UNIVERSIDAD DE PIURA

REPOSITORIO INSTITUCIONAL PIRHUA

DETERMINACIÓN DEL MÓDULO RESILIENTE DE DISEÑO DE PAVIMENTOS MEDIANTE CRITERIOS ASSHTO 1993 Y 2002

Martha Herrera-Montealegre

Lima, septiembre de 2014

FACULTAD DE INGENIERÍA

Maestría en Ingeniería Civil con Mención en Ingeniería Vial

Herrera, M. (2014). *Determinación del módulo resiliente de diseño de pavimentos mediante criterios ASSHTO 1993 y 2002*. Tesis de Master en Ingeniería Civil con Mención en Ingeniería Vial. Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Lima, Perú.

Esta obra está bajo una licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Perú

Repositorio institucional PIRHUA – Universidad de Piura

UNIVERSIDAD DE PIURA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA MÁSTER EN INGENIERÍA CIVIL

"DETERMINACIÓN DEL MÓDULO RESILIENTE DE DISEÑO DE PAVIMENTOS MEDIANTE CRITERIOS AASHTO 1993 Y 2002"

Tesis para optar el Grado de Máster en Ingeniería Civil
con mención en Ingeniería Vial

Ing. Martha Cecilia Herrera Montealegre

Asesor: Ing. Germán Gallardo Zevallos

Lima, septiembre del 2014

A Dios,
por haberme permitido llegar a este momento tan especial de mi vida. Por los triunfos y los momentos difíciles que fortalecieron mi fe.

A mi madre María Luisa,
quien con su ejemplo me inculcó valores que practico en cada momento de mi vida.

A mis hijos: Mayra, Mayte y Yair,
por quienes me esfuerzo cada día para ser mejor y ser una guía en sus caminos.

Prólogo

En nuestro medio no existía hasta el mes de febrero del 2013 un manual de diseño de pavimentos normalizado que sirva como guía para diseñar pavimentos, por lo que se ha estado aplicando principalmente la metodología AASTHO 93 pero con algunas limitaciones, por ejemplo, en el caso del cálculo del módulo resiliente de diseño.
En el mes de febrero del 2013 mediante la resolución N°05-2013-MTC/14 se aprueba la sección de suelos y pavimentos del manual de carreteras como documento normativo y de cumplimiento obligatorio para la gestión de la infraestructura vial; sin embargo, en el mismo se mantiene la limitación indicada referida al desarrollo del cálculo de módulo resiliente de diseño.
En el ámbito internacional la *National Cooperative Highway Research Program* (NCHRP) realizó una investigación denominada "*Development for the 2002 guide for design of new and rehabilitated pavement structures*" entre los años 1998 y 2004, de la que se obtuvo como resultado la "Guía de diseño AASTHO 2002", en donde se ha recomendado emplear el concepto de módulo resiliente compuestos, el cual toma en cuenta el aporte de las capas granulares subyacentes a las subrasante hasta una profundidad de 1.5 m. para definir el valor de diseño.

El alcance del presente trabajo propone establecer un procedimiento para la determinación del módulo resiliente de diseño de pavimentos basado en las guías de diseño AASTHO en sus versiones 1993 y 2002, introduciendo criterios técnicos aplicables en nuestro medio orientados a cuantificar la condición y características de los suelos en las diversas estaciones del año, para el diseño de la segunda calzada de un tramo de carretera ubicada al norte del Perú.

Resumen

La presente tesis propone la determinación del módulo resiliente estacional, para ello es necesario calcular los módulos resilientes para periodos secos y para periodos húmedos, utilizando para el primero la información disponible del estudio de suelos de una ruta nacional en el norte de nuestro país.
Para tal objetivo, se planteó la aplicación del diseño de pavimento mediante los criterios AASHTO 1993 y 2002, el mismo que mereció la aprobación de Provias Nacional, quedando como antecedentes para futuros estudios.

Como parte de la investigación para determinar el módulo resiliente de diseño, en la Guía de Diseño AASHTO 93 se ha considerado la variación de la humedad en la subrasante, para lo cual se realizó los cálculos de las variaciones del Mr con respecto a la humedad.
Asimismo, se considera que en el tramo de estudio habrán meses húmedos en el cual, debido a las precipitaciones, el pavimento se encuentre expuesto a filtraciones de agua que lleguen a saturar ciertas capas de su estructura o de la sub rasante, para cual se ha realizado usando el software SLIDE 5.0, este define un nivel de saturación al cual se le agregará el efecto de capilaridad. Esto se ha analizado para cuatro secciones representativas (dos en corte y dos en relleno).

De la misma manera, se han realizado los cálculos del módulo resiliente para periodos seco y húmedos, con la información del estudio de suelos del proyecto que forma parte del presente trabajo.

Índice

	Página
Introducción	1
Capítulo 1: Descripción del proyecto	3
1.1 Ubicación	3
1.2 Alcances	4
1.3 Descripción del tramo	4
1.4 Sección transversal	6
Capítulo 2: Metodologías del diseño de pavimentos	9
2.1 Introducción	9
2.2 Metodología empírica	9
2.2.1 Determinación del módulo resiliente de acuerdo a AASHTO 93	9
2.2.1.1 Alcances	9
2.2.1.2 Determinación del valor del módulo resiliente del diseño	11
2.3 Metodología empírica-mecanística	12
Capítulo 3: Estudio de suelos	15
3.1 Objetivos	15
3.2 Metodología	15
3.2.1 Trabajo de campo	15
3.2.2 Trabajo de laboratorio	16
3.2.2.1 Propiedades físicas	17
3.2.2.2 Propiedades mecánicas	19
3.2.3 Trabajo de gabinete	20
3.2.3.1 Resumen de ensayos de laboratorio	20
Capítulo 4: Determinación del módulo resiliente del suelo de fundación	23
4.1 Introducción	23
4.2 Análisis del grado de saturación de las capas de pavimento y subrasante	25
4.2.1 Valores de permeabilidad para las distintas capas de la estructura	25
4.2.2 Ascensión capilar en distintos tipos de suelo	27
4.2.3 Precipitación del sub tramo Piura-Sullana	27
4.2.4 Modelamiento y resultados de la estructura del pavimentos	27
4.2.4.1 Progresiva 1024+000	28
4.2.4.2 Progresiva 1022+000	31
4.2.4.3 Progresiva 1006+000	32

4.2.4.4. Progresiva 1012+500 33
4.3 Cálculo del módulo resiliente de la subrasante para periodos de lluvia 35
4.4 Cálculo del módulo resiliente de la subrasante para periodos secos 37
4.5 Cálculo del módulo resiliente del diseño 37

Capítulo 5: Análisis del tráfico con fines de diseño 39
5.1 Determinación de ejes equivalentes de diseño para el periodo de diseño 39

Capítulo 6: Diseño de pavimentos 43
6.1 Parámetros de diseño 43
6.1.1 Módulo resiliente del diseño 43
6.1.2 Número de ejes equivalentes del diseño 43
6.2 Diseño estructural de pavimentos 44
6.2.1 Metodología AASHTO 93 44
6.2.2 Variables del diseño 44
6.2.3 Diseño de espesores de pavimentos 49
6.3 Estructuración final 50
6.3.1 Espesores finales de pavimentos – una sola etapa 50
6.3.2 Espesores finales de pavimentos – diseño por etapas 52
6.3.2.1 Primera etapa 52
6.3.2.2 Segunda etapa 54

Conclusiones 57

Bibliografía 61

Anexos 63

Introducción

Mediante el oficio N° 142-2008-MTC/02 de fecha 8 de febrero de 2008, el Ministerio de Transportes y Comunicaciones solicita a la Agencia de Promoción de la Inversión Privada (Proinversión) la inclusión de la autopista del Sol tramo Trujillo – Sullana al proceso de concesión, para lo cual adjunta el memorándum informativo correspondiente.
El consejo directivo de Proinversión, en su sesión de fecha 12 de febrero de 2008, aprobó excluir el tramo Piura – Sullana de la red vial N° 1 y aprobó incorporar el proyecto "Autopista del Sol, tramo Trujillo – Sullana" al proceso de promoción de la inversión privada, encargando su conducción al comité de Proinversión en proyectos de infraestructura y de servicios públicos. El acuerdo del consejo directivo de Proinversión fue ratificado mediante la resolución suprema N° 029-2008-EF del 15 de marzo de 2008.
El comité de Proinversión en proyectos de infraestructura y de servicios públicos, en la sesión del 17 de marzo de 2008 aprobó el plan de promoción de la inversión privada de la concesión de la autopista del Sol, tramo Trujillo – Sullana. Asimismo, el consejo directivo de Proinversión, en sesión de fecha 25 de marzo de 2008, aprobó el plan de promoción antes mencionado. El acuerdo del consejo directivo de Proinversión fue ratificado mediante resolución suprema N° 050-2008-EF del 3 de mayo de 2008.

El comité de Proinversión en proyectos de infraestructura y de servicios públicos, en sesión del 23 de abril de 2008, aprobó las bases del Concurso de Proyectos Integrales para Concesión de la Autopista del Sol. Tramo Trujillo – Sullana. Asimismo, el consejo directivo de Proinversión, en su sesión de fecha 29 de abril de 2008, aprobó las bases del concurso antes mencionadas.

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) con fecha 07 de mayo de 2008 a través de la Agencia de Promoción de Inversión Privada – Proinversión, convocó a un Concurso de Proyectos Integrales para la entrega a concesión de la autopista Del Sol tramo: Trujillo – Sullana con una longitud aproximada de 470 km, concediendo la construcción, el mantenimiento y operación a la empresa concesionaria vial Del Sol S.A – Covisol S.A".

Con resolución directoral Nº 078-2010-MTC/20 de fecha 08/02/2010, el director ejecutivo de Provias Nacional aprueba administrativamente los estudios de ingeniería del trazo de la segunda calzada y vías de evitamiento del sub tramo Piura – Sullana de la autopista del Sol. En conformidad a dicha aprobación se ha procedido a elaborar el estudio definitivo de ingeniería del mencionado sub tramo.

En el diseño de pavimentos las variables principales son el tipo de suelos y el tráfico. En el caso del suelo de fundación necesitamos caracterizarlo de la mejor manera posible con el fin de simular su comportamiento frente al tráfico y no tener fallas en el mismo durante el periodo de servicio.
Para poder diseñar los espesores del pavimento flexible que se propone para el tramo debemos considerar los estudios de suelos que nos sirven para determinar las características físico-mecánicas de los materiales que conforman el terreno de fundación sobre el cual se construirá la nueva estructura del pavimento.
Asimismo, para la determinación del módulo resiliente, la guía recomienda realizar el ensayo AASHTO T-274 sobre una muestra representativa, con un equipo de laboratorio especial; sin embargo, como no se cuenta con este equipo la gua de diseño AASTHO 93 ha propuesto correlaciones que determinan el módulo resiliente a partir de ensayos de CBR.
El presente trabajo propone contribuir para el cálculo del módulo resiliente para cada estación del año, a fin de cuantificar el daño relativo al que el pavimento estará sujeto durante cada estación del año. Por tal motivo se ha calculado los módulos resilientes para periodos secos y húmedos, a fin de obtener un diseño de pavimento óptimo.

Capítulo 1

Descripción del proyecto

1.1 Ubicación

El sector de la carretera materia del estudio, se encuentra ubicado en la ruta nacional PE 1 N en el departamento de Piura que une las provincias de Piura y Sullana. Tiene como punto de inicio el kilómetro 1004+214.00 de la carretera Panamericana Norte el cual queda en la intersección a nivel del desvío a Paita y termina en el kilómetro 1032+109.369 en el ingreso a Sullana, en el óvalo de desvío a Las Lomas–Ayabaca, cubriendo una longitud de 27.895 km.

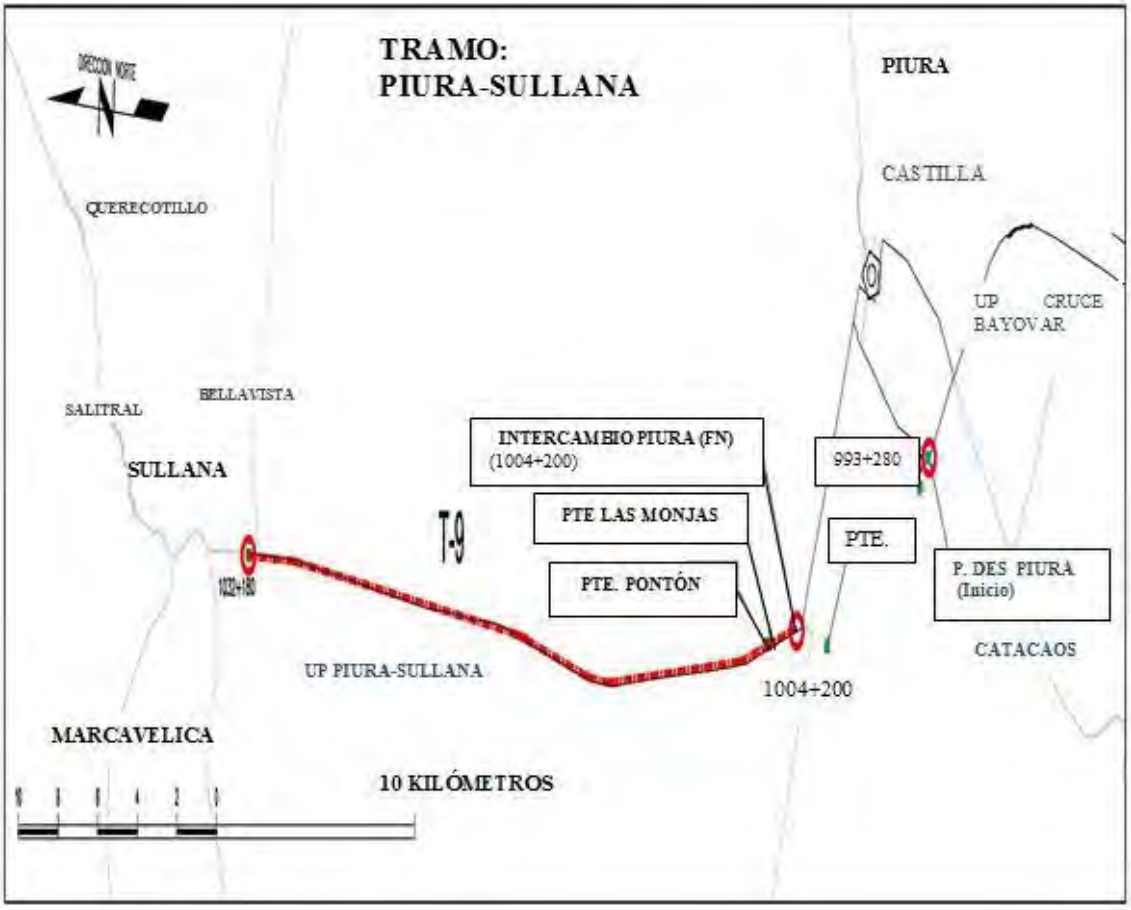


Fig.1.1 - Tramo Piura - Sullana

1.2 Alcances

El estudio contempla el diseño de una nueva calzada en toda la longitud usando como referencia la plataforma de la vía existente, realizando el mejoramiento de los alineamientos y radios de curvas existentes, donde se busca minimizar el movimiento de tierras.

1.3 Descripción del tramo

El estudio se desarrollara a lo largo de los 27.895 km., dividido en 2 tramos:
El primer tramo es el tramo I: desvío a Paita - peaje (kilómetro 1004+214.00 – kilómetro 1018+620.00).
Se diseña la nueva calzada al lado izquierdo de la vía existente hasta el kilómetro 1018+620, en donde se encuentra una curva que permite el empalme entre la calzada nueva y la existente, de esta manera se evita la demolición de la estación de peaje existente.

Fig. 1.2 - Inicio del primer tramo, el eje se emplaza al lado izquierdo de la calzada existente.

A continuación vemos el fin del primer tramo e inicio del segundo tramo donde el eje cambia del lado izquierdo al lado derecho de la calzada existente en el kilómetro 1.04 aproximadamente, antes de llegar al peaje. Para ello, se aprovecha la curvatura existente con una deflexión a la izquierda permitiendo que el cambio no requiera de mayor longitud de desarrollo y de curvatura adicional.

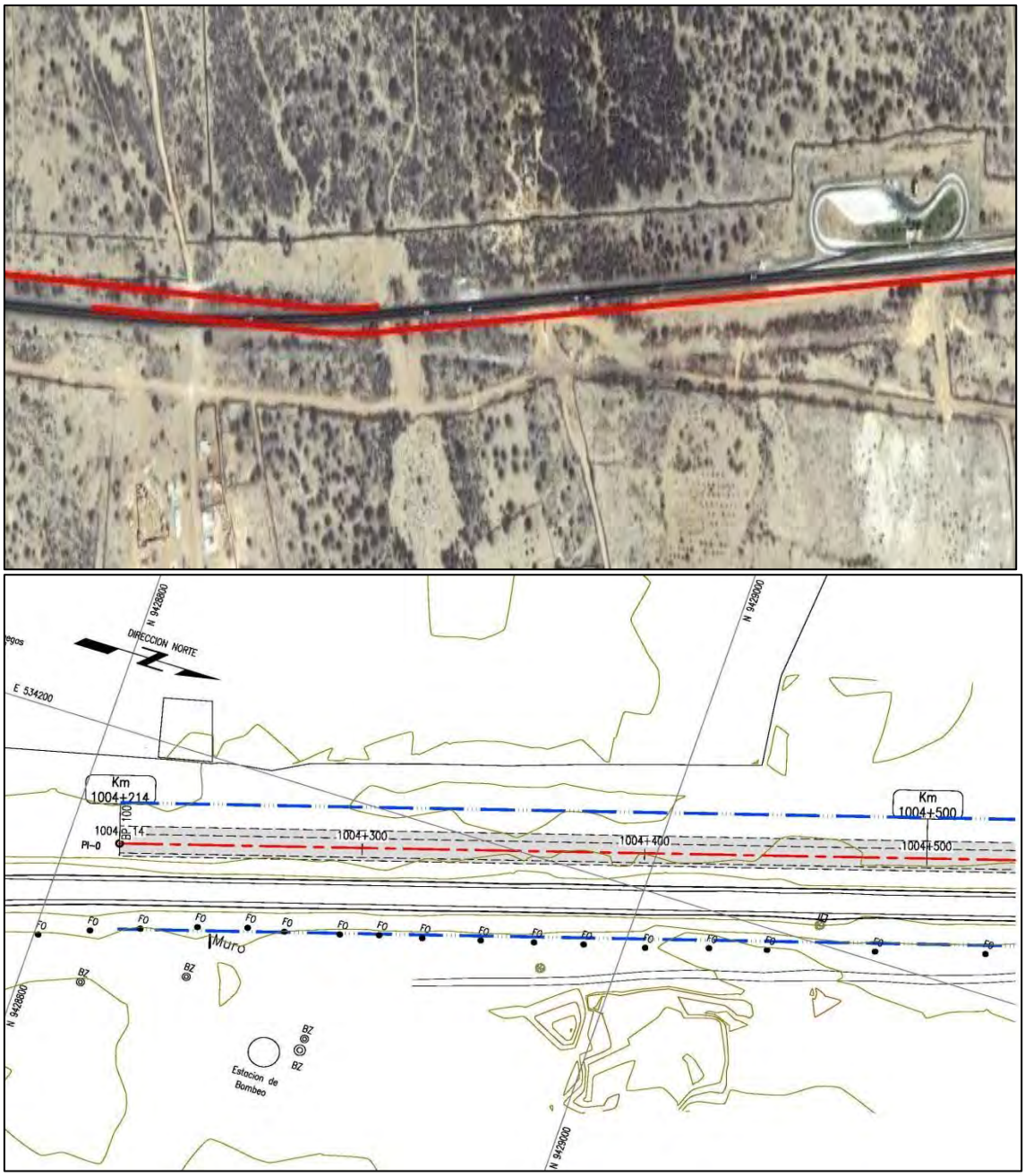


Fig. 1.3 - Kilómetro 1004+214.00: desvío a Paita-peaje

El segundo tramo es el tramo II: peaje-Sullana (kilómetro. 1017+880.00 – kilómetro 1032+108.99).

Se inicia en la progresiva 1017+880 y emplea 740 metros de empalme para ser emplazado al lado derecho de la vía existente en donde encontrará el menor número de afectaciones hasta llegar a Sullana.

Zona con mayor número de edificaciones, se mantiene la sección y el sentido del eje por el lado derecho de la calzada existente hasta llegar al desvío Las Lomas–Ayabaca en Sullana.

