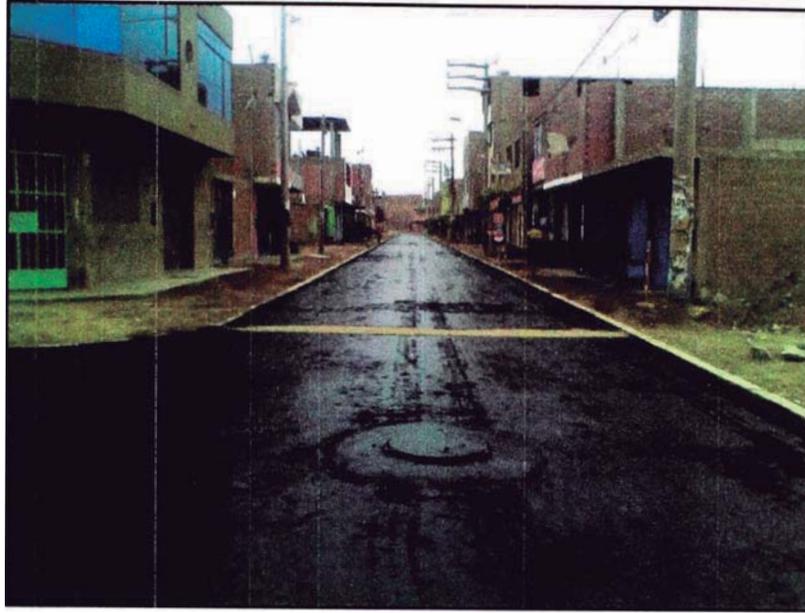


Figura N° 4.7.- Base granular Impregnada con Emulsión Asfáltica.

4.8 MEZCLA ASFALTICA

El comportamiento de la mezcla depende de circunstancias externas a ellas mismas, tales como son el tiempo de aplicación de la carga y de la temperatura.

Las mezclas asfálticas se pueden fabricar en caliente o en frío, siendo más comunes las primeras, por lo que se enfocará el estudio hacia las mezclas asfálticas en caliente.

4.8.1 Transporte

Generalmente se emplean camiones del tipo volqueta, durante el transporte, la mezcla se debe proteger con una lona, para evitar que el aire frío se cuele hacia la carga.

Una vez llega a la obra, el ingeniero residente debe encargarse de verificar la temperatura de llegada en la volqueta. Cuando se va a comenzar el proceso de colocación, se retira la lona y se deposita la mezcla en la tolva de la terminadora de mezcla asfáltica, conocida también como finisher.

Al llegar la mezcla a la obra el ingeniero debe hacer una inspección visual de la mezcla para notar sus deficiencias

4.8.2 Entrega

La caja del camión se debe elevar lentamente, para evitar la segregación de la mezcla.



Figura N° 4.8.- Descargue del asfalto a la pavimentadora.

4.8.3 Extensión

El proceso principal de construcción del pavimento consiste en extender la mezcla a lo largo de la vía y compactarla adecuadamente hasta la densidad mínima especificada en las normas.

La mezcla se extiende con máquinas autopropulsadas, diseñadas para colocarla con la sección transversal proyectada sobre la superficie, en un ancho y un espesor determinados, y para proporcionarle una compactación inicial.

Sobre la superficie por pavimentar se debe colocar una guía longitudinal que sirva de referencia al operador de la máquina, para conservar el alineamiento.