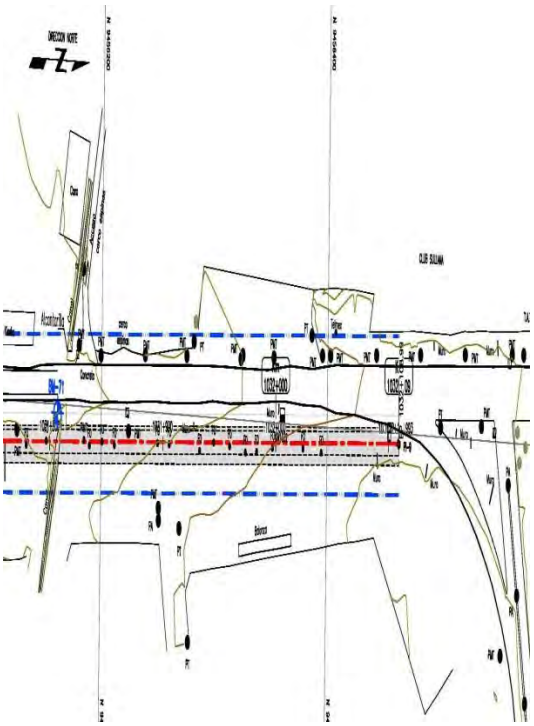


Fig. 1.4 - Kilómetro 1032+000. Parte final del segundo tramo, entrega a la intersección con el desvío a Las Lomas – Ayabaca.

1.4 Sección transversal

Las características geométricas de la sección transversal se definieron teniendo en cuenta la demanda de tráfico, el vehículo de diseño, la velocidad de directriz que viene a ser, lo estipulado en los términos de referencia y lo normado en la DG-2001 para la clasificación vial a nivel de autopista. En la figura 1.5 podemos apreciar cómo se definió la siguiente sección tipo.

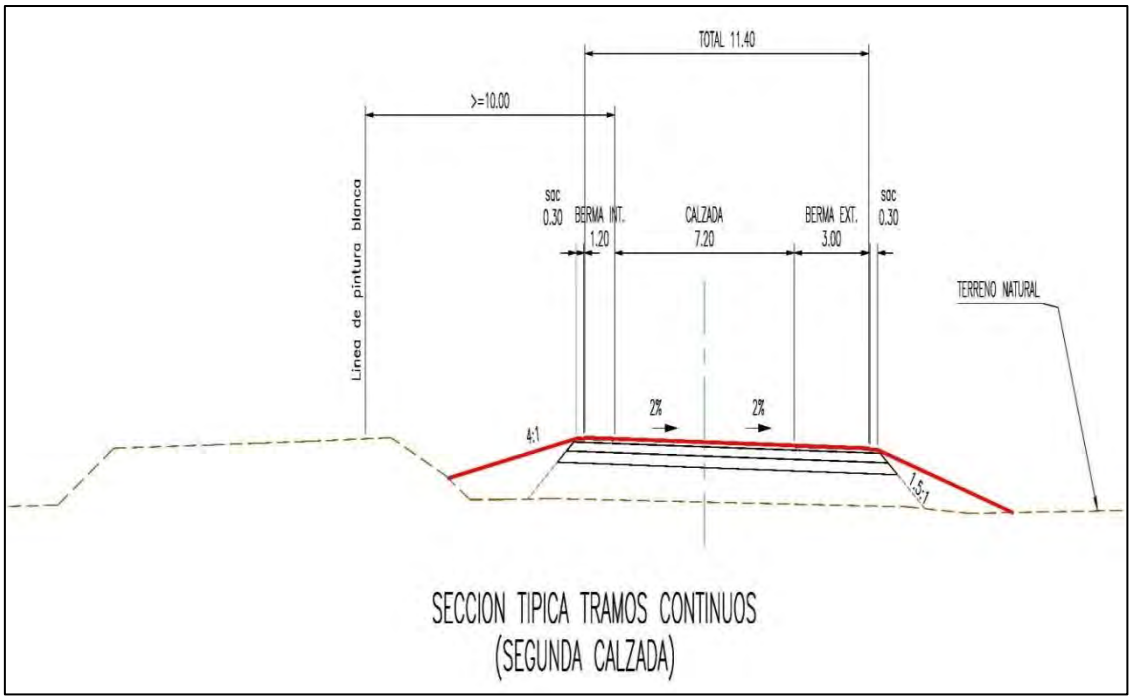


Fig. 1.5 - Sección típica Piura-Sullana

Capítulo 2

Metodologías de diseño de pavimentos

2.1 Introducción

A lo largo de los años y con el avance de la tecnología se han planteado diferentes metodologías para el diseño estructural de los pavimentos. Estas son la metodología empírica, en la que se encuentra basada la "Guía AASTHO 93", y la metodología empírica-mecanística, que constituye el fundamento teórico de la "Guía AASTHO 2002", la cual además de utilizar modelos estadísticos basados en ensayos, incluyen modelos de respuesta de los pavimentos.

2.2 Metodología empírica

Correlaciona el comportamiento de los pavimentos "*in situ*", a través de observaciones y mediciones de campo con los factores que causan los mecanismos de degradación de la estructura. Los factores más importantes son: las cargas: impuestas por el tránsito, las condiciones ambientales, como temperatura y precipitación a las cuales se encuentra sometida la estructura; el tipo de suelo o terreno de fundación (subrasante) y la calidad de los materiales.
Como se mencionó anteriormente la metodología empírica constituye el fundamento teórico de la "Guía de Diseño AASHTO 93", documento básico utilizado actualmente para el análisis y diseño de pavimentos en el Perú, el cual se ha desarrollado en base a correlaciones obtenidas del ensayo vial AASHO.
El Proyecto AASHO desarrollado entre los años 1958 y 1960 consistió en la construcción de una cantidad limitada de secciones estructurales con el objeto de ser sometidas a diferentes factores climáticos y de carga, para finalmente evaluar su deterioro y establecer correlaciones a través de modelos estadísticos.

2.2.1 Determinación de módulo resiliente de acuerdo a AASHTO 93:

2.2.1.1 Alcances

El módulo resiliente es el parámetro utilizado con el fin de representar las propiedades de los suelos de la subrasante en el diseño de pavimentos flexibles.

Para determinarlo, la guía recomienda realizar el ensayo AASHTO T274 [82] sobre una muestra representativa, la cual estará sometida a una carga de duración definida bajo determinadas condiciones de esfuerzo y humedad.
Normalmente resulta complicado realizar el ensayo de módulo resiliente puesto que se requiere de un equipo de laboratorio especial, el cual está constituido por una cámara triaxial para ensayos cíclicos, un marco de carga con un actuador dinámico servo controlado que nos sirve para producir una onda senosoidal media en un período y frecuencia determinados; un panel de control y de mediciones de presiones de cámara, de poros y efectiva, y una unidad de adquisición de datos con software de procesamiento. En este sentido, la "Guía de diseño AASTHO 93" ha propuesto correlaciones que determinan el mantenimiento rutinario (MR) a partir de ensayos de CBR.

A continuación se indican las principales:

- Correlación establecida por Heukelom y Klomp: aplicable a suelos finos con CBR saturado menor a 10%.

$$M_R(psi) = 1500 \times CBR$$

- Correlación establecida por el Instituto del Asfalto

$$M_R(psi) = A + B \times CBR$$

Donde:

A= De 772 a 1155

B= De 369 a 555

Para suelos finos con CBR saturado menor a 20%, la guía recomienda utilizar la siguiente expresión:

$$M_R(psi) = 1000 + 555 \times CBR$$

Expresión general en la "Guía AASHTO 2002":

$$M_R(psi) = 2555 \times CBR^{0.65}$$

2.2.1.2 Determinación del valor del módulo resiliente de diseño

Para determinar el módulo resiliente de diseño, en la "Guía de diseño AASHTO 93" se ha considerado la variación de la humedad en la subrasante, recomendando para ello que se realice un estudio de las variaciones del mantenimiento rutinario con respecto a la humedad.
A esta variación del módulo resiliente se le denomina módulo estacional y se determina con el propósito de cuantificar el daño relativo al que un pavimento estará sujeto durante cada estación del año.

Los periodos establecidos por cada año no deben ser inferiores a 15 días y las condiciones de humedad con las que se van a realizar los ensayos deben dar como resultado módulos resilientes significativamente diferentes.
El módulo resiliente de diseño o módulo resiliente efectivo de la subrasante, el cual es equivalente al efecto combinado de todos los valores de módulos estacionales, se debe determinar de a acuerdo al siguiente procedimiento:

a) Ingresar el módulo estacional en sus respectivos períodos de tiempo.

b) Determinar los valores del daño relativo (u_f) correspondiente a cada módulo estacional. Para ello se utilizará la escala vertical mostrada en la fig. 2.1 o la ecuación que se indica a continuación:

$$u_f = 1.18 \times 10^8 \times Mr^{-2.32}$$

Donde:

$\boldsymbol{M_r}$ = Módulo resiliente del suelo de cimentación [psi]
$\boldsymbol{u_f}$ = Daño relativo

c) Sumar los daños relativos (u_f) y dividirlos por el número de incrementos estacionales para determinar el daño relativo promedio.

d) El módulo resiliente efectivo de la subrasante será el valor correspondiente al daño relativo promedio en la escala Mr – u_f..

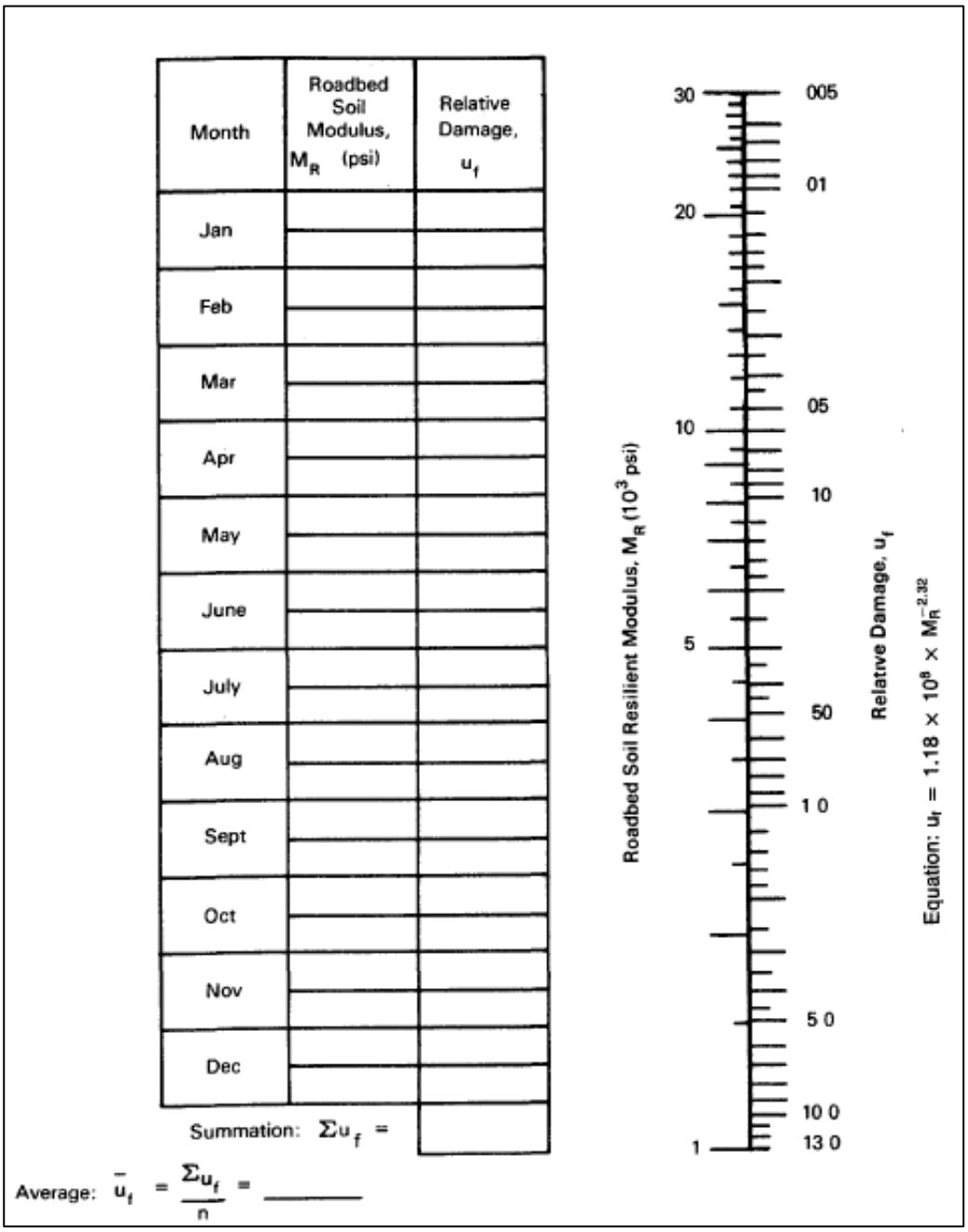


Fig 2.1 - Carta para estimar el módulo de resilencia efectivo de la subrasante

2.3 Metodología empírica–mecanística

En la teoría mecanística se caracteriza de manera más realista a los pavimentos en servicio, debido que utilizan modelos de desempeño del pavimento basados en principios mecanísticos, dando mayor confiabilidad a los diseños. Sin embargo, debido a los vacíos que aún existen en el conocimiento, estos métodos de diseño tienen que apoyarse en relaciones empíricas, estableciéndose así la metodología empírica–mecanística.

Esta metodología, es producto del proyecto de investigación 1-37A *"Development for the 2002 Guide for Design of New and Rehabilitated Pavement Structures*" de la

National Cooperative Highway Research Program (NCHRP) realizada entre los años 1998 – 2004.

En esta investigación se examinó la literatura relevante producida en EE.UU. y el extranjero, conclusiones de investigaciones pasadas; prácticas de diseño vigentes y bases de datos relacionadas con el análisis y el diseño de pavimentos. De esta manera, se obtuvo como resultado una guía de diseño basada en principios mecanísticos sólidos que utilizan modelos de comportamiento basados en las propiedades de los materiales, para evaluar la probabilidad de falla del pavimento.

Capítulo 3

Estudio de suelos

3.1 Objetivos

Determinar las características físico-mecánicas de los materiales que conforman el terreno de fundación sobre el cual se construirá la nueva estructura de pavimento, definiendo el perfil estratigráfico del terreno, requerimiento de mejoramientos y/o estabilización de suelos y verificación de sus condiciones de estabilidad, para definir en base a todo ello y en forma objetiva el valor relativo de soporte del terreno de fundación que permita diseñar una estructura de pavimento adecuada a dichas características.

3.2 Metodología

La metodología seguida para la ejecución del estudio comprendió básicamente una investigación de campo a lo largo del tramo, a través de prospecciones de exploración a cielo abierto (calicatas) y ejecución de ensayos *in situ* (PDC), con obtención en cada caso de muestras representativas que fueron objeto de ensayos en laboratorio. Finalmente con los datos obtenidos en ambas fases se realizaron las labores de gabinete, para consignar luego en forma gráfica y escrita los resultados del estudio.
A continuación se describe el plan de trabajo desarrollado en cada una de las tres etapas antes indicadas.

3.2.1 Trabajos de campo

Los trabajos de exploración de campo se efectuaron durante los meses de setiembre y octubre del 2009 y consistieron en la excavación manual de calicatas a cielo abierto, equidistante en promedio cada 250 metros entre sí y ubicadas a lo largo de la vía existente.
La profundidad mínima alcanzada fue de 1.5 metros o hasta encontrar la presencia de napa freática, botonería o mantos rocosos.
Se excavaron un total de 113 calicatas identificadas de C-1 a C-113, comprendidas dentro de las progresivas 1004+000 – 1032+000. (Ver Anexo A: "Relación detallada de calicatas ejecutadas").
En cada una de las prospecciones (es decir, las calicatas) se identificaron y describieron las características de los materiales que conforman el perfil estratigráfico de la vía tales

como: tipo de suelo, humedad, plasticidad, compacidad, color, forma, angularidad, etc. Todo ello se realizó en concordancia con la nomenclatura establecida para tal fin en la norma ASTM D 2488 - 06 "*Practice for Description and Identification of Soils (Visual-Manual Procedure)"*.
De la misma manera se registraron las vistas fotográficas en cada prospección; dicha información fue levantada en campo en formatos internos elaborado especialmente para tal fin y posteriormente, toda la información fue vertida en los registros de perforación de calicatas que se adjuntan en el Anexo F: "Registro de excavación y ensayos de laboratorio".

De cada prospección efectuada se obtuvo muestras representativas en cantidades suficientes para la ejecución de los ensayos de laboratorio, que son requeridos para determinar las características físicas de los suelos de fundación, así como muestras cada 2.0 km. para la ejecución de ensayos de próctor y CBR en concordancia a lo establecido en los términos de referencia. En estos casos se determinó la densidad natural correspondiente.
Adicionalmente, y con la finalidad de obtener información de retorno de las condiciones de soporte de la vía se efectuaron ensayos de penetración dinámica de cono, bajo la norma ASTM D- 6951 en cada una de las calicatas efectuadas.
La ubicación (la progresiva, el lado, entre otros), el número de muestras, la profundidad y la descripción de las calicatas ejecutadas se presentan en el Anexo A "Relación detallada de calicatas ejecutadas"

3.2.2 Trabajos de laboratorio

Los ensayos de laboratorio se realizaron por cada variación estratigráfica de acuerdo a lo establecido en los términos de referencia y en conformidad con el "Manual de Ensayos de Laboratorio (EM-2000)".
Estos trabajos de laboratorio permitieron determinar las propiedades de los suelos mediante ensayos físicos y mecánicos de las muestras disturbadas provenientes de cada una de las exploraciones.
En la tabla N° 3.1 "Ensayos de Mecánica de Suelos*"* se presentan los diferentes ensayos a los que fueron sometidas las muestras obtenidas en los trabajos de campo, describiendo el nombre del ensayo, uso, método de clasificación utilizado, tamaño de muestra utilizada y propósito del ensayo.

Tabla 3.1 - Ensayo de mecánica de suelos

NOMBRE DEL ENSAYO	USO	MÉTODO MTC	ENSAYO ASTM	TAMAÑO DE MUESTRA	PROPOSITO DEL ENSAYO
Análisis granulométrico tpor Tamizado	Clasificación	E-107	D422	5.00 Kg.	Para determinar la distribución del tamaño de partículas del suelo.
Contenido de humedad	Clasificación	E-108	D2216	2.50 Kg.	Determina el contenido de

NOMBRE DEL ENSAYO	USO	MÉTODO MTC	ENSAYO ASTM	TAMAÑO DE MUESTRA	PROPOSITO DEL ENSAYO
					humedad del suelo
Límite líquido	Clasificación	E-110	D4318	2.50 Kg.	Hallar el contenido de agua entre los estados líquido y plástico
Límite plástico	Clasificación	E-111	D4318	2.50 Kg.	Hallar el contenido de agua entre los estados plásticos y semisólido.
Índice plástico	Clasificación	-	-	2.50 Kg.	Hallar el rango de contenido de agua por encima del cual, el suelo está en un estado plástico.
Densidad de campo	Grado de compactación	E-117	D1556	-	Para determinar la densidad y el peso unitario del suelo in situ
Compactación próctor modificado	Diseño de espesores	E-115	D1557	45.0 Kg.	Determina la relación entre el contenido de agua y peso unitario de los suelos (Curva de compactación)
CBR	Diseño de espesores	E-132	D1883	45.0 Kg.	Determinar la capacidad de carga. Permite inferir el módulo resiliente.

3.2.2.1 Propiedades físicas

En cuanto a los ensayos a ejecutar, se explican y definen los objetivos de cada uno de ellos. Cabe señalar que los ensayos físicos corresponden a aquellos que determinan las propiedades índices de los suelos y que permiten su clasificación.

a) Análisis granulométrico por tamizado (MTC E-107)

La granulometría es la distribución de las partículas de un suelo de acuerdo a su tamaño, que se determina mediante el tamizado o paso del agregado por mallas de distinto diámetro hasta el tamiz N° 200 (de diámetro 0.074 milímetros). El material que pasa dicha malla en forma global es el que se considera en el análisis.

Para conocer su distribución granulométrica por debajo de este tamiz se hace el ensayo de sedimentación.
El análisis granulométrico deriva en una curva granulométrica, donde se plotea el diámetro de tamiz versus porcentaje acumulado que pasa o que retiene el mismo, de acuerdo al uso que se quiera dar al agregado.

b) Límite líquido (MTC E-110) y límite plástico (MTC E-111)

Se conoce como plasticidad de un suelo a la capacidad de este de ser moldeable. Esta propiedad depende de la cantidad de arcilla que contiene el material que pasa la malla N°200, porque es este es el que actúa como ligante.
Un material, de acuerdo al contenido de humedad que tenga, pasa por tres estados definidos: líquido, plástico y seco. Cuando el agregado tiene determinado contenido de humedad en la que no puede ser moldeable, se dice que está en estado semilíquido. Conforme se le va quitando el agua, llega un momento en el que el suelo, sin dejar de estar húmedo, comienza a adquirir una consistencia que permite moldearlo o hacerlo trabajable, entonces se dice que está en estado plástico.
Si continuamos quitando agua, llegará un momento en el que el material pierde su trabajabilidad y al tratar de moldearlo se cuarteará, solo entonces se dice que está en estado semi seco.

El contenido de humedad en el cual el agregado pasa del estado semilíquido al plástico es el Límite Líquido (MTC E-110); y el contenido de humedad en el que pasa del estado plástico al semi seco es el Límite Plástico (MTC E-111).

c) Contenido de humedad natural (MTC E-108)

El contenido de humedad de una muestra indica la cantidad de agua que esta contiene, expresándola como un porcentaje del peso de agua entre el peso del material seco. En cierto modo este valor es relativo, porque depende de las condiciones atmosféricas que pueden ser variables. Entonces lo conveniente es realizar este ensayo y trabajar casi inmediatamente con este resultado, para evitar distorsiones al momento de los cálculos.

d) Clasificación de suelos por el método SUCS y por el método AASHTO

Los diferentes tipos de suelos son definidos por el tamaño de las partículas. Son frecuentemente encontrados en combinación de dos o más tipos de suelos diferentes, como por ejemplo: arenas, gravas, limo, arcillas, limo arcilloso, etc.
La determinación del rango de tamaño de las partículas (gradación) es según la estabilidad del tipo de ensayos para la determinación de los límites de consistencia. Uno de los más usuales sistemas de clasificación de suelos es el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), el cual clasifica al suelo en 15 grupos identificados por nombre y por términos simbólicos.

La totalidad de muestras se analizaron en el Laboratorio de Suelos del consultor, bajo la supervisión permanente del Ingeniero Especialista de Suelos y Pavimentos. Los resultados se presentan en el Anexo F: “Registros de excavación y ensayos de laboratorio de suelos”.

En el Anexo B: “Resumen de valores del ensayo MTC E-110, MTC E-111 y MTC E-108” se muestran los resultados de laboratorio del tramo continuo Piura -Sullana, identificando la ubicación, la profundidad, el límite líquido, el índice plástico y el contenido de humedad.

3.2.2.2 Propiedades Mecánicas

Los ensayos para definir las propiedades mecánicas, permiten determinar la resistencia de los suelos o el comportamiento frente a las solicitaciones de cargas.

a) Ensayo de próctor modificado (MTC E-115)

El ensayo de próctor se efectúa para determinar un óptimo contenido de humedad, para la cual se consigue la máxima densidad seca del suelo con una compactación determinada. Este ensayo se debe realizar antes de usar el agregado sobre el terreno, para así saber qué cantidad de agua se debe agregar para obtener la mejor compactación.
Con este procedimiento de compactación se estudia la influencia que ejerce en el proceso el contenido inicial de agua del suelo, encontrando que tal valor es de fundamental importancia en la compactación lograda. En efecto, se observa que a contenidos de humedad creciente, a partir de valores bajos, se obtienen más altos pesos específicos secos y por lo tanto mejores compactaciones del suelo. Sin embargo, esta tendencia no se mantiene indefinidamente, sino que al pasar la humedad de un cierto valor los pesos específicos secos obtenidos disminuían, resultando peores compactaciones en la muestra.
Es decir, para un suelo dado y empleando el procedimiento descrito existe una humedad inicial, llamada la “optima”, que produce el máximo peso específico seco que puede lograrse con este procedimiento de compactación.

Lo anterior puede explicarse, en términos generales, teniendo en cuenta que, a bajos contenidos de agua, en los suelos finos de tipo arcilloso, el agua está en forma capilar produciendo compresiones entre las partículas constituyentes del suelo lo cual tiende a formar grumos difícilmente desintegrables que dificultan la compactación. El aumento en contenido de agua disminuye esa tensión capilar en el agua haciendo que una misma energía de compactación produzca mejores resultados. Empero, si el contenido de agua es tal que hay exceso de agua libre, al grado de llenar casi los vacíos del suelo, esta impide una buena compactación, puesto que no puede desplazarse instantáneamente bajo los impactos del pisón.

b) California bearing ratio – CBR (MTC E-132)

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 proyectos de pavimentación auxiliándose de curvas empíricas y 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.

En el Anexo C *"Propiedades mecánicas del suelo"* se muestra las características físicas y mecánicas de los suelos, tales como límites de consistencia, clasificación, humedad natural, Próctor y CBR.

3.2.3 Trabajo de gabinete

3.2.3.1 Resumen de ensayos de laboratorio

Se ha efectuado el compendio de todos los resultados de ensayos de laboratorio, los cuales se han denominado "Resumen de Ensayos de Calicatas", en este se presentan las características físicas y mecánicas de los suelos provenientes de los diferentes ensayos realizados a las diversas muestras extraídas en laboratorio y en campo. Con estos resultados se determina el perfil estratigráfico y se calcula la capacidad soporte de la sub rasante, la que permitirá el diseño de la estructura de pavimento del presente estudio.
El resumen de los ensayos realizados se presentan en el Anexo F: "Registros de excavación y ensayos de laboratorio".

a) Perfil Estratigráfico:

Con la información integrada, tanto de campo como de laboratorio, se han establecido los horizontes de los materiales que se encuentran en la vía.
Cada exploración generó la descripción de campo de los suelos, la que conjuntamente con los resultados de laboratorio permitió definir los tipos de suelos y los estratos, verificando la homogeneidad de los materiales.
El perfil estratigráfico se presenta en los planos correspondientes (Ver Anexo G).
Además se cuantifico la presencia de cada tipo de suelo registrado, obteniendo los siguientes gráficos:

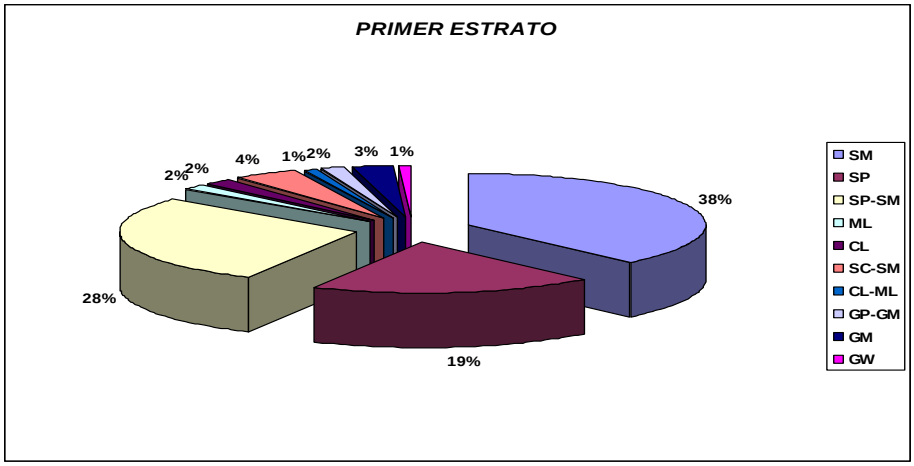


Fig. 3.1 - Porcentajes de cada tipo de suelo en las calicatas - primer estrato

En el primer estrato predominan suelos arenosos (85%), correspondiendo estos a arenas limosas (SM), arenas pobremente gradadas (SP) y arenas pobremente gradadas con limo (SP-SM). Estos suelos presentan baja humedad, aproximadamente del 2%, con límite líquido de 15%, índice de plasticidad de 3% y CBR promedio de 7.0% al 95% de la MDS, a 0.1" de penetración, lo cual los capacita como suelo de fundación.
El resto de suelos encontrados en este estrato corresponde a suelos finos tipo ML, CL, SC-SM, CL-ML (11%) con baja humedad (2%) y plasticidad variable entre 4% y 7%; y a suelos granulares tipo GP-GM, GM y GW (4%) con humedades promedio de 6%.

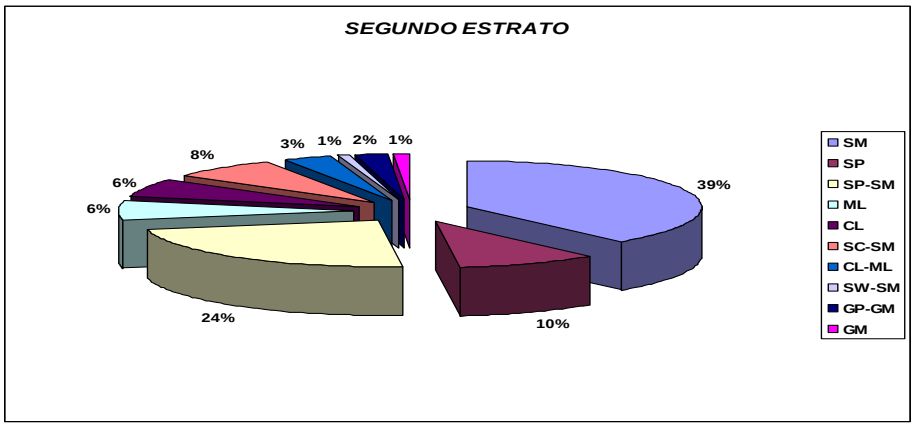


Fig. 3.2 - Segundo estrato

En el segundo estrato predominan suelos arenosos (73%), correspondiendo estos a arenas limosas (SM), arenas pobremente gradadas (SP) y arenas pobremente gradadas con limo (SP-SM).
Estos suelos presentan baja humedad, aproximadamente de un 3%, con límite líquido de 17%, un índice de plasticidad de 3%, y un CBR promedio de 5.0% al 95% de la MDS, a 0.1" de penetración, lo cual los capacita como suelo de fundación.
El resto de suelos encontrados en este estrato corresponde a suelos finos tipo ML, CL, SC-SM, CL-ML y SW-SM (24%) con una humedad de 6% y plasticidad variable entre 4% y 10%; y a suelos granulares tipo GP-GM y GM (3%) con humedades promedio de 8%.

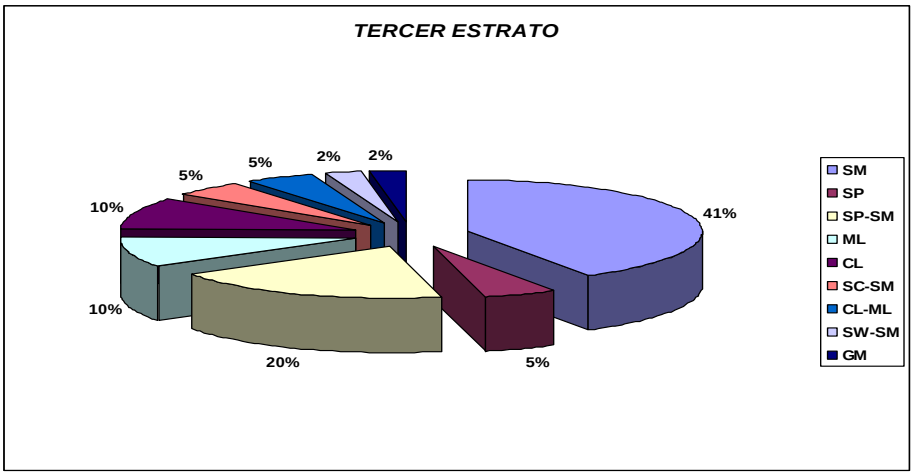


Fig. 3.1 - Tercer estrato

En el tercer estrato predominan suelos arenosos (66%), correspondiendo estos a arenas limosas (SM), arenas pobremente gradadas (SP) y arenas pobremente gradadas con limo (SP-SM), Estos suelos presentan una humedad de 5%, con límite líquido de 20%, índice de plasticidad de 5%, y CBR promedio de 9.0% al 95% de la MDS, a 0.1" de penetración, lo cual los capacita como suelo de fundación.

El resto de suelos encontrados en este estrato corresponde a suelos finos tipo ML, CL, SC-SM, CL-ML y SW-SM (32%) con una humedad de 8% y plasticidad variable entre 5% y 15% y a suelos granulares tipo GM (2%) con humedad de 6%.

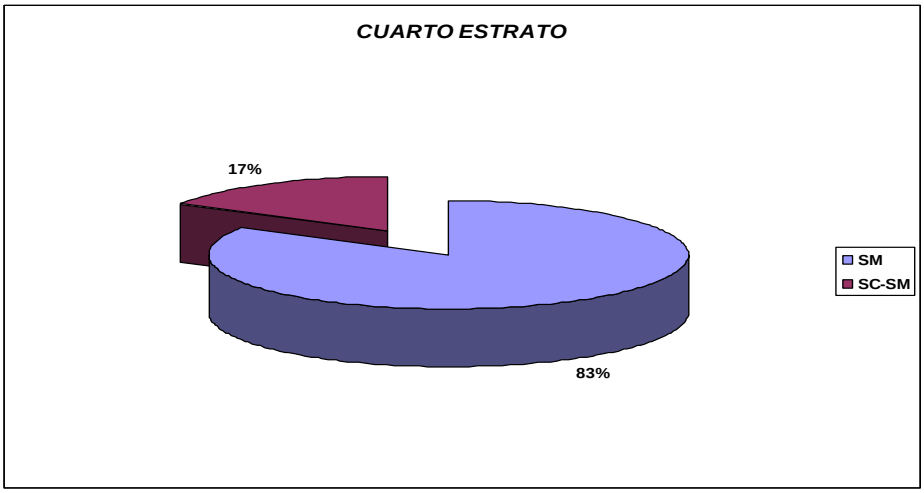


Fig. 3.4 - Cuarto estrato

En el cuarto estrato predominan suelos arenosos (83%), correspondiendo a arenas limosas (SM). Estos suelos presentan una humedad de 4%, con límite líquido de 20%, índice de plasticidad de 2%, lo cual los capacita como suelo de fundación.
El resto de suelos encontrados en este estrato corresponde a suelos finos SC-SM (17%) con una humedad de 9% y plasticidad de 7%.
De los gráficos anteriores, se puede apreciar claramente que el tipo de suelo, según la clasificación SUCS, que predomina en todos los estratos registrados es una arena limosa (SM).

Capítulo 4

Determinación del módulo resiliente del suelo de fundación

4.1 Introducción

Antes de calcular el módulo resiliente del suelo de fundación se debe efectuar la sectorización de la vía, utilizando para ello el método estadístico de diferencias acumuladas, desarrollado por la AASHTO – 1993.
En el apéndice J de la "Guía de Diseño Estructural de Pavimentos" para establecer secciones homogéneas", se consideran varios factores como el tipo de pavimento, clima, tráfico, resistencia del suelo, entre otros.

Además, se debe calcular un módulo resiliente compuesto en cada progresiva donde se realizó las calicatas. En este análisis se debe considerar los espesores de las capas del terraplén (caso de rellenos) y los espesores del terreno existente sobre el eje de la vía, teniendo en cuenta que las capas partícipes serán aquellas que se encuentren por debajo de 1.50 m. de profundidad a partir de la rasante, utilizándose la siguiente expresión, establecida por AASHTO.

$$Mr_{comp} = \frac{Mr_1 \times d_1^3 + Mr_2 \times d_2^3}{d_1^3 + d_2^3}$$

Donde:

$\boldsymbol{Mr_i}$: Módulo resiliente del estrato i.

$\boldsymbol{d_i}$: Espesor del estrato i, comprendido entre la profundidad de influencia de 1.5m.

En las secciones de relleno se ha considerado utilizar material de préstamo lateral para conformar la estructura del terraplén (base y cuerpo) mientras que para la corona de 0.30 m. de espesor, un material proveniente de cantera con tamaño máximo 3" e IP<10%, según indica la EG 2000.

Entonces, en base a la geometría de la sección en cada progresiva espaciada en 250 m., a los valores de CBR obtenidos del ensayo del PDC, a las características mecánicas del

material del terraplén, del suelo de fundación y aplicando el método de diferencias acumuladas se obtuvo la siguiente gráfica:

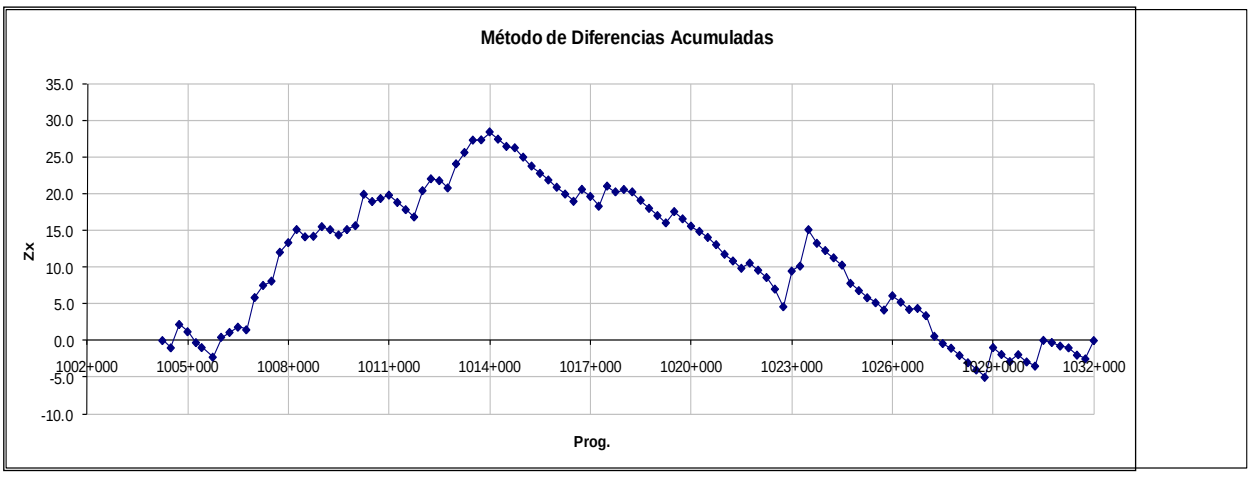


Fig. 4.1 - Resultado de la sectorización del sub tramo Piura – Sullana, mediante el método de diferencias acumuladas

De la gráfica anterior se concluye que el tramo en estudio no presenta sectores diferenciados por lo cual no es necesaria una sectorización del mismo; ya que en el punto de inflexión las pendientes de cambio son muy similares, condición esperada dado que en este tramo existe el mismo tráfico, el clima es muy similar registrándose temperaturas elevadas en promedio de 30ºC, el tipo de pavimento a utilizar será de tipo flexible y principalmente dada la homogeneidad de los suelos de fundación a lo largo de la vía (ver Anexo G: Perfil estratigráfico).
De esta manera, por medio del método de diferencias acumuladas y por la gráfica de variación de los módulos resilientes compuestos se llega a la conclusión que en el sub tramo Piura-Sullana existe un solo sector.

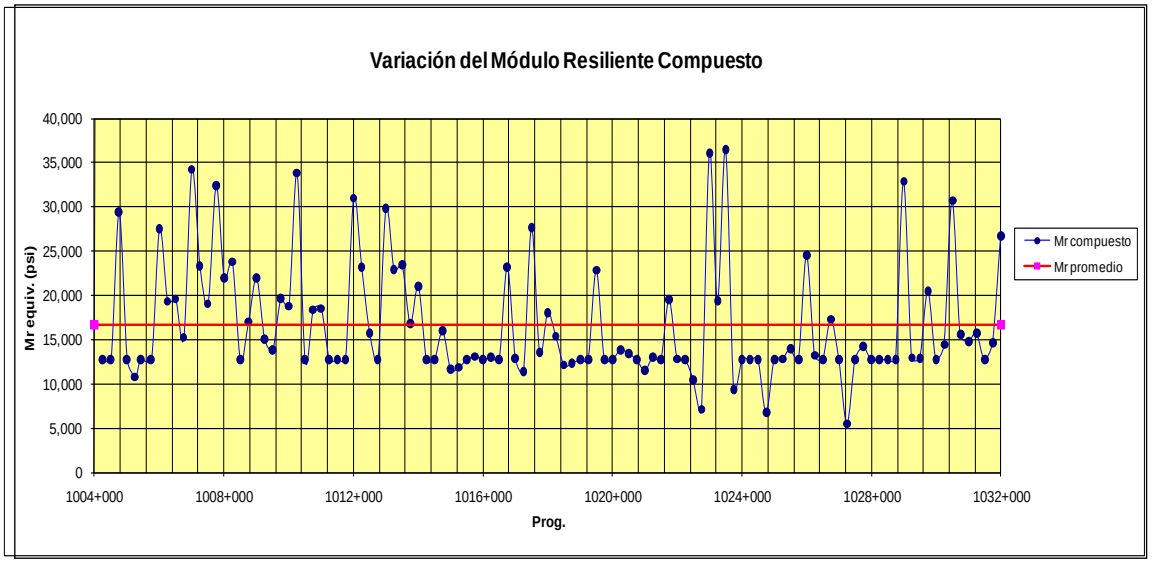


Fig. 4.2 - Módulos resilientes compuestos obtenidos cada 250 metros

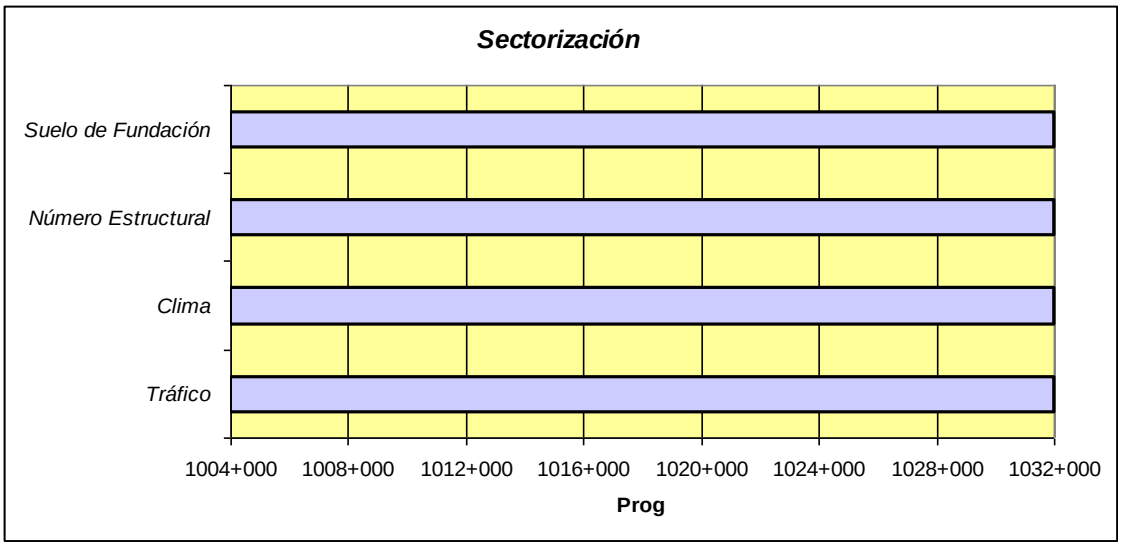


Fig. 4.3 - Resultado de la sectorización del tramo continuo Piura – Sullana.