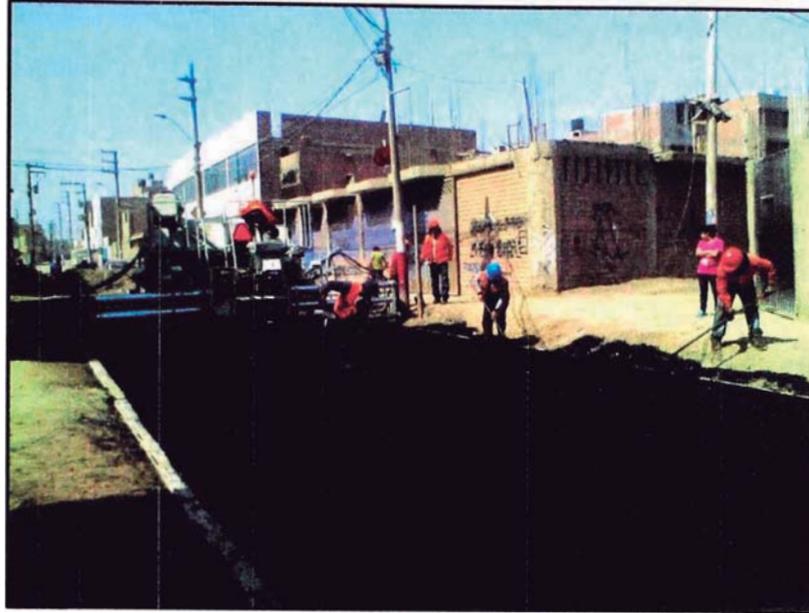


Figura N° 4.9.- Pavimentadora .

4.8.4 Compactación

La compactación es la etapa final de las operaciones de pavimentación con mezclas asfálticas en caliente. En esta etapa se desarrolla la resistencia total de la mezcla y se establecen la lisura y la textura de la carpeta.

Al compactar la mezcla, esta adquiere estabilidad, cohesión e impermeabilidad, que se traduce en capas de rodadura resistente, durable y lisa.

La compactación de la mezcla asfáltica se realiza en tres fases:

Compactación inicial.-Es la primera pasada del compactador sobre la carpeta recién colocada. Se usan compactadores vibratorios o estáticos. Esta actividad se debe hacer sobre toda la carpeta.

Compactación intermedia.-Para obtener la densidad requerida antes del enfriamiento de la mezcla. Con esta compactación se logran la densidad y la impermeabilidad requeridas

Compactación final.-Para eliminar marcas sobre la superficie y alcanzar la suavidad final.

Generalmente se usan los compactadores neumáticos. Se hace mientras la mezcla este todavía lo suficientemente caliente para permitir la eliminación de cualquier marca de la compactación.



Figura N° 4.10.- Compactación de la carpeta asfáltica.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- El presente reporte técnico corresponde al Informe de Mecánica de Suelos con Fines de Pavimentación, para la Construcción de la Prolongación de la Av. Tres, que se encuentra emplazada en el perímetro de la Parcela U.C 02958 Ex. Fundo Hospital Carabayllo Viejo, Distrito Carabayllo, Provincia y Departamento de Lima, que comprende una longitud de 160.24ml con un ancho de vía de 30.00ml

- De acuerdo a las investigaciones geotécnicas realizadas, ensayos de laboratorio se describe el siguiente perfil estratigráfico:

Superficialmente se ubica tierra de cultivo con arbustos en un espesor promedio de 0.15m, continua hasta 0.80m de profundidad una arcilla arenosa de mediana plasticidad color marrón claro, consistencia dura, densidad natural promedio de 1.690 Tn/m^3 , en este estrato se realizó el Ensayo de CBR, obteniéndose un valor de 9.4% al 95% de la Máxima Densidad Seca del Ensayo Proctor Modificado; sub yase los limos arenosos no plásticos color marrón claro amarillento, con intercalaciones de arena fina de 4 a 8 cm de espeso, consistencia media hasta 1.50m de profundidad.

- De los resultados del Análisis Químico, realizados en la Calicata C-2, se concluye que el grado relativo al ataque de los sulfatos es como no agresivo al concreto.

- Considerando la metodología AASHTO, la estructura del pavimento flexible para la Prolongación Av. Tres, está conformada de la siguiente manera:

Concreto Asfáltico en Caliente : 7.50 cm

Base granular : 15.0 cm

Sub base granular : 15.0 cm

Sub rasante: La conforma una arcilla arenosa, la cual se escarificara en un espesor de 0.15m, para luego compactarla al 95% de la MDS del Ensayo Proctor Modificado.

Obligatoriamente, el control de compactación se realizará cada 50ml de longitud de vía como máximo.