Finalmente después de la sectorización, se debe definir el valor de CBR y el módulo resiliente de diseño para el tramo en estudio, utilizando el criterio del módulo resiliente estacional, que consiste en evaluar el módulo resiliente compuesto a diferentes grados de humedad, realizándose para ello un análisis del grado de saturación en las capas del pavimento y subrasante correspondientes a los meses húmedos.

4.2 Análisis del grado de saturación en las capas de pavimento y subrasante.

Se considera que en el tramo en estudio habrá meses húmedos en el cual debido a las precipitaciones el pavimento se encontrará expuesto a filtraciones de agua que lleguen a saturar ciertas capas de su estructura o de la subrasante.
A continuación se muestra las consideraciones y resultados del análisis de filtración usando el software SLIDE 5.0. Este define un nivel de saturación al cual se le agregará el efecto de capilaridad.

4.2.1 Valores de permeabilidad para las distintas capas de la estructura de pavimentos

Se debe determinar los valores de permeabilidad de las distintas capas que intervendrán en el análisis de filtración.

a) Para los materiales de cantera: serán usados en la corona del terraplén, base y sub base granular.
   Este parámetro será calculado mediante la ecuación de Kozeny-Carman, la misma que se muestra a continuación:

$$k = \left(\frac{\gamma}{\mu}\right)\left(\frac{1}{C_k}\right)\left(\frac{1}{S_o^2}\right)\left(\frac{e^3}{1+e}\right)$$

Donde:

$\boldsymbol{\gamma}$: Peso unitario del fluido
$\boldsymbol{\mu}$: Viscosidad del fluido
$\boldsymbol{C_k}$: Coeficiente empírico de Kozeny-Carman
$\boldsymbol{S_o}$: Superficie específica por unidad de área de las partículas (1/cm).
$\boldsymbol{e}$: Relación de vacíos.

La expresión para una temperatura del agua de 20ºC y un suelo consistente de partículas no uniformes se transforma en la siguiente expresión:

$$k = 1.99x10^4 \; D_{eff}^{\;2} \left(\frac{1}{SF^2} \right) \left(\frac{e^3}{1+e} \right)$$

Donde:

$\boldsymbol{D_{eff}}$: Diámetro efectivo

$$D_{eff} = \left(\frac{100\%}{\sum \frac{f_i}{D_{li}^{0.5} \; D_{si}^{0.5}}} \right)$$

$\boldsymbol{f_i}$: Retenido entre la malla superior y la malla inferior
$\boldsymbol{D_{li}}$: Diámetro de la malla superior
$\boldsymbol{D_{si}}$: Diámetro de la malla inferior
SF : Factor de forma se adopta 6.6 para partículas de mediana angularidad.

Entonces, utilizando los datos de laboratorio y aplicando la fórmula se obtiene que los valores de permeabilidad para los materiales de base granular, sub base granular y corona son los que se muestran en la tabla Nº 4.1.

Tabla 4.1 - Valores de permeabilidad para la corona, base y sub base granular

Material	Permeabilidad (cm/s)
Corona	5.23x10^-2
Base granular	8.93x10^-1
Sub base granular	6.06 x10^-1

b) Para los materiales usados para el cuerpo del terraplén y el suelo de fundación

Para el caso del suelo de fundación, por tratarse de suelos arenosos con porcentajes de finos, el valor de la permeabilidad será calculada mediante la fórmula de Hazen, que se muestra a continuación

$$k = C \times D_{10}^{\ 2}$$

Donde:

$\boldsymbol{C}$: Coeficiente de Hazen, el cual adoptará el valor de 100.
$\boldsymbol{D_{10}}$: Diámetro efectivo que pasa el 10% (cm).

c) Para las capas asfálticas

Para el caso de la carpeta asfáltica y berma, se considera una permeabilidad de K=1x10^-5 cm/s.

4.2.2 Ascensión capilar en distintos tupos de suelos

Para el cálculo de la altura de ascensión capilar en las distintas capas de suelos, se utilizará la siguiente expresión establecida por Hazen (1930).

$$h(mm.) = \frac{C_1}{e \times D_{10}}$$

Donde:

$\boldsymbol{C_1}$: Constante que varía entre 10 y 50 mm^2.
$\boldsymbol{D_{10}}$: Diámetro efectivo (mm.).
$\boldsymbol{e}$: Relación de vacíos

4.2.3 Precipitación del sub tramo Piura – Sullana

Del estudio de hidrología, se establece que para un periodo de retorno $T_r = 10\ años$, la precipitación es $P = 105.40\ mm$ en 24 horas. Este valor se utilizará para todos los modelamientos con precipitación.

Entonces: $P = 105.40\ mm = 1.2 \times 10^{-6}\ \frac{m}{seg}$

4.2.4 Modelamiento y resultados de la estructura del pavimento

Este análisis se realiza teniendo en cuenta distintas situaciones de saturación.

4.2.4.1 Progresiva 1024+000

En esta sección en relleno, los parámetros a utilizar para las capas de base, sub base granular y corona para el caso de terraplenes son los que se indicaron en la tabla 4.1, y para los demás materiales son las que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 4.2 - Valores de Permeabilidad para las capas de sub rasante

Material	Permeabilidad (cm/s)
Cuerpo	4.52x10^-3
Capa de mejoramiento	
Suelo de fundación	
Derrame lateral	

a) Caso1:

Filtración a través de la precipitación para un periodo de retorno $T_R = 10\ años$, que corresponde al diseño del pavimento de 0 – 10 años.

Con el modelamiento, se obtiene:

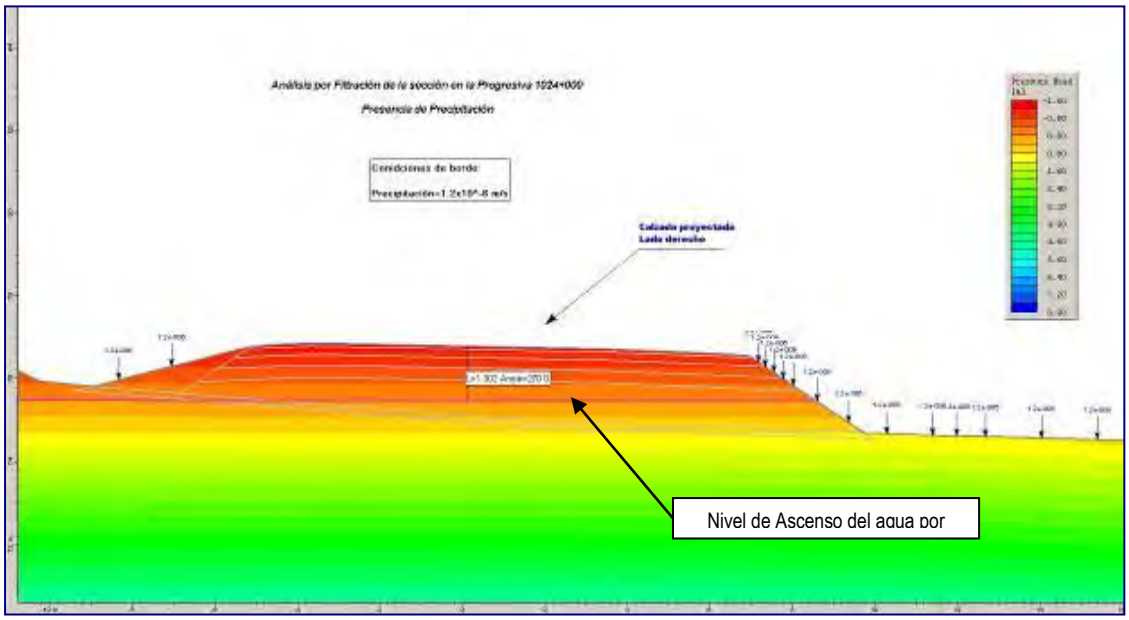


Fig. 4.4 - Análisis de saturación considerando solo acción de precipitación

De acuerdo a la fig. 4.4 se observa que el nivel de saturación del terraplén se produce hasta una profundidad de 1.30 m. a partir del nivel de rasante, cuyo nivel se incrementará por el efecto de capilaridad del agua.
Entonces en el material de cuerpo, según las características que presenta el suelo, la altura de capilaridad es de hc= 37.20 cm.

Por lo tanto, el nuevo nivel de saturación será a una profundidad de 0.93 m. a partir del nivel de rasante, afectando la saturación por completo la capa del cuerpo del terraplén; adoptándose lo siguiente:

Tabla 4.3 - Grados de saturación para las distintas capas de la sub rasante

Material	Estado de saturación del modelo
Corona	Seco
Cuerpo	Saturado
Capa compactada	Saturado
Suelo de fundación	Saturado

b) Caso 2:

En este caso tratamos la filtración a través de una zona inundada a un lado de la estructura del pavimento.
Aquí se analiza por la posibilidad de pequeñas inundaciones al borde del terraplén debido a zonas de cultivos existentes como el que se da en esta progresiva.

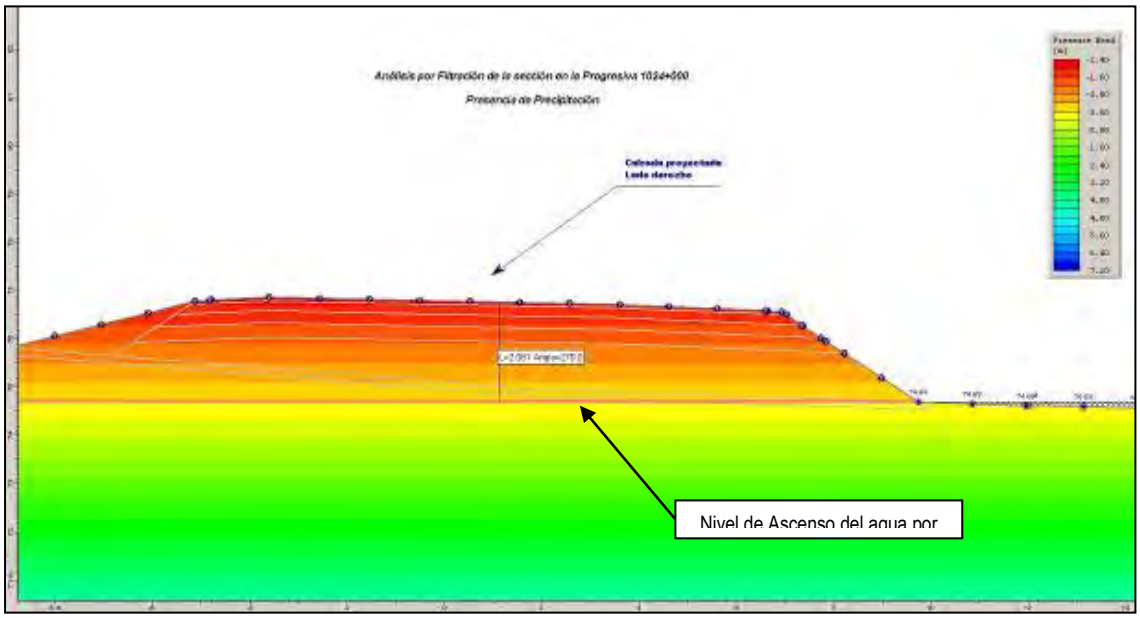


Fig. 4.5 - Análisis de saturación considerando acción del agua inundada a un lado del terraplén.

En la figura anterior se aprecia que el nivel de saturación del terraplén se produce a una profundidad de 2.081 m. a partir del nivel de rasante, a la cual hay que disminuirle la altura por capilaridad que el agua puede hacer ascender aún más.
Entonces el nivel del agua por capilaridad a través del cuerpo sube de acuerdo a su granulometría una atura de $h_c = 37.20\ cms$.

Por lo tanto el nuevo nivel de saturación, sube hasta la profundidad de 2.081-0.37= 1.711 m., saturando al terraplén hasta el nivel de la parte central del cuerpo, adoptándose lo siguiente:

Tabla 4.4 - Grados de saturación resultantes para las distintas capas de la sub rasante

Material	Estado de saturación del modelo
Corona	Seco
Cuerpo	Parcialmente saturado
Capa de mejoramiento	Saturado
Suelo de fundación	Saturado

c) Caso 3:

En este caso se trata la filtración a través de precipitación y una zona inundada a un lado de la estructura del pavimento

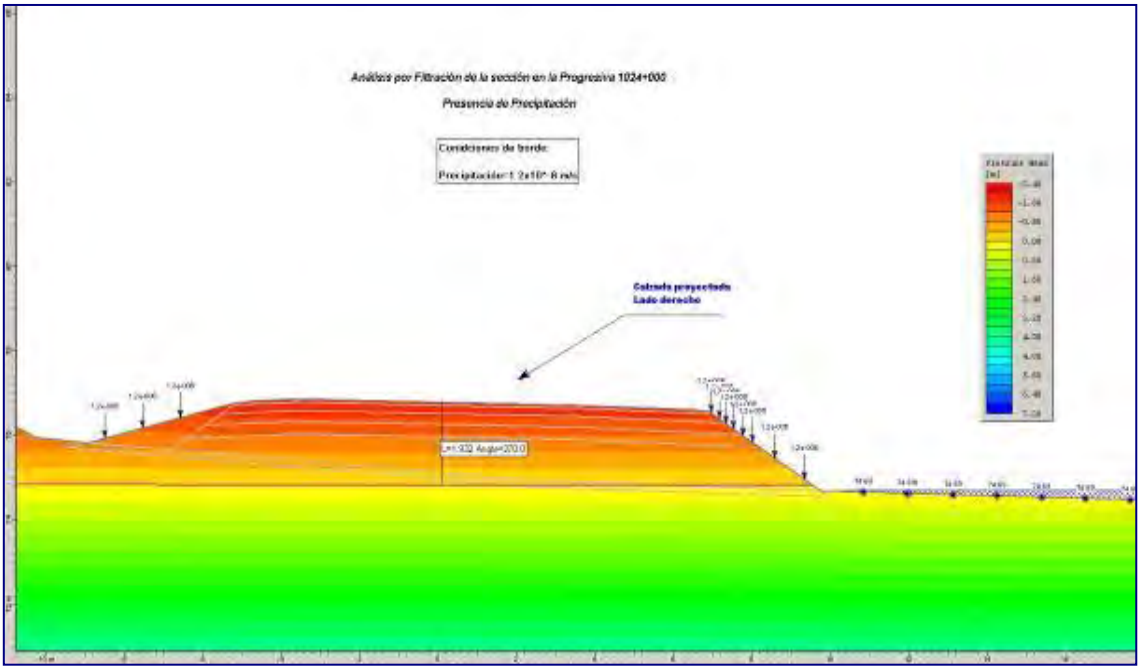


Fig. 4.6 - Análisis de saturación considerando acción de precipitación y agua inundada a un lado del terraplén.

Se observa que el nivel de saturación del terraplén se produce a una profundidad de 1.93m. a partir de la rasante, el cual a este nivel asciende por el efecto de capilaridad, que a través del material de cuerpo sube 37.20 cm. Es por esto que se adopta:

Tabla 4.5 - Grados de saturación para las distintas capas de la sub rasante

Material	Estado de saturación del modelo
Corona	Seco
Cuerpo	Parcialmente Saturado
Capa de mejoramiento	Saturado
Suelo de Fundación	Saturado

4.2.4.2 Progresiva 1022+000

Para esta sección en corte, los parámetros a utilizar para las capas de base y sub base granular, son los que se indicaron en la Tabla 4.1, y para los materiales del suelo que constituyen la sub rasante, son las que se muestran en el siguiente cuadro:

Tabla 4.6 - Valores de permeabilidad para las capas de sub rasante

Material	Permeabilidad (cm/s)
Capa de mejoramiento	8.38×10^{-3}
Suelo de Fundación	
Derrame Lateral	

Bajo la condición que el terraplén esta afecto solo de una precipitación atípica; con el modelamiento, se obtiene:

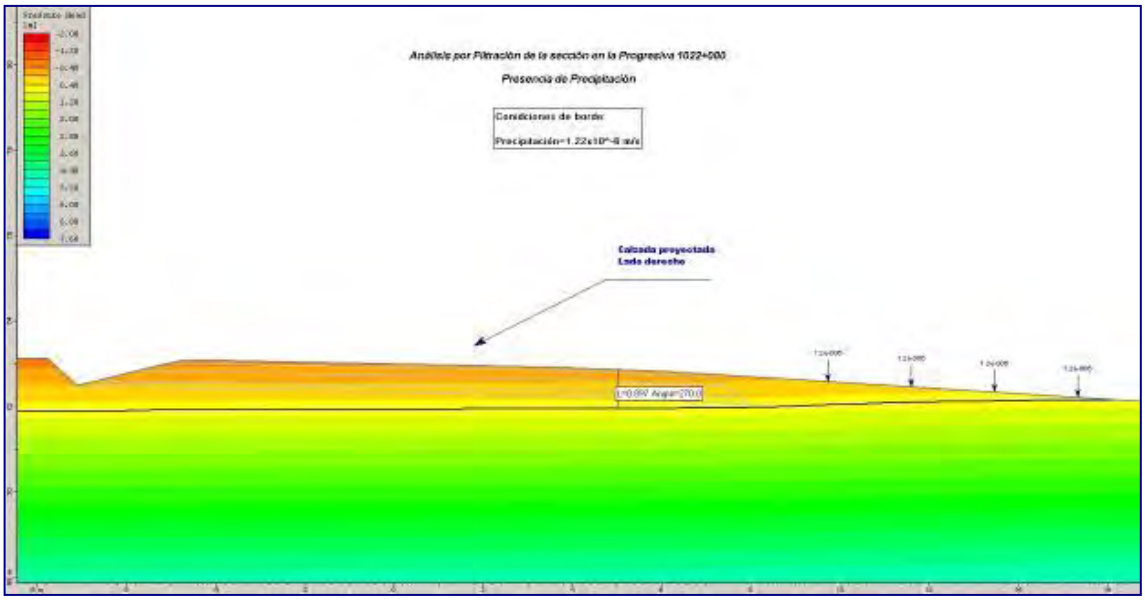


Fig. 4.7 - Análisis de saturación, considerando solo acción de precipitación.

Del análisis, se observa que el nivel de saturación se produce a una profundidad de 0.89 m. medida a partir de la rasante, el cual asciende más debido al efecto de capilaridad.
De acuerdo a la granulometría del material registrado, hc = 27.3 cm.
Por lo tanto, el nivel de saturación llega hasta la capa de material compactado sin afectar a las capas superiores. Para esta sección en corte, se adopta lo siguiente:

Tabla 4.7 - Grados de saturación resultantes para las distintas capas de la subrasante

Material	Estado de saturación del modelo
Capa de mejoramiento	Saturado
Suelo de fundación	Saturado

4.2.4.3 Progresiva 1006+000

En esta sección en corte los parámetros a utilizar para base y sub base granular son los que se indicaron en la Tabla 4.1 y para el suelo de sub rasante son las que se muestran a continuación:

Tabla 4.8: Valores de permeabilidad para las capas de sub rasante

Material	Permeabilidad (cm/s)
Capa de mejoramiento	8.04x10^-3
Suelo de fundación	
Derrame lateral	

Se evaluará el caso en que ocurra filtración a través de la precipitación para un periodo de retorno $T_r = 10\ años$, que corresponde al diseño del pavimento de 0 – 10 años, obteniéndose:

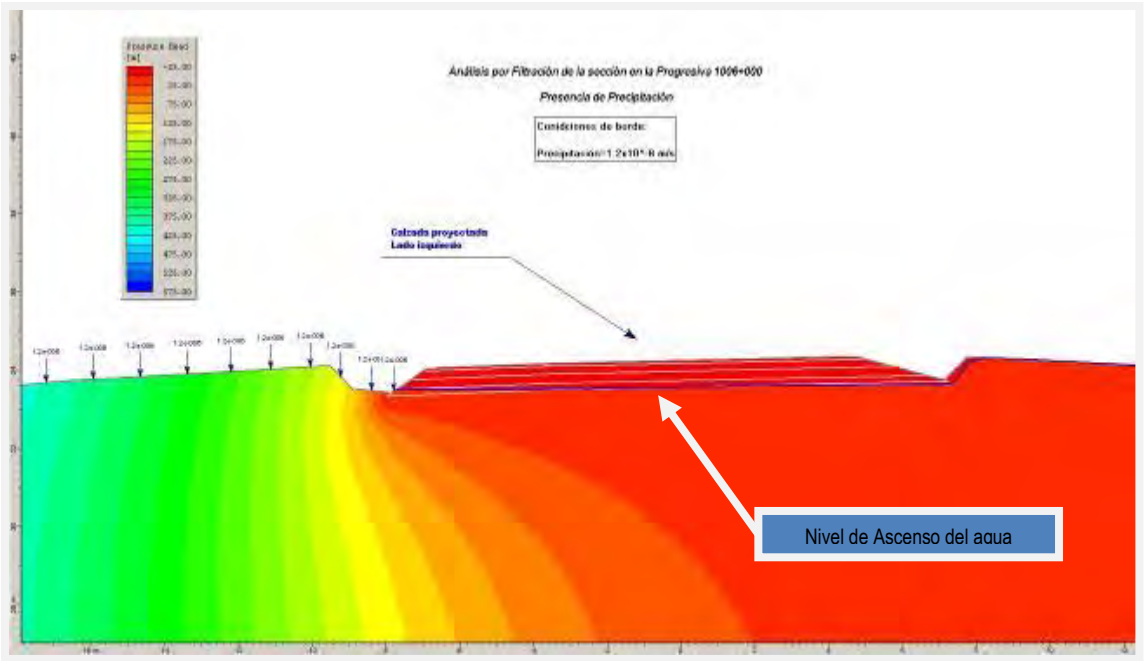


Fig. 4.8 - Análisis de saturación, considerando solo acción de precipitación

Se aprecia un comportamiento similar a la progresiva 1022+000, llegando el nivel de saturación junto con la altura de capilaridad de hc = 27.80 cm, hasta el nivel superior de la capa compactada sin afectar a las capas superiores.
Por lo tanto, para esta sección en corte, se adopta lo siguiente:

Tabla 4.9 - Grados de saturación resultantes para las distintas capas de la sub rasante

Material	Estado de saturación del modelo	Estado de saturación para el cálculo de Mr equivalente.
Capa de mejoramiento	Saturado	Saturado
Suelo de fundación	Saturado	Saturado

4.2.4.4 Progresiva 1012+500

Para esta sección en relleno, para los materiales de base, sub base granular y corona, los parámetros a utilizar son los que se indicaron en la Tabla 4.1, y para los demás materiales las que se muestran en el siguiente cuadro:

Tabla 4.10 - Valores de permeabilidad para las capas de sub rasante

Material	Permeabilidad (cm/s)
Cuerpo	$4.81x10^{-3}$
Capa de mejoramiento	
Suelo de fundación	
Derrame lateral	

El modelo utilizado será para un caso de filtración a través de la precipitación, tomando un periodo de retorno Tr=10 años, que correspondería al diseño del pavimento de 0 – 10 años
Con el modelamiento, se obtiene:

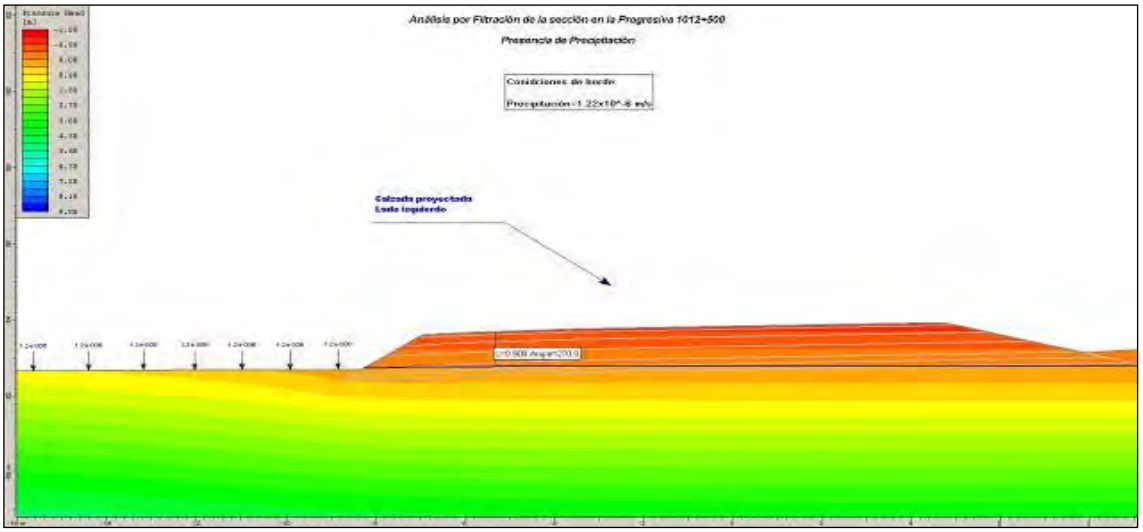


Fig. 4.9 - Análisis de saturación considerando solo acción de precipitación.

De las dos figuras se observa que el nivel de saturación del terraplén llega hasta la parte intermedia del material de cuerpo, aumentando dicho nivel en 37.20 cm. debido al efecto de capilaridad, llegando a saturar parcialmente a la corona.

Por lo tanto para esta sección en relleno se considera lo siguiente:

Tabla 4.11 - Grados de saturación resultantes para las distintas capas de la sub rasante

Material	Estado de saturación del modelo
Corona	Parcialmente saturado
Cuerpo	Saturado
Capa de mejoramiento	Saturado
Suelo de fundación	Saturado

En conclusión, tras haber analizado cuatro secciones, 2 en corte y 2 en relleno, se concluye que el nivel de saturación total alcanza hasta la sub rasante, sin afectar las capas superiores confortantes de la estructura del pavimento. A continuación se muestra el resumen de resultados y lo considerado para cada sección.

Tabla 4.12 - Resumen de resultados para las distintas capas de la sub rasante

Sección	Estado de saturación del modelo	Estado de saturación para cálculo de Mr equivalente.	Observaciones
Corte	Capa de mejoramiento	Saturado	No satura las base ni sub base granular
	Suelo de fundación	Saturado	
Relleno	Corona	Saturado	No satura las base ni sub base granular
	Cuerpo	Saturado	
	Capa de mejoramiento	Saturado	
	Suelo de fundación	Saturado	

En este cuadro se puede apreciar que de manera conservadora se escoge parámetros en condición saturada, es decir, para el cálculo del módulo resiliente compuesto, que son calculados a partir del CBR, se utilizarán módulos en estado saturado.

4.3 Cálculo del módulo resiliente de la subrasante para periodos de lluvia

En las cuatro secciones analizadas que son las representativas en el sub tramo Piura-Sullana, se definió el nivel de saturación y que capas en épocas de lluvias estarían en condiciones saturadas; por esto el siguiente paso es calcular los módulos resilientes compuestos de estas secciones a partir del valor de CBR de cada capa, utilizándose la relación que la guía AASHTO 2008 y el "Manual de Carreteras de Chile", cuyas recomendaciones se encuentran a continuación:

$$M_r\ (psi) = 2555\ \times CBR^{0.64}\ para\ CBR < 12\%$$

$$M_r\ (psi) = 3205.33\ \times CBR^{0.64}\ para\ 12\%\ \leq CBR < 80\%$$

Además, para el cálculo del Módulo resiliente compuesto se utiliza la siguiente relación:

$$Mr_{compuesta} = \frac{Mr_{1\times} d_1^{\ 3} + Mr_2 d_2^3}{d_1^3 + d_2^3}$$

Además se considera que el nivel de influencia de los esfuerzos en el pavimento es hasta 1.50 m. de profundidad medidos desde el nivel de rasante.
Por lo tanto se adopta que el pavimento tendrá el siguiente esquema.

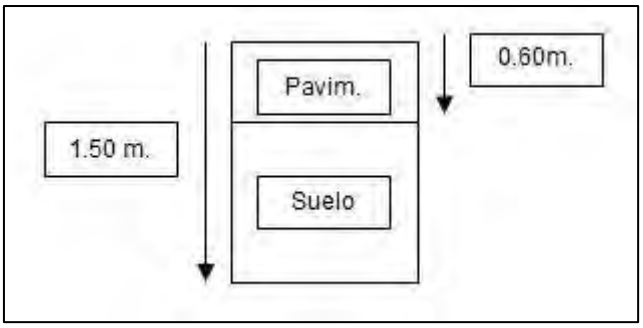


Fig. 4.10 – Esquema del pavimento

Además para las progresivas 1024+000 y 1012+500, secciones en relleno, se consideró el CBR 0.2" penetración al 95% de la MDS promedio del sub tramo, el cual viene a ser 7.86 (en estado saturado), y para las progresivas 1022+000 y 1006+000 (secciones en corte) se consideró el CBR 0.2" penetración al 95% MDS que se realizaron en esas progresivas.
De este modo se obtienen los siguientes valores, mostrados a continuación.

Tabla 4.13 - Cálculo del módulo resiliente – Sección en relleno

Capas de sub rasante	CBR en estado	CBR (%)	Mr (psi)	Espesor (m)	Mr comp. (psi)
Corona	Saturado	15.00	14214.22	0.3	10023.53
Cuerpo	Saturado	7.86	9560.08	0.625	

Tabla 4.14 - Cálculo del módulo resiliente compuesto – Sección en corte

Capas de sub rasante	CBR en estado	CBR (%)	Mr (psi)	Espesor (m)	Mr comp. (psi)
Capa de mejoramiento	Saturado	8.83	10299.25	0.15	10299.25
Est 2	Saturado	8.83	10299.25	0.66	
Igual	Saturado	8.83	10299.25	0.115	

Tabla 4.15 - Cálculo del módulo resiliente compuesto– Sección en corte

Capas de sub rasante	CBR en estado	CBR (%)	Mr (psi)	Espesor (m)	Mr comp. (psi)
Capa de mejoramiento	Saturado	9.85	11045.62	0.15	11045.62
Est 1	Saturado	9.85	11045.62	0.62	
Igual	Saturado	9.85	11045.62	0.155	

Tabla 4.16 - Cálculo del módulo resiliente compuesto– Sección en relleno

Capas de sub rasante	CBR en estado	CBR (%)	Mr (psi)	Espesor (m)	Mr comp. (psi)
Corona	Saturado	15	14214.22	0.30	12334.67
Cuerpo	Saturado	7.86	9560.08	0.162	
Capa de mejoramiento	Saturado	7.86	9560.08	0.15	
Est 1	Saturado	7.86	9560.08	0.10	
Est 2	Saturado	7.86	9560.08	0.213	

Como los valores de los módulos resilientes compuestos obtenidos son muy cercanos, es correcto sacar un promedio para obtener el módulo resiliente de la sub rasante correspondiente a los periodos húmedos.

$$Mr_{equivalente}(para\ periodos\ de\ lluvia) = 10925.77\ psi$$

$$CBR_{equivalente}(para\ periodos\ de\ lluvia) = 9.71\ \%$$

4.4 Cálculo del módulo resiliente de la subrasante para periodos secos

En el caso de los periodos secos, se considera el valor correspondiente a lo obtenido de la sectorización del tramo en estudio que se basó en los valores obtenidos del ensayo in situ PDC, cuyo valor es:

$$Mr_{equivalente}(para\ periodos\ secos) = 16674.47\ psi$$

$$CBR_{equivalente}(para\ periodos\ secos) = 18.75\ \%$$

4.5 Cálculo del módulo resiliente del diseño

Ya definidos los módulos resilientes para periodos secos y húmedos, aplicamos el criterio del módulo resiliente estacional, establecido por AASHTO.

$$u_f = 1.18 \times 10^8 \times Mr^{-2.32}$$

Tabla 4.17 - Criterio del módulo resiliente estacional

Meses	CBR (%)	Mr (psi)	Mf
Enero	9.71	10925.77	0.05
Febrero	9.71	10925.77	0.05
Marzo	9.71	10925.77	0.05
Abril	18.75	16674.47	0.02

Meses	CBR (%)	Mr (psi)	Mf
Mayo	18.75	16674.47	0.02
Junio	18.75	16674.47	0.02
Julio	18.75	16674.47	0.02
Agosto	18.75	16674.47	0.02
Septiembre	18.75	16674.47	0.02
Octubre	18.75	16674.47	0.02
Noviembre	18.75	16674.47	0.02
Diciembre	9.71	10925.77	0.05

De la tabla anterior se obtiene:

$u_{f_{promedio}} = 0.03$

A partir de este valor se vuelve a ingresar a la fórmula que figura en la parte superior, obteniéndose el módulo resiliente ponderado en los distintos meses del año bajo distintos valores afectos por la humedad.
Por lo tanto el módulo resiliente de diseño en el sub tramo Piura-Sullana es:

$M_{r_{diseño}} = 13372.26\ psi$

Este equivale a un $CBR_{diseño} = 13.28\%$

Capítulo 5

Análisis de tráfico con fines de diseño

5.1 Determinación de ejes equivalentes de diseño para el periodo de diseño

Para el diseño se requiere calcular el número de repeticiones de ejes equivalentes en función de las cargas de tráfico, el factor de crecimiento y el número de años, las fórmulas que se aplican para dichos cálculos son las siguientes:

$$ESAL = \sum_{i=1}^{m} F_I n_I$$

$$n_i = (n_o)_i (G)(D)(L)(365)(Y)$$

Donde:

ESAL : Número de repeticiones de eje equivalente (18 kips) aplicada en elperiodo de diseño.

$\boldsymbol{F_i}$: Factor de daño por cada eje calculado con la siguiente ecuación:

Pavimentos Flexibles AASHTO

$$F_i = \log\left(\frac{W_{tx}}{W_t}\right) = 4.79\log(18+1) - 4.79\log(L_x + L_2) + 4.33\log L_2 + \frac{G_t}{\beta_x} - \frac{G_t}{\beta_{18}}$$

$$G_t = \log\left(\frac{4.2 - p_t}{4.2 - 1.5}\right) \qquad \beta_x = 0.40 + \frac{0.081(L_x + L_2)^{3.23}}{(SN+1)^{5.19} L_2^{3.23}}$$

Donde:

$\boldsymbol{L_x}$: Carga del eje en kips
$\boldsymbol{L_2}$: Factor que depende del tipo de eje
(1 para eje simple, 2 eje tándem y 3 eje tridem)
$\boldsymbol{p_t}$: Serviciabilidad final
$\boldsymbol{SN}$: Número estructural
$\boldsymbol{G}$: Factor de crecimiento del tráfico
$\boldsymbol{D}$: Factor de distribución direccional (D=0.50)
$\boldsymbol{L}$: Factor de distribución por carril (L=0.8).

Y : Número de años del periodo de diseño (Y=23 años)

Para dicho cálculo se utiliza la información brindada por el estudio de tráfico, el cual tiene por finalidad cuantificar, clasificar y determinar el volumen de los vehículos que transitan por el sub tramo Piura-Sullana; información que es indispensable para determinar las características de diseño del pavimento para el presente proyecto.

Del estudio de tráfico, se obtiene los valores del Índice medio diario anual (IMD anual) para el sub tramo en estudio, a partir del cual se calcula el número de repeticiones de ejes equivalentes. En las siguientes tablas se muestran, el volumen diario clasificado obtenido en la estación Piura-Sullana, el IMD anual y la tasa de crecimiento en un escenario neutro asignado para cada vehículo dentro del sub tramo en estudio.

Tabla 5.1 - Volumen diario clasificado de la estación Piura-Sullana (2009)

Tipo de Vehículo	SUB TRAMO PIURA-SULLANA			
	Piura-Sullana	Sullana-Piura	Ambos	%
Auto-Camioneta	1179	1242	2421	50.9%
Camta rural	80	69	149	3.1%
Micro	225	196	421	8.9%
Ómnibus 2 ejes	248	277	525	11.0%
Ómnibus 3 ejes	78	81	159	3.3%
Ómnibus 4 ejes	14	13	27	0.6%
Camión 2 ejes	227	236	463	9.7%
Camión 3 ejes	76	77	153	3.2%
Camión 4 ejes	22	22	44	0.9%
Acoplados 3 ejes	0	0	0	0.0%
Acoplados 4 ejes	8	6	14	0.3%
Acoplados 5 ejes	46	48	94	2.0%
Acoplados 6 ejes	143	141	284	6.0%
Acoplados 7 ejes	0	0	0	0.0%
IMD	2346	2408	4754	100%
% por sentido	49%	51%	100%	

Tabla 5.2: IMD anual del tramo continuo Piura-Sullana (2009)

Tipo de Vehículo	IMD
Micro bus	421
B2	525
B3-1	159
B4-1	27
C2	463

Tipo de Vehículo	IMD
C3	153
C4	44
T2S1	0
T2S2	12
T2S3	9
T3S2	62
T3S3	264
C2R2	2
C2R3	0
C3R2	23
C3R3	20
C3R4	0

Tabla 5.3 - Tasa de crecimiento promedio anual, por tipo de vehículo

Tipo de vehículo	Tasa de crecimiento – escenario neutro
Microbus	2.80%
B2	2.90%
B3-1	
B4-1	
C2	3.90%
C3	
C4	
T2S1	4.00%
T2S2	
T2S3	
T3S2	
T3S3	
C2R2	
C2R3	
C3R2	4.00%
C3R3	
C3R4	

Con estos valores de IMD y la tasa de crecimiento de cada vehículo en escenario neutro, se proyecta el IMD del 2009 mostrado en la Tabla 5.2, al año 2011 se le adiciona el tránsito inducido más el generado que representa el 5% del tráfico del 2009, hallando así el número de ejes equivalentes (ESAL) para un periodo de diseño equivalente al total de la concesión contada a partir del año 2011 (23 años), fecha en que el pavimento entraría en servicio; y para un periodo de 10 años.
De esta manera se obtiene:

$$ESAL\ (0 - 10\ años) = 12.7\ \times\ 10^6$$

$$ESAL\ (0 - 23\ años) = 37.9\ \times\ 10^6$$

Los reportes del cálculo se muestran en los Anexos D y E.

Capítulo 6

Diseño de pavimentos

Diseñar para las condiciones de tráfico, clima, suelos de fundación y materiales disponibles un pavimento flexible, que brinde seguridad y confort a los usuarios durante el periodo concebido de diseño.

6.1 Parámetros de diseño

6.1.1 Módulo resiliente de diseño

El módulo resiliente de diseño en el sub tramo Piura-Sullana es:
$M_r = 13372.26\, psi$
Este equivale a un $CBR = 13.38\%$

6.1.2 Número de ejes equivalentes de diseño

Para el diseño se requiere calcular el número de repeticiones de ejes equivalentes en función de las cargas de tráfico, el factor de crecimiento y el número de años. Para dicho cálculo se utiliza la información brindada por el estudio de tráfico, el cual tiene por finalidad cuantificar, clasificar y determinar el volumen de los vehículos que transitan por el tramo continuo Piura-Sullana; información que es indispensable para determinar las características de diseño del pavimento para el presente proyecto

Con los valores de IMD y la tasa de crecimiento de cada vehículo en escenario neutro, se proyecta el IMD del 2009 mostrado y luego se halla el número de ejes equivalentes (ESAL), para distintos periodos de diseño contados a partir del año 2011, fecha en que el pavimento entraría en servicio; de esta manera se obtiene los siguientes valores de ejes equivalentes:

- ESAL (0-10 años) = 12.7x10^6,
- ESAL (0 -23 años)= 37.9x10^6

6.2 Diseño estructural del pavimento

El pavimento es la capa o conjunto de capas de materiales apropiados comprendidos entre la superficie de la subrasante y la superficie de rodadura, cuyas principales funciones son las de proporcionar una superficie uniforme de textura apropiada y resistente a la acción del tráfico, intemperismo y de otros agentes perjudiciales, asimismo transmitir adecuadamente al terreno de fundación los esfuerzos producidos por las cargas impuestas por el tráfico. En otras palabras, el pavimento es la superestructura de la obra vial que hace posible el tránsito fluido de los vehículos con la seguridad, confort y economía previstos por el proyecto.
La estructuración de un pavimento, así como las características de los materiales empleados en su construcción, ofrecen una variedad de posibilidades; de tal manera que puede estar formado por sólo una capa o varias, y a su vez, dichas capas pueden ser de materiales naturales seleccionados, procesados o sometidos a algún tipo de tratamiento o estabilización.
La actual tecnología contempla una gama muy diversa de secciones estructurales, las cuales son función de los distintos factores que intervienen en la performance de una vía, como por ejemplo: tráfico, tipo de suelo, importancia de la vía, condiciones de drenaje, recursos disponibles, etc.
En función de las consideraciones antes indicadas se propone una estructura de pavimento que provea una buena serviciabilidad por mayor tiempo. Dicha estructura estará constituida por un pavimento flexible con superficie de rodadura de carpeta asfáltica en caliente.