Sub Base Granular: El material granular seleccionado será de cantera del *tipo* A-1b (0), con un espesor compactado de 0.15 m., para un CBR mínimo de 40% equivalente a un grado de compactación del 98% comparado con el Ensayo Próctor Modificado. Obligatoriamente, el control de compactación se realizará cada 40ml de longitud de vía.

Base Granular: El material granular seleccionado será de cantera del *tipo* A-1a (0), con un espesor compactado de 0.15 m. para un CBR mínimo del 80% equivalente a un grado de compactación del 100% comparado con el Ensayo Próctor Modificado. Obligatoriamente, el control de compactación se realizará cada 40 m. de longitud de vía.

Superficie de Rodadura: La superficie de rodadura estará constituida por un concreto asfáltico en caliente de 0.075 m (3 pulg.) de espesor

- Los controles y pruebas de laboratorio deberán estar de acuerdo a las Normas de Diseño y Especificaciones para la Construcción de Carreteras del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- En todos los casos, las estructuras deberán ajustarse a las condiciones topográficas de la zona, así como a las cotas de buzones y viviendas aledañas. En estos casos el Ingeniero tendrá en cuenta el espesor del material superficial a eliminar o rellenar. En ningún caso la estructura del pavimento estará apoyada en rellenos no ingenieriles.

5.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar un control de calidad de los elementos que conforman el concreto asfáltico, como también la verificación del espesor de asfalto, su contenido y su porcentaje de compactación del mismo.
- Se recomienda que los controles de compactación lo realicen laboratorios que estén acreditados en INDECOPI, laboratorios de prestigio como la UNI, Universidad Católica o laboratorios donde sus equipos estén calibrados por empresas acreditadas a INDECOPI.
- Se recomienda en todos los casos eliminar o revestir cualquier fuente importante de filtración que fuera indispensable mantener en la zona, con el fin de evitar el humedecimiento del suelo y facilitar su desecación. Se deberá de proteger las zonas de contacto como jardines, de tal manera que el agua no afecte a la estructura del pavimento.
- De los resultados del Análisis Químico, realizados en la Calicata C-2, se concluye que el grado relativo al ataque de los sulfatos es como no agresivo al concreto. Por lo que se recomienda utilizar Cemento Portland Tipo I, en la preparación del concreto para la construcción de los buzones y /o sardineles enterrados.

BIBLIOGRAFÍA

- Flores Ugaz, Emanuel. "Mejoramiento de la Carretera Cañete – Yauyos del Km. 57+900 al Km. 58+200, Diseño de Pavimento". Informe de Suficiencia UNI-FIC, Lima-Perú, 2008.
- Instituto para el Desarrollo de los Pavimentos en el Peru (IDPP), "Diseño de Espesores de Pavimentos Asfálticos Para Calles y Carreteras 1991". Lima - Perú, 1997.
- Instituto para el Desarrollo de los Pavimentos en el Perú (IDPP), "Guía AASHTO para el Diseño de Estructura de Pavimentos 1993". Lima - Perú, 1997.
- Juarez Badillo; Rico Rodríguez, "Mecánica de Suelos", Tomo I. Editorial Limusa S.A. México, DF, 1985.
- Lavado Terrel, Rudy Edison. "Ampliación y Mejoramiento de la Carretera Cañete – Yauyos – Huancayo del Km. 163+800 al Km. 164+100, Suelos y Pavimentos". Informe de Suficiencia UNI-FIC, Lima-Perú, 2009.
- Lulimachi Castañeda, Jorge Luis. "Procedimientos de Diseño y de Construcción del Sistema de Desague Pluvial y Pavimentación de la Av. Alcides Carrión - Huancayo". Titulación por Examen Profesional UNI-FIC, Lima-Perú, 1995.
- Reglamento Nacional de Edificaciones, Norma CE-010 "Pavimentos Urbanos", Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, Lima - Perú -2010.
- Rico Rodríguez; Del Castillo, "La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres", Volumen II. Editorial Limusa S.A. México, DF, 1996.