6.2.1 Metodología AASHTO 93

El diseño del pavimento será efectuado mediante el método AASHTO 93. Este método de diseño desarrollado a finales de los años 50 ha sufrido varias modificaciones en sus guías de diseño, siendo la versión del año 1993 la que se emplea actualmente para el diseño de pavimentos[1]. El procedimiento de diseño es el siguiente:

1. Cálculo del tráfico de diseño
2. Determinación del módulo resiliente efectivo de diseño
3. Cálculo del número estructural
4. Cálculo de los espesores de diseño

Las dos primeras partes del procedimiento del diseño fueron desarrolladas en los ítems anteriores

6.2.2 Variables de diseño

El método AASHTO-93 incluye, entre otros, los siguientes parámetros:

a) Confiabilidad (Desviación estándar normal)

Básicamente es una forma de incorporar cierto grado de certeza en el proceso de diseño. Sirve para garantizar que la sección del pavimento proyectado se comportará satisfactoriamente bajo las condiciones de tráfico y medio ambiente durante el periodo de diseño. Esto depende principalmente de la importancia de la vía; los valores fluctúan

[1] AASHTO, *Guide for Design of Pavement Structures*, AASHTO 1993.

entre 50% para vías locales a 99.9% en vías nacionales, tal como se aprecia en la siguiente tabla:

Tabla 6.1 - Valores sugeridos de confiabilidad

Clasificación	Niveles de confiabilidad recomendados (%)	
	Urbana	Rural
Autopistas interestatales y otras	85 – 99.9	80 – 99.9
Arterias principales	80 - 99	75 – 95
Colectoras de tránsito	80 - 95	75 – 95
Carreteras locales	50 - 80	50 - 80

Para el cálculo de la confiabilidad en una construcción por etapas se utiliza la siguiente expresión:

$$R_{etapa} = \left(R_{total}\right)^{1/n}$$

Donde:

$\boldsymbol{n}$: Número de periodos

En la Tabla 6.2 "Valores de la desviación estándar normal" se muestra los valores de la desviación que se adopta en base al nivel de confianza, según la guía de diseño AASHTO.

Tabla 6.2 - Valores de desviación estándar normal

Niveles de confiabilidad	Desviación estándar normal
60	-0.253
-	-
95	-1.645
96	-1.751
97	-1.881
98	-2.054
99	-2.327
99.9	-3.090

b) Desviación estándar total (So)

Es la desviación estándar de la población de valores obtenidos por AASHTO. Varía de 0.40 a 0.50 para pavimentos flexibles.

Por lo tanto, para el tramo continuo en estudio, la desviación estándar considerada en el diseño es de 0.42.
La confiabilidad considerada en el diseño es de 90% para el periodo total y de 95% para cada una de las dos tapas, que corresponden a una vía urbana tipo autopista.

c) Variación del índice de serviciabilidad

La serviciabilidad es un parámetro que relaciona la condición funcional con la condición estructural de la vía. El Índice de Serviciabilidad Presente (PSI) varía de 0 (carretera imposible) hasta 5 (carretera perfecta).
En el ensayo AASHTO se obtuvo una serviciabilidad inicial (Po) de 4.2 para pavimentos flexibles; y el índice de serviciabilidad más bajo (Pt) es de 2.0, que puede tolerarse antes de que sea necesario un refuerzo o una rehabilitación para las carreteras.
A fin de profundizar el análisis se ha realizado una evaluación integral de la guía en este acápite, verificándose que sugiere emplear un PSI final mínimo de 2.5 para vías como las que nos ocupa, por lo que en nuestro caso concordante con este criterio se define:

$$PSI_{inicial} = 4.2$$
$$PSI_{final} = 2.5$$
$$\Delta PSI = 1.7$$

d) Coeficiente de drenaje

Representa la incidencia entre la calidad del drenaje en la vía y el porcentaje del tiempo durante el período de diseño; que las capas granulares estén expuestas a niveles de humedad cercanos a la saturación.
En la Tabla 6.3 "Valores de coeficiente de drenaje" se muestra los valores recomendados para modificar los coeficientes de capas de base y sub base granular, frente a condiciones de humedad

Tabla 6.3 - Valores de coeficiente de drenaje

Calidad de drenaje	Término remoción de agua	% de tiempo de exposición de la estructura del pavimento a nivel de humedad próximos a la saturación			
		<1%	1-5%	5-25%	>25%
Excelente	2 horas	1.40 - 1.35	1.35 - 1.30	1.30 - 1.20	1.20
Buena	1 día	1.35 - 1.25	1.25 - 1.15	1.15 - 1.00	1.00
Aceptable	1 semana	1.25 - 1.15	1.15 - 1.05	1.00 - 0.80	0.80
Pobre	1 mes	1.15 - 1.05	1.05 - 0.80	0.80 - 0.60	0.60
Muy pobre	El agua no drena	1.05 - 0.95	0.95 - 0.75	0.75 - 0.40	0.40

Para las condiciones propias de la zona, donde las precipitaciones ocurren en ciertos meses de manera poco intensa, salvo en eventos como el Fenómenos del Niño; y

además, teniendo en cuenta que parte de la vía se encuentra en zonas de cultivo, en donde hay épocas en las que los suelos están expuestos a saturación incluso llegando al nivel de corona, se estima que el tiempo de exposición de la estructura a nivel de humedad próxima a la saturación está en el orden de 5-25%. En base a lo anterior y teniendo en cuenta que la vía tendrá un buen sistema de drenaje por corresponder a una construcción nueva, los coeficientes de drenaje varían entre 1.15 – 1.00, definiéndose para este caso:

$$m_1 = 1.1$$
$$m_2 = 1.1$$

e) Periodo de diseño

El periodo de diseño empleado para la obtención de las estructuras del pavimento es de 5, 15 y 23 años, con los respectivos refuerzos necesarios. Está planeado que la operación inicie en el 2011.

f) Coeficiente de aporte estructural

Los coeficientes estructurales de capa fueron estimados a partir de las correlaciones que la guía de diseño presenta en las figuras 2.5, 2.6 y 2.7, y las ecuaciones indicadas a continuación:

$$a_2 = 0.249(\log_{10} E_{BS}) - 0.977$$
$$a_3 = 0.227(\log_{10} E_{SB}) - 0.839$$

Donde:

E_{BS}: Módulo resiliente de la base
E_{SB}: Módulo resiliente de la sub base

Los resultados se resumen en el siguiente gráfico:

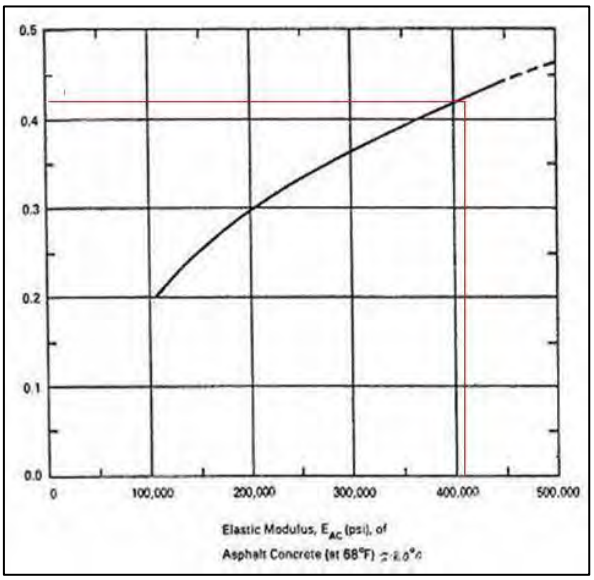


Fig. 6.1 - Coeficiente de aporte estructural de la carpeta asfáltica.

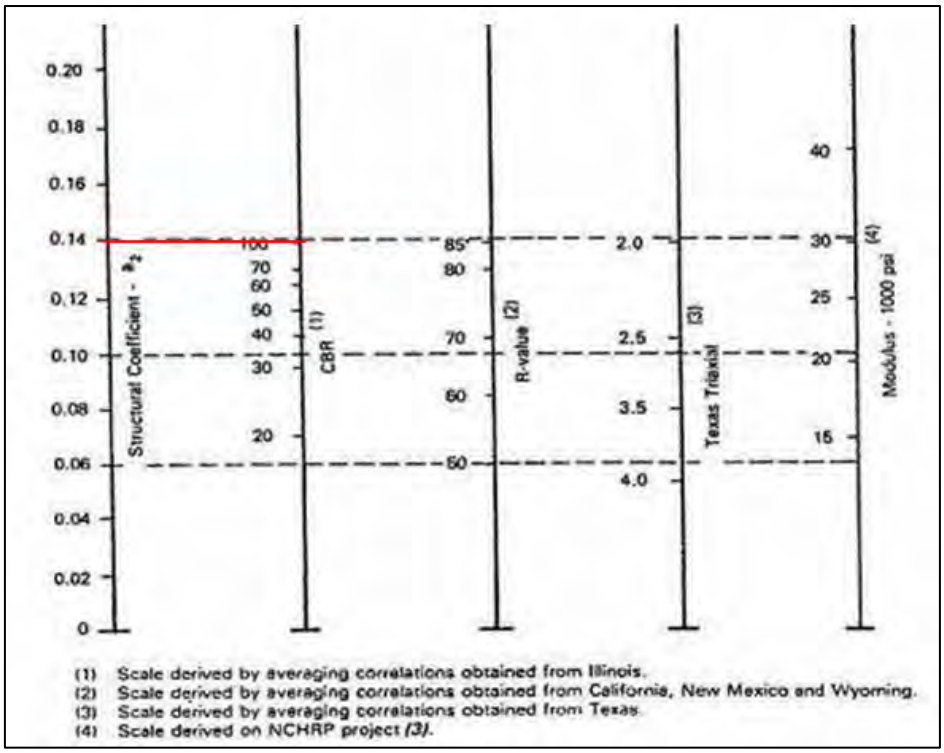


Fig. 6.2: Coeficiente de aporte estructural de la base.

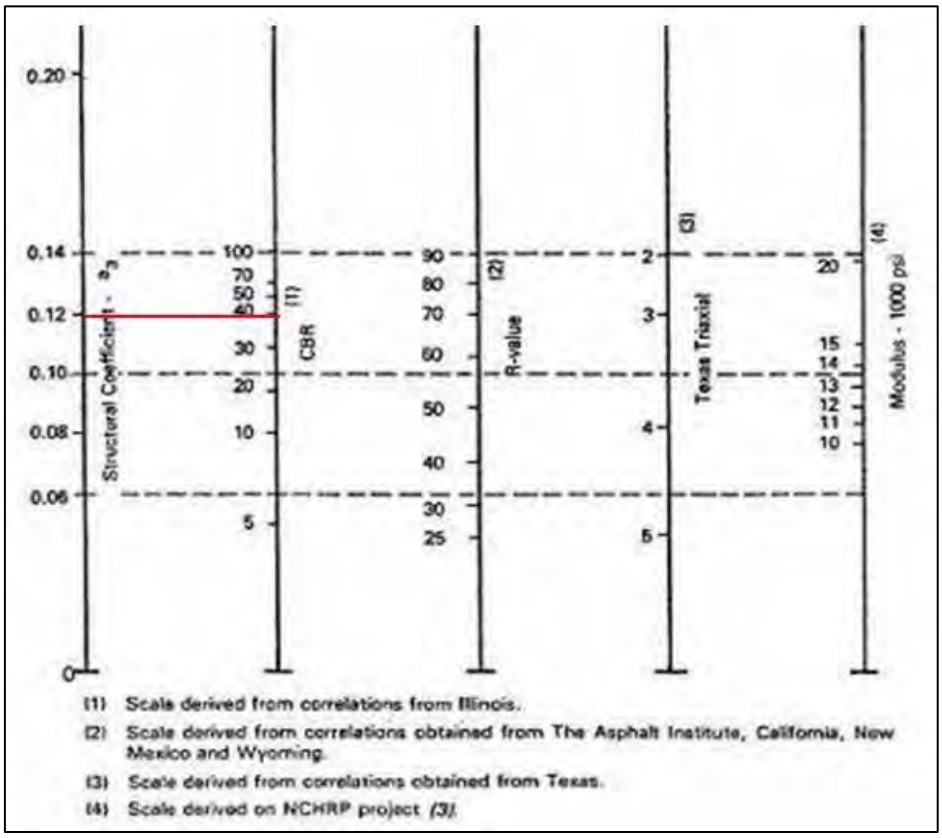


Fig. 6.3 - Coeficiente de aporte estructural de la Sub base.

Tabla 6.4 - Coeficiente estructural de las capas participes en el pavimento nuevo

Capa	CBR (%)	Mr (psi)	Coeficiente estructural
Carpeta asfáltica	---	420,000	0.42/pulg
Base granular	100	30,000	0.14/pulg
Sub base granular	40	17,000	0.12/pulg

6.2.3 Diseño de espesores de pavimento

Para poder diseñar los espesores del pavimento flexible que se propone para el tramo continuo Piura-Sullana, hay que conocer los parámetros ya mencionados y calculados. Adicionalmente, hay que realizar el cálculo de número estructural, el cual es un valor adimensional que representa una equivalencia numérica de la capacidad estructural del pavimento y se calcula de la siguiente manera:

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

Donde:

$\boldsymbol{W_{18}}$: Número de repeticiones de eje equivalente (ESAL)
$\boldsymbol{Z_R}$: Confiabilidad
$\boldsymbol{S_O}$: Desviación estándar
$\boldsymbol{SN}$: Número estructural
$\boldsymbol{\Delta PSI}$: Pérdida de serviciabilidad
$\boldsymbol{M_R}$: Módulo resiliente de la subrasante

Una vez que ya conocemos el número estructural, se procede a estructurar el pavimento conformado por las capas de sub base granular, base granular y carpeta asfáltica, mediante la siguiente expresión:

$$SN = \sum_{i=1} a_i D_i m_i$$

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

Donde:

a_i : Coeficiente de capa en función de las propiedades de los materiales
D_i : Espesores
M_i : Coeficientes de drenaje

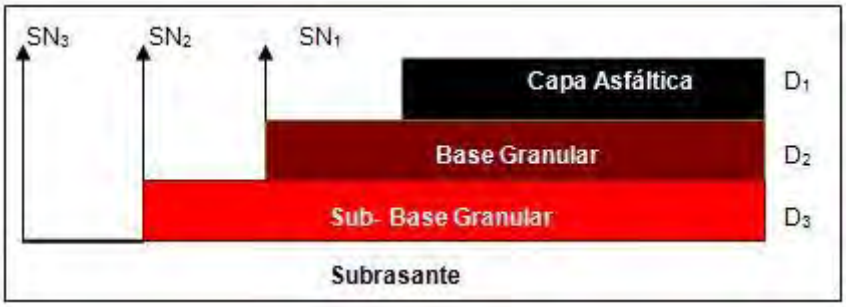


Fig. 6.4 - Esquema de la estructuración del pavimento nuevo

6.3 Estructuración final

6.3.1 Espesores finales de pavimento - una sola etapa

El pavimento ha sido diseñado para un periodo de 23 años.
A continuación se muestra la siguiente tabla con todos los parámetros de diseño requeridos para la estructuración del pavimento

Tabla 6.5: Parámetros de diseño empleados en el sub tramo Piura-Sullana (Periodo 23 años)

Parámetros de Diseño				0-23 años
Número de ejes equivalentes				37.9 E+06
Módulo resiliente, Mr (psi)				13372.26
Nivel de confianza, R (%)				90%
Factor de confiabilidad, Zr				-1.282
Desviación estándar, So				0.42
Serviciabilidad inicial				4.2
Serviciabilidad final				2.5
Δ PSI				1.7
Número estructural requerido			SN	4.89
Carpeta asfáltica	---	a1 = 0.42	D1 (pulg.)	6.0
Base	m1 = 1.1	a2 = 0.14	D2 (pulg.)	6.0
Sub-base	m2 = 1.1	a3 = 0.12	D3 (pulg.)	12.0
Espesor total del pavimento			(pulg.)	24.0
Número estructural propuesto			SN’	5.03

Se adjuntan seguidamente la corrida para el cálculo del número estructural (Fig. 6.5) y la estructuración correspondiente (Fig. 6.6).

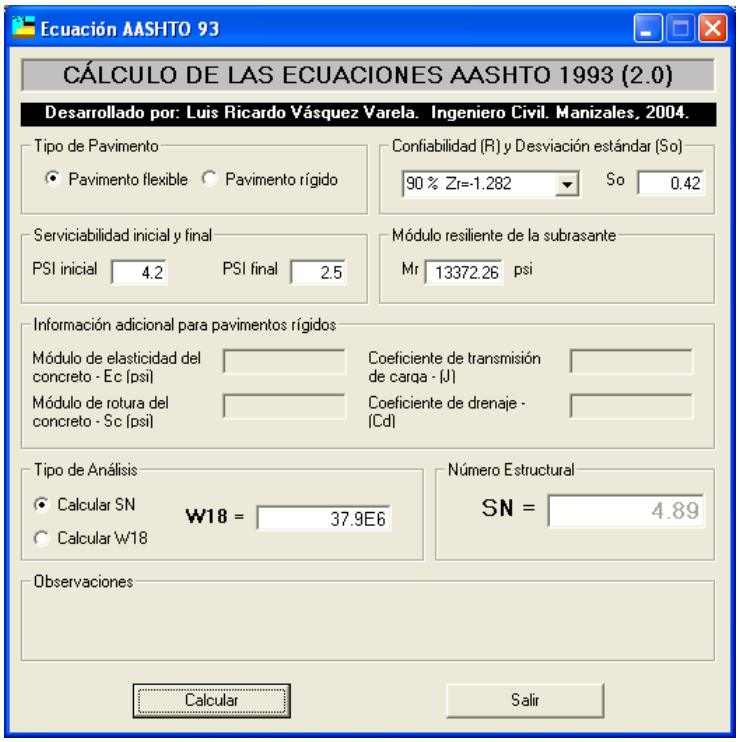


Fig. 6.5 - Cálculo del número estructural para un periodo de 0-23 años

Fig.6.6 - Estructuración del diseño de pavimento para un periodo de 0-23 años

La subrasante será compactada al 95% de la máxima densidad seca del próctor modificado. Se adicionará material granular como terraplén, el cual estará conformado por dos capas; la superior denominada corona, procedente de cantera, cumple los requisitos mínimos para materiales de corona de terraplén establecidos en las EG-2000, y la inferior es una capa denominada cuerpo, que será de material de préstamo lateral. Además, como ya se mencionó, por las características climáticas de la zona se plantea el empleo de una mezcla asfáltica en caliente con un PEN 40-50.

6.3.2 Espesores finales de pavimento - Diseño por etapas

Dada las características del proyecto se presenta un segundo enfoque basado en la construcción del pavimento por etapas.
En consecuencia, la primera etapa está referida a la colocación de una superficie de rodadura a nivel de carpeta asfáltica; la segunda etapa se refiere a la colocación de un recapeo, que consiste en una carpeta asfáltica en caliente cuando la vía cumpla 10 años de servicio, para así asegurar que el pavimento dure un periodo total de 23 años.

6.3.2.1 Primera etapa

Para el diseño estructural de la primera etapa, el cual tomará 0 años, se han considerado los parámetros que se detallan en la Tabla 6.6, en donde la confiabilidad corresponde al valor de 95% para las dos etapas.
A continuación, se muestran los cálculos de SN para 0-10 años y 10-23 años, con sus respectivas corridas que se muestran en las Figuras 6.7 y 6.8.

Tabla 6.6 - Parámetros de diseño, para el cálculo del número estructural requerido

Parámetros de Diseño				0-10 años	10-23 años
Número de ejes equivalentes				12.7 E+06	25.2 E+06
Módulo resiliente, Mr (psi)				13372.26	13372.26
Nivel de confianza, R (%)				95%	95%
Factor de confiabilidad, Zr				-1.645	-1.645
Desviación estándar, So				0.42	0.42
Serviciabilidad inicial				4.2	4.2
Serviciabilidad final				2.5	2.5
Δ PSI				1.7	1.7
Número estructural requerido			SN	4.39	4.85
Carpeta asfáltica	---	a1 = 0.42	D1 (pulg.)	4.0	
Base	m1 = 1.1	a2 = 0.14	D2 (pulg.)	8.0	
Sub-base	m2 = 1.1	a3 = 0.12	D3 (pulg.)	12.0	
Espesor total del pavimento			(pulg.)	24.0	
Número estructural propuesto (efectivo)			SN’	4.50	

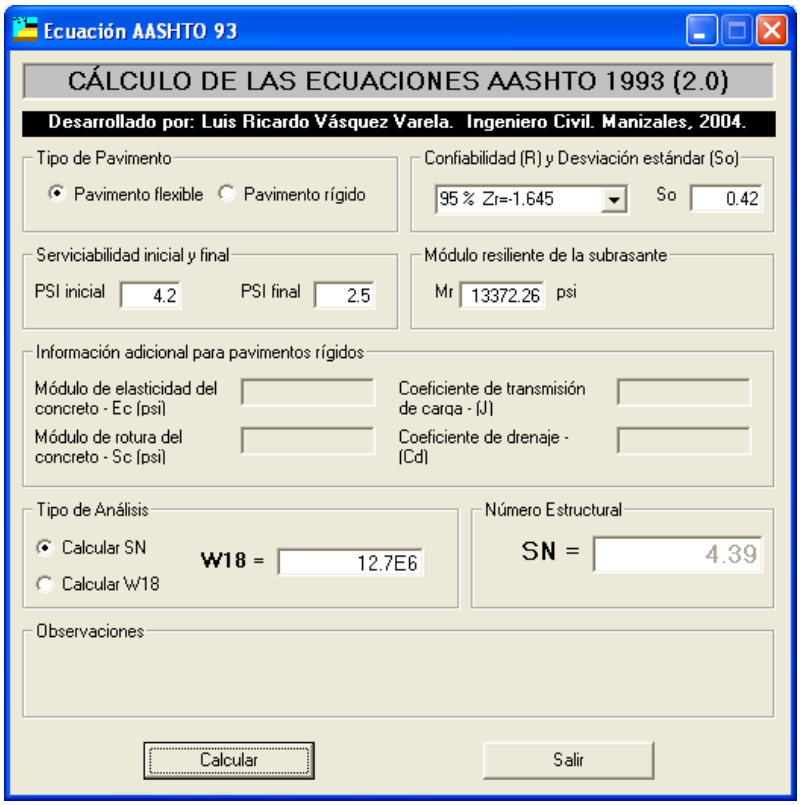


Fig. 6.7 - Cálculo del número estructural para un periodo de 0-10 años

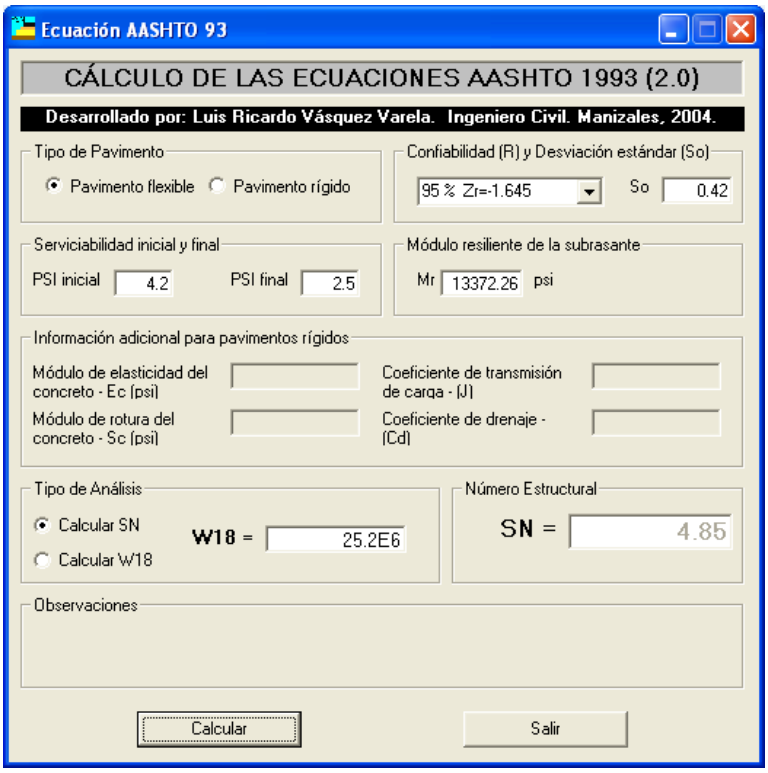


Fig. 6.8 - Cálculo del número estructural para un periodo de 10- 23 años

6.3.2.2 Segunda etapa

La segunda etapa contempla la ejecución inmediata de un refuerzo consistente en una carpeta asfáltica en caliente sobre la calzada ya existente en el año 10.
Para esta etapa se calculará el SN de refuerzo, empleando el método de vida remanente de la AASHTO, al igual que la segunda etapa.
Se aplica la siguiente expresión:

$$RL = 100\left(1 - \frac{ESAL_{0-10años l}}{ESAL_{final(índice)}}\right)$$

Luego con el valor de RL hallado se calcula el factor de condición (FC) a partir de la Figura 6.9, de esta manera podemos determinar el SN remanente de la siguiente manera:

$$SN_{REMANENTE} = SN_{EFECTIVO\ 0-10AÑOS} \times FC$$

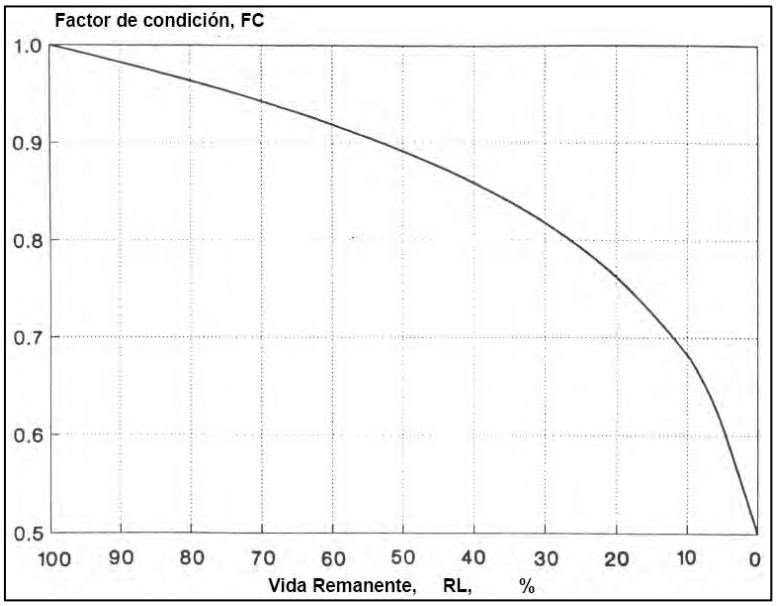


Fig. 6.9: Relación de la pérdida de factor de condición y pérdida de vida

Con la metodología explicada se calcula el valor del ESAL remanente para una serviciabilidad final de 1.50 y con el SN efectivo de 0-10 años = 4.50

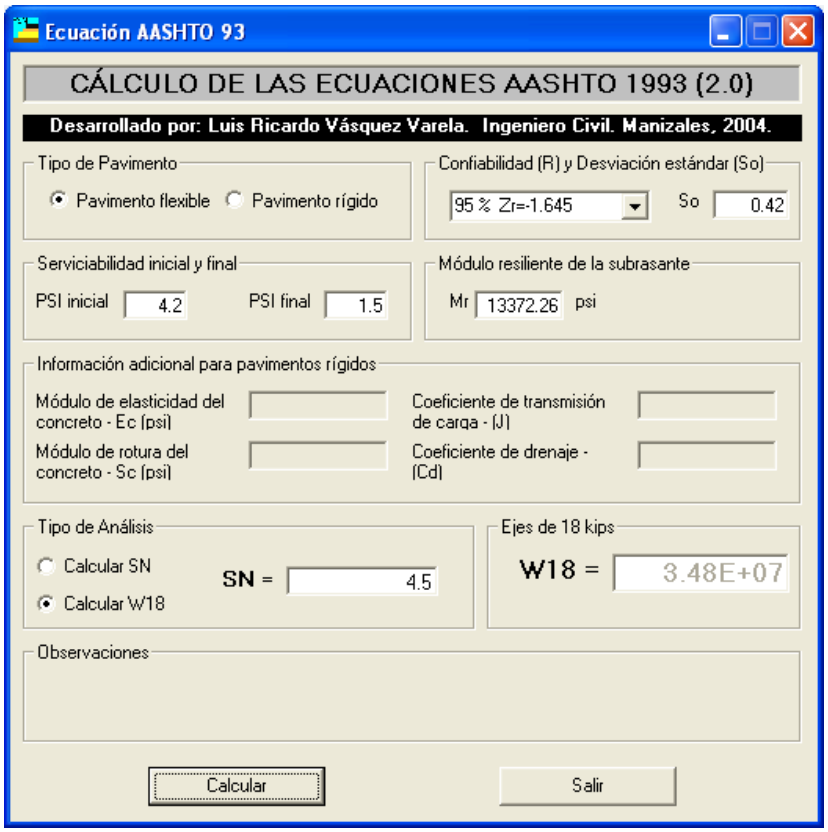


Fig. 6.10: Cálculo del ESAL remanente con serviciabilidad final de 1.50 y SN efectivo 0-10 años

De la relación anterior, se obtiene el valor del SN remanente para el periodo de 0-10 años:

Tabla 6.7 - Cálculo del RL

ESAL (PSI final=1.5)	ESAL (0-10 años)	RL(%)	FC	SN REM Periodo 0-10 años
34.8 E+06	12.7 E+06	63.51	0.93	4.18

Tabla 6.8 - Números estructurales remanentes y requeridos

SN REM Periodo 0-10 años	SN REQUERIDO Periodo 10-23 años
4.18	4.85

Determinación del espesor de la sobre capa en el año 5:

$$D_{01} = \frac{SN_{01}}{a_{01}} = \frac{SN_{REQ\ \ 10-23\,AÑOS} - SN_{REM\ \ 0-10\,AÑOS}}{a_{01}}$$

Donde:

$\boldsymbol{SN_{01}}$: Número estructural requerido para el recapeo (10-23 años)
$\boldsymbol{a_{01}}$: Coeficiente estructural para recapeo de concreto asfáltico (0.42)
$\boldsymbol{D_{01}}$: Espesor requerido de recapeo.
$\boldsymbol{SN_{REQ\ 10-23\ años}}$: Número estructural requerido para el tránsito futuro (10 – 23)
$\boldsymbol{SN_{REM\ 0-10\ años}}$: Número estructural remanente del periodo 0 - 10 años.

Por lo tanto el espesor de recapeo para completar la vida útil hasta un periodo de 15 años es:

$$D_{01} = 2.0\ pulgadas = 5\ cms.$$

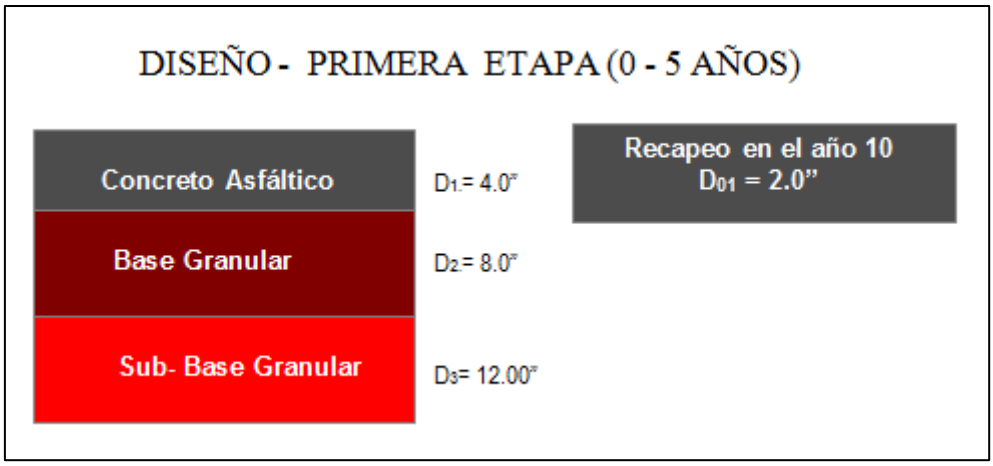


Fig. 6.11 - Estructuración del diseño de pavimento y sus refuerzos

Conclusiones

Los trabajos de exploración de campo consistieron en la excavación manual de calicatas a cielo abierto equidistantes, en promedio, 250 m. entre sí, y ubicadas a lo largo de la vía existente. Se excavaron un total de 113 calicatas identificadas de C-1 a C-113, comprendidas dentro de las progresivas 1004+000 – 1032+000 a una profundidad mínima de 1.5 m.

El tipo de suelo según la clasificación SUCS que predomina en los estratos registrados es arena limosa (SM), la misma que define el perfil estratigráfico de la vía. No obstante, estos materiales presentan valores de soporte relativamente bajos (6% – 8%) al 95% de la MDS. Las alturas de rellenos a conformar en la vía varían de 0.15 m. a 3.4 m., con un promedio de 0.85 cm; y han sido definidas con el criterio de dar continuidad a la obras de arte cuya rasante se encuentra definida en la vía existente y al empleo de la menor cantidad de relleno que garantice la permanencia de la vía. Se ha verificado mediante el software Sllide que estas alturas de relleno son las adecuadas para el proyecto, dado que en el caso de ocurrencia de lluvias similares a las consideradas para el cálculo de las alcantarillas, el nivel de saturación llegaría solamente hasta la corona del terraplén en algunas secciones del proyecto, y no influiría en la estructura del pavimento.

En el sub tramo Piura-Sullana, en las secciones de relleno, se utilizará material de préstamo lateral para conformar la base cuerpo del terraplén (también se podrá emplear material de cantera). La corona de 0.30 m. de espesor será conformada con material de cantera con tamaño máximo de 3.00” e IP<10%.

En los sectores de entrega del tramo con puentes y evitamientos (accesos), donde se ha definido colocar rellenos catalogados como altos (mayores a 3m.), se recomienda conformar el terraplén con material de cantera de 3.00 m. y el resto con material de préstamo lateral que cumpla con las especificaciones técnicas EG2000. Como referencia se cita el estudio presentado en Provial 2000, en el “V Congreso Internacional La Nueva Era del Mantenimiento Vial”, del 6 al 10 de noviembre en Chile, cuyo título fue “Efecto de la presencia de terraplenes en el módulo elástico para el diseño de pavimentos flexibles”, en donde se establece la altura mínima.

Para la definición del módulo resiliente de diseño se aplicó el criterio de M_r equivalente según AASHTO, habiéndose considerado la influencia del terraplén a conformar con la

altura correspondiente definida a partir de las secciones transversales en cada caso. Asimismo se incluyó en el análisis los valores de PDC efectuados en cada calicata, los que representan el valor relativo de soporte de la condición actual de los suelos.

Se ha efectuado la verificación de los asentamientos y estabilidad de los terraplenes a conformar, concluyéndose que los mismos no inducirán falla en la estructura proyectada.

El tráfico de diseño ha sido calculado en base a la información del estudio de tráfico (IMD por tipo de vehículo y tasa de crecimiento); los factores destructivos se calcularon a partir del IMD anual del estudio de tráfico (corregidos por todos los factores y considerando los tráficos asociados) y las tasas de crecimiento; y también se aplicaron las ecuaciones generales de AASHTO para calcular los factores camión (esto es por iteración, partiendo de valores iniciales de SN y Factores camión calculados a partir de las ecuaciones simplificadas).
El diseño esta efectuado para una condición con control de cargas, empleando las cargas máximas establecidas en el Reglamento Nacional de Vehículos (RNV) vigente.
La metodología empleada fue la AASHTO 93, establecida en los términos de referencia. Los periodos de diseño son de 23 años en una etapa y de 23 años en dos etapas, en este último caso el periodo inicial fue de 10 años.
Las estructuras definidas son:

Tabla 7.1 - Alternativa 1: Etapa de 23 años (Periodo total)

Capas de pavimento		23 años	
		Pulg.	metros
Carpeta Asfáltica	D1	6	0.15
Base	D2	6	0.15
Sub-base	D3	12	0.3
Espesor total del pavimento		24	0.6

Tabla 7.2 - Alternativa 2: Dos etapas (10 años y 13 años)

Capas del Pavimento		10 años		Recapeo hasta 23 años	
		Pulg.	metros	Pulg.	metros
Carpeta Asfáltica	D1	4	0.1	2.0(*)	0.05
Base	D2	8	0.2	-	-
Sub-base	D3	12	0.3	-	-
Espesor total del pavimento	(pulg.)	24	0.6	-	-

(*) Recapeo para 13 años efectuado en el año 10

Se efectuaron diseños de mezclas asfálticas, a fin de determinar con fines presupuestales los porcentajes tentativos de insumos en la mezcla, los porcentajes de filler y aditivo mejorador de adherencia que puedan ser necesarios adicionar a la mezcla asfáltica. Estos serán establecidos en forma definitiva en obra en base a los resultados del diseño de mezclas con los agregados procesados y en las condiciones de obra.

En conclusión, se recomienda la conformación de la estructura diseñada para el periodo de 10 años, la misma que cumple los requerimientos técnicos que garantizar su permanencia así como los establecidos en los TdR del proyecto.

Bibliografía

- **Manual de carreteras**. Suelos, geología, geotecnia y pavimentos – Sección: Suelos y pavimentos (Febrero 2013).

- **AASHTO**. Guide for design of Pavement structures (1993).

- *Manual of practice mechanistic - empirical pavement design guide* (Julio 2008).

- Manual de Carreteras de Chile Vol. 3 Instrucciones y criterios de diseño (Diciembre 2010)

- Estudio de suelos y pavimentos autopista del Sol Trujillo – Sullana (Setiembre 2010).

ANEXOS

Anexo A

Relación detallada de calicatas ejecutadas

CALICATA	PROGRESIVA	LADO	DATOS	
			MUESTRA	PROFUNDIDAD (m.)
C-1	1004+000	IZQUIERDO	M-1	0.00-0.60
	1004+000	IZQUIERDO	M-2	0.60-1.50
C-2	1004+250	IZQUIERDO	M-1	0.00-1.50
C-3	1004+500	IZQUIERDO	M-1	0.00-0.50
	1004+500	IZQUIERDO	M-2	0.50-1.50
C-4	1004+750	IZQUIERDO	M-1	0.00-0.50
	1004+750	IZQUIERDO	M-2	0.50-1.50
C-5	1005+000	IZQUIERDO	M-1	0.00-0.60
	1005+000	IZQUIERDO	M-2	0.60-1.50
C-6	1005+250	IZQUIERDO	M-1	0.00-0.60
	1005+250	IZQUIERDO	M-2	0.60-1.50
C-7	1005+420	DERECHO	M-1	0.00-1.50
C-8	1005+750	IZQUIERDO	M-1	0.00-1.10
	1005+750	IZQUIERDO	M-2	1.10-1.30
	1005+750	IZQUIERDO	M-3	1.30-1.50
C-9	1006+000	IZQUIERDO	M-1	0.00-1.50
C-10	1006+250	IZQUIERDO	M-1	0.00-0.90
	1006+250	IZQUIERDO	M-2	0.90-1.50
C-11	1006+500	IZQUIERDO	M-1	0.00-1.10
	1006+500	IZQUIERDO	M-2	1.10-1.30
	1006+500	IZQUIERDO	M-3	1.30-1.50
C-12	1006+750	IZQUIERDO	M-1	0.00-1.50
C-13	1007+000	IZQUIERDO	M-1	0.00-1.50
C-14	1007+250	IZQUIERDO	M-1	0.00-0.40
	1007+250	IZQUIERDO	M-2	0.40-1.50
C-15	1007+500	IZQUIERDO	M-1	0.00-0.50
	1007+500	IZQUIERDO	M-2	0.50-1.50
C-16	1007+750	IZQUIERDO	M-1	0.00-0.50
	1007+750	IZQUIERDO	M-2	0.70-1.50
C-17	1008+000	IZQUIERDO	M-1	0.00-1.50
C-18	1008+250	IZQUIERDO	M-1	0.00-1.50
C-19	1008+500	IZQUIERDO	M-1	0.00-0.20
	1008+500	IZQUIERDO	M-2	0.20-1.10
	1008+500	IZQUIERDO	M-3	1.10-1.50

CALICATA	PROGRESIVA	LADO	DATOS	
			MUESTRA	PROFUNDIDAD (m.)
C-20	1008+750	IZQUIERDO	M-1	0.00-0.20
	1008+750	IZQUIERDO	M-2	0.20-1.30
	1008+750	IZQUIERDO	M-3	1.30-1.50
C-21	1009+000	IZQUIERDO	M-1	0.00-1.50
C-22	1009+250	IZQUIERDO	M-1	0.00-0.15
	1009+250	IZQUIERDO	M-2	0.15-1.50
C-23	1009+500	IZQUIERDO	M-1	0.00-0.40
	1009+500	IZQUIERDO	M-2	0.40-1.30
	1009+500	IZQUIERDO	M-3	1.30 -1.50
C-24	1009+750	IZQUIERDO	M-1	0.00-0.60
	1009+750	IZQUIERDO	M-2	0.60-1.10
	1009+750	IZQUIERDO	M-3	1.10-1.50
C-25	1010+000	IZQUIERDO	M-1	0.00-0.50
	1010+000	IZQUIERDO	M-2	0.50-1.50
C-26	1010+250	IZQUIERDO	M-1	0.00-0.30
	1010+250	IZQUIERDO	M-2	0.30-0.50
	1010+250	IZQUIERDO	M-3	0.50-1.50
C-27	1010+500	IZQUIERDO	M-1	0.00-0.40
	1010+500	IZQUIERDO	M-2	0.40-0.80
	1010+500	IZQUIERDO	M-3	0.80-1.50
C-28	1010+750	IZQUIERDO	M-1	0.00-0.25
	1010+750	IZQUIERDO	M-2	0.25-0.95
	1010+750	IZQUIERDO	M-3	0.95-1.50
C-29	1011+000	IZQUIERDO	M-1	0.00-0.40
	1011+000	IZQUIERDO	M-2	0.40-0.90
	1011+000	IZQUIERDO	M-3	0.90-1.50
C-30	1011+250	IZQUIERDO	M-1	0.00-0.40
	1011+250	IZQUIERDO	M-2	0.40-0.90
	1011+250	IZQUIERDO	M-3	0.90-1.50
C-31	1011+500	IZQUIERDO	M-1	0.00-0.10
	1011+500	IZQUIERDO	M-2	0.10-1.50
C-32	1011+750	IZQUIERDO	M-1	0.00-0.20
	1011+750	IZQUIERDO	M-2	0.20-1.50
C-33	1012+000	IZQUIERDO	M-1	0.00-0.15
	1012+000	IZQUIERDO	M-2	0.15-1.50
C-34	1012+250	IZQUIERDO	M-1	0.00-0.25

CALICATA	PROGRESIVA	LADO	DATOS	
			MUESTRA	PROFUNDIDAD (m.)
	1012+250	IZQUIERDO	M-2	0.25-1.50
C-35	1012+500	IZQUIERDO	M-1	0.00-0.10
	1012+500	IZQUIERDO	M-2	0.10-1.50
C-36	1012+750	IZQUIERDO	M-1	0.00-0.30
	1012+750	IZQUIERDO	M-2	0.30-1.50
C-37	1013+000	IZQUIERDO	M-1	0.00-1.10
	1013+000	IZQUIERDO	M-2	1.10-1.50
C-38	1013+250	IZQUIERDO	M-1	0.00-0.40
	1013+250	IZQUIERDO	M-2	0.40-1.50
C-39	1013+500	IZQUIERDO	M-1	0.00-0.30
	1013+500	IZQUIERDO	M-2	0.30-1.50
C-40	1013+750	IZQUIERDO	M-1	0.00-1.30
	1013+750	IZQUIERDO	M-2	1.30-1.50
C-41	1014+000	IZQUIERDO	M-1	0.00-1.00
	1014+000	IZQUIERDO	M-2	1.00-1.50
C-42	1014+250	IZQUIERDO	M-1	0.00-0.70
	1014+250	IZQUIERDO	M-2	0.70-0.90
	1014+250	IZQUIERDO	M-3	0.90-1.50
C-43	1014+500	IZQUIERDO	M-1	0.00-0.70
	1014+500	IZQUIERDO	M-2	0.70-1.50
C-44	1014+750	IZQUIERDO	M-1	0.00-0.30
	1014+750	IZQUIERDO	M-2	0.30-1.50
C-45	1015+000	IZQUIERDO	M-1	0.00-0.80
	1015+000	IZQUIERDO	M-2	0.80-1.50
C-46	1015+250	IZQUIERDO	M-1	0.00-1.20
	1015+250	IZQUIERDO	M-2	1.20-1.50
C-47	1015+500	IZQUIERDO	M-1	0.00-0.90
	1015+500	IZQUIERDO	M-2	0.90-1.50
C-48	1015+750	IZQUIERDO	M-1	0.00-0.60
	1015+500	IZQUIERDO	M-2	0.60-0.80
	1015+750	IZQUIERDO	M-3	0.80-1.50
C-49	1016+000	IZQUIERDO	M-1	0.00-1.20
	1016+000	IZQUIERDO	M-2	1.20-1.50
C-50	1016+250	IZQUIERDO	M-1	0.00-1.00
	1016+250	IZQUIERDO	M-2	1.00-1.50
C-51	1016+500	IZQUIERDO	M-1	0.00-0.90

CALICATA	PROGRESIVA	LADO	DATOS	
			MUESTRA	PROFUNDIDAD (m.)
	1016+500	IZQUIERDO	M-2	0.90-1.50
C-52	1016+750	IZQUIERDO	M-1	0.00-0.20
	1016+750	IZQUIERDO	M-2	0.20-0.70
	1016+750	IZQUIERDO	M-3	0.70-1.50
C-53	1017+000	IZQUIERDO	M-1	0.00-1.50
C-54	1017+250	IZQUIERDO	M-1	0.00-0.90
	1017+250	IZQUIERDO	M-2	0.90-1.50
C-55	1017+500	IZQUIERDO	M-1	0.00-0.50
	1017+500	IZQUIERDO	M-2	0.50-1.50
C-56	1017+750	IZQUIERDO	M-1	0.00-0.80
	1017+750	IZQUIERDO	M-2	0.80-1.50
C-57	1018+000	IZQUIERDO	M-1	0.00-0.30
	1018+000	IZQUIERDO	M-2	0.30-0.70
	1018+000	IZQUIERDO	M-3	0.70-1.50
C-58	1018+250	IZQUIERDO	M-1	0.00-0.70
	1018+250	IZQUIERDO	M-2	0.70-1.50
C-59	1018+500	IZQUIERDO	M-1	0.00-1.10
	1018+500	IZQUIERDO	M-2	1.10-1.50
C-60	1018+750	IZQUIERDO	M-1	0.00-0.30
	1018+750	IZQUIERDO	M-2	0.30-0.60
	1018+750	IZQUIERDO	M-3	0.60-1.50
C-61	1019+000	DERECHO	M-1	0.00-0.90
	1019+000	DERECHO	M-2	0.90-1.50
C-62	1019+250	DERECHO	M-1	0.00-0.70
	1019+250	DERECHO	M-2	0.70-1.50
C-63	1019+500	DERECHO	M-1	0.00-0.50
	1019+500	DERECHO	M-2	0.50-1.50
C-64	1019+750	DERECHO	M-1	0.00-1.50
C-65	1020+000	DERECHO	M-1	0.00-0.60
	1020+000	DERECHO	M-2	0.60-1.50
C-66	1020+250	DERECHO	M-1	0.00-0.80
	1020+250	DERECHO	M-2	0.80-1.50
C-67	1020+500	DERECHO	M-1	0.00-0.20
	1020+500	DERECHO	M-2	0.20-1.50
C-68	1020+750	DERECHO	M-1	0.00-1.20
	1020+750	DERECHO	M-2	1.20-1.50

CALICATA	PROGRESIVA	LADO	DATOS	
			MUESTRA	PROFUNDIDAD (m.)
C-69	1021+000	DERECHO	M-1	0.00-0.15
	1021+000	DERECHO	M-2	0.15-0.85
	1021+000	DERECHO	M-3	0.85-1.50
C-70	1021+250	DERECHO	M-1	0.00-0.90
	1021+250	DERECHO	M-2	0.90-1.40
	1021+250	DERECHO	M-3	1.40-1.50
C-71	1021+500	DERECHO	M-1	0.00-0.35
	1021+500	DERECHO	M-2	0.35-0.80
	1021+500	DERECHO	M-3	0.80-1.20
	1021+500	DERECHO	M-4	1.20-1.50
C-72	1021+750	DERECHO	M-1	0.00-0.80
	1021+750	DERECHO	M-2	0.80-1.20
	1021+750	DERECHO	M-3	1.20-1.50
C-73	1022+000	DERECHO	M-1	0.00-0.20
	1022+000	DERECHO	M-2	0.20-1.50
C-74	1022+250	DERECHO	M-1	0.00-0.20
	1022+250	DERECHO	M-2	0.20-1.50
C-75	1022+500	DERECHO	M-1	0.00-0.60
	1022+500	DERECHO	M-2	0.60-0.75
	1022+500	DERECHO	M-3	0.75-1.50
C-76	1022+750	DERECHO	M-1	0.00-0.20
	1022+750	DERECHO	M-2	0.20-1.50
C-77	1023+000	DERECHO	M-1	0.00-0.50
	1023+000	DERECHO	M-2	0.50-0.90
	1023+000	DERECHO	M-3	0.90-1.50
C-78	1023+250	DERECHO	M-1	0.00-0.20
	1023+250	DERECHO	M-2	0.20-0.90
	1023+250	DERECHO	M-3	0.90-1.50
C-79	1023+500	DERECHO	M-1	0.00-0.20
	1023+500	DERECHO	M-2	0.20-0.95
	1023+500	DERECHO	M-3	0.95-1.50
C-80	1023+750	DERECHO	M-1	0.00-0.20
	1023+750	DERECHO	M-2	0.20-0.40
	1023+750	DERECHO	M-3	0.40-1.40
	1023+750	DERECHO	M-4	1.40-1.50
C-81	1024+000	DERECHO	M-1	0.00-0.20

CALICATA	PROGRESIVA	LADO	DATOS	
			MUESTRA	PROFUNDIDAD (m.)
	1024+000	DERECHO	M-2	0.20-0.40
	1024+000	DERECHO	M-3	0.40-1.50
C-82	1024+250	DERECHO	M-1	0.00-0.45
	1024+250	DERECHO	M-2	0.45-1.50
C-83	1024+500	DERECHO	M-1	0.00-0.20
	1024+500	DERECHO	M-2	0.20-0.60
	1024+500	DERECHO	M-3	0.60-1.30
	1024+500	DERECHO	M-4	1.30-1.50
C-84	1024+750	DERECHO	M-1	0.00-0.70
	1024+750	DERECHO	M-2	0.70-1.05
	1024+750	DERECHO	M-3	1.05-1.50
C-85	1025+000	DERECHO	M-1	0.00-0.40
	1025+000	DERECHO	M-2	0.40-0.90
	1025+000	DERECHO	M-3	0.90-1.50
C-86	1025+250	DERECHO	M-1	0.00-0.30
	1025+250	DERECHO	M-2	0.30-0.60
	1025+250	DERECHO	M-3	0.60-1.10
	1025+250	DERECHO	M-4	1.10-1.50
C-87	1025+500	DERECHO	M-1	0.00-0.20
	1025+500	DERECHO	M-2	0.20-0.75
	1025+500	DERECHO	M-3	0.75-0.90
	1025+500	DERECHO	M-4	0.90-1.50
C-88	1025+750	DERECHO	M-1	0.00-0.70
	1025+750	DERECHO	M-2	0.70-1.50
C-89	1026+000	DERECHO	M-1	0.00-0.20
	1026+000	DERECHO	M-2	0.20-0.60
	1026+000	DERECHO	M-3	0.60-1.50
C-90	1026+250	DERECHO	M-1	0.00-0.80
	1026+250	DERECHO	M-2	0.80-1.00
	1026+250	DERECHO	M-3	1.00-1.50
C-91	1026+500	DERECHO	M-1	0.00-0.70
	1026+500	DERECHO	M-2	0.70-1.50
C-92	1026+750	DERECHO	M-1	0.00-1.50
C-93	1027+000	DERECHO	M-1	0.00-0.40
	1027+000	DERECHO	M-2	0.40-1.00
	1027+000	DERECHO	M-3	1.00-1.50

CALICATA	PROGRESIVA	LADO	DATOS	
			MUESTRA	PROFUNDIDAD (m.)
C-94	1027+250	DERECHO	M-1	0.00-1.10
	1027+250	DERECHO	M-2	1.10-1.50
C-95	1027+500	DERECHO	M-1	0.00-1.50
C-96	1027+750	DERECHO	M-1	0.00-0.70
	1027+750	DERECHO	M-2	0.70-1.50
C-97	1028+000	DERECHO	M-1	0.00-1.50
C-98	1028+250	DERECHO	M-1	0.00-0.50
	1028+250	DERECHO	M-2	0.50-1.50
C-99	1028+500	DERECHO	M-1	0.00-0.60
	1028+500	DERECHO	M-2	0.60-1.50
C-100	1028+750	DERECHO	M-1	0.00-0.30
	1028+750	DERECHO	M-2	0.30-0.75
	1028+750	DERECHO	M-3	0.75-1.50
C-101	1029+000	DERECHO	M-1	0.00-1.50
C-102	1029+250	DERECHO	M-1	0.00-1.50
C-103	1029+500	DERECHO	M-1	0.00-1.50
C-104	1029+750	DERECHO	M-1	0.00-0.15
	1029+750	DERECHO	M-2	0.15-0.50
	1029+750	DERECHO	M-3	0.50-1.50
C-105	1030+000	DERECHO	M-1	0.00-0.40
	1030+000	DERECHO	M-2	0.40-1.50
C-106	1030+250	DERECHO	M-1	0.40-1.50
C-107	1030+500	DERECHO	M-1	1.10-1.50
C-108	1030+750	DERECHO	M-1	0.90-1.10
	1030+750	DERECHO	M-2	1.10-1.50
C-109	1031+000	DERECHO	M-1	0.00-0.25
	1031+000	DERECHO	M-2	0.25-1.00
	1031+000	DERECHO	M-3	1.00-1.50
C-110	1031+250	DERECHO	M-1	0.00-0.15
	1031+250	DERECHO	M-2	0.15-0.55
	1031+250	DERECHO	M-3	0.55-1.50
C-111	1031+500	DERECHO	M-1	0.00-0.30
	1031+500	DERECHO	M-2	0.30-0.50
	1031+500	DERECHO	M-3	0.50-1.50
C-112	1031+750	DERECHO	M-1	0.00-0.60
	1031+750	DERECHO	M-2	0.60-1.20

CALICATA	PROGRESIVA	LADO	DATOS	
			MUESTRA	PROFUNDIDAD (m.)
	1031+750	DERECHO	M-3	1.20-1.50
C-113	1032+000	DERECHO	M-1	0.00-0.30
	1032+000	DERECHO	M-2	0.30-0.80
	1032+000	DERECHO	M-3	0.80-1.20
	1032+000	DERECHO	M-4	1.20-1.50

Anexo B

Resumen de valores de ensayo MTC E-110, MTC E-111 y MTC E-108

CALICATA	PROG.	LADO	DATOS		LÍMITE LÍQUIDO (%)	ÍNDICE PLÁSTICO (%)	CONT. HUMEDAD (%)	SUCS	AASHTO
			MUESTRA	PROF. (m.)					
C-1	1004+000	IZQUIERDO	M-1	0.00-0.60	15.40	NP	1.88	SM	A-2-4(0)
	1004+000	IZQUIERDO	M-2	0.60-1.50	10.93	NP	0.76	SP	A-3(0)
C-2	1004+250	IZQUIERDO	M-1	0.00-1.50	9.92	NP	0.51	SP	A-3(0)
C-3	1004+500	IZQUIERDO	M-1	0.00-0.50	10.48	NP	2.08	SP	A-3(0)
	1004+500	IZQUIERDO	M-2	0.50-1.50	10.48	NP	1.23	SP	A-3(0)
C-4	1004+750	IZQUIERDO	M-1	0.00-0.50	17.20	NP	4.76	SM	A-2-4(0)
	1004+750	IZQUIERDO	M-2	0.50-1.50	18.00	NP	2.34	SM	A-2-4(0)
C-5	1005+000	IZQUIERDO	M-1	0.00-0.60	8.71	NP	0.63	SP-SM	A-3(0)
	1005+000	IZQUIERDO	M-2	0.60-1.50	9.87	NP	2.42	SP	A-3(0)
C-6	1005+250	IZQUIERDO	M-1	0.00-0.60	8.70	NP	4.39	SP	A-3(0)
	1005+250	IZQUIERDO	M-2	0.60-1.50	11.35	NP	0.41	SP-SM	A-3(0)
C-7	1005+420	DERECHO	M-1	0.00-1.50	16.84	NP	5.24	SP-SM	A-2-4(0)
C-8	1005+750	IZQUIERDO	M-1	0.00-1.10	11.80	NP	0.87	SP	A-3(0)
	1005+750	IZQUIERDO	M-2	1.10-1.30	9.98	NP	7.18	SP	A-3(0)
	1005+750	IZQUIERDO	M-3	1.30-1.50	21.02	NP	7.22	SM	A-2-4(0)
C-9	1006+000	IZQUIERDO	M-1	0.00-1.50	13.02	NP	0.90	SP-SM	A-3(0)
C-10	1006+250	IZQUIERDO	M-1	0.00-0.90	13.05	NP	0.93	SP	A-3(0)
	1006+250	IZQUIERDO	M-2	0.90-1.50	29.27	3.00	6.02	ML	A-4(0)
C-11	1006+500	IZQUIERDO	M-1	0.00-1.10	15.51	NP	0.98	SP	A-3(0)

CALICATA	PROG.	LADO	DATOS		LÍMITE LÍQUIDO (%)	ÍNDICE PLÁSTICO (%)	CONT. HUMEDAD (%)	SUCS	AASHTO
			MUESTRA	PROF. (m.)					
	1006+500	IZQUIERDO	M-2	1.10-1.30	17.17	NP	0.93	SP	A-1-b(0)
	1006+500	IZQUIERDO	M-3	1.30-1.50	17.66	NP	0.93	SM	A-2-4(0)
C-12	1006+750	IZQUIERDO	M-1	0.00-1.50	16.00	NP	0.96	SP	A-3(0)
C-13	1007+000	IZQUIERDO	M-1	0.00-1.50	34.17	5.27	5.14	SM	A-4(0)
C-14	1007+250	IZQUIERDO	M-1	0.00-0.40	16.00	NP	0.97	SM	A-2-4(0)
	1007+250	IZQUIERDO	M-2	0.40-1.50	30.90	8.48	6.81	CL	A-4(4)
C-15	1007+500	IZQUIERDO	M-1	0.00-0.50	15.89	NP	1.29	SM	A-2-4(0)
	1007+500	IZQUIERDO	M-2	0.50-1.50	11.32	NP	6.76	SP-SM	A-3(0)
C-16	1007+750	IZQUIERDO	M-1	0.00-0.50	20.79	3.29	3.80	SM	A-4(0)
	1007+750	IZQUIERDO	M-2	0.70-1.50	29.63	4.93	6.28	ML	A-4(1)
C-17	1008+000	IZQUIERDO	M-1	0.00-1.50	32.30	5.92	6.00	SM	A-4(1)
C-18	1008+250	IZQUIERDO	M-1	0.00-1.50	36.14	7.73	6.60	ML	A-4(5)
C-19	1008+500	IZQUIERDO	M-1	0.00-0.20	18.90	NP	1.25	SM	A-2-4(0)
	1008+500	IZQUIERDO	M-2	0.20-1.10	31.53	5.13	8.29	ML	A-4(1)
	1008+500	IZQUIERDO	M-3	1.10-1.50	33.68	7.16	8.92	ML	A-4(7)
C-20	1008+750	IZQUIERDO	M-1	0.00-0.20	22.20	2.92	3.75	SM	A-4(0)
	1008+750	IZQUIERDO	M-2	0.20-1.30	25.90	5.62	6.60	SC-SM	A-4(0)
	1008+750	IZQUIERDO	M-3	1.30-1.50	32.80	6.50	10.20	ML	A-4(3)
C-21	1009+000	IZQUIERDO	M-1	0.00-1.50	27.03	5.33	6.78	CL-ML	A-4(2)
C-22	1009+250	IZQUIERDO	M-1	0.00-0.15	28.55	2.07	2.31	SM	A-2-4(0)

CALICATA	PROG.	LADO	DATOS		LÍMITE LÍQUIDO (%)	ÍNDICE PLÁSTICO (%)	CONT. HUMEDAD (%)	SUCS	AASHTO
			MUESTRA	PROF. (m.)					
	1009+250	IZQUIERDO	M-2	0.15-1.50	30.13	8.53	7.79	CL	A-4(5)
C-23	1009+500	IZQUIERDO	M-1	0.00-0.40	19.01	NP	1.22	SM	A-2-4(0)
	1009+500	IZQUIERDO	M-2	0.40-1.30	34.03	7.63	8.40	ML	A-4(4)
	1009+500	IZQUIERDO	M-3	1.30 - 1.50	28.35	9.24	14.89	CL	A-4(3)
C-24	1009+750	IZQUIERDO	M-1	0.00-0.60	17.57	NP	1.27	SM	A-2-4(0)
	1009+750	IZQUIERDO	M-2	0.60-1.10	31.48	9.35	7.99	CL	A-4(4)
	1009+750	IZQUIERDO	M-3	1.10-1.50	22.21	3.26	6.76	SM	A-4(0)
C-25	1010+000	IZQUIERDO	M-1	0.00-0.50	17.19	2.24	3.11	SM	A-2-4(0)
	1010+000	IZQUIERDO	M-2	0.50-1.50	23.12	0.99	7.72	SM	A-2-4(0)
C-26	1010+250	IZQUIERDO	M-1	0.00-0.30	18.12	NP	1.82	SM	A-2-4(0)
	1010+250	IZQUIERDO	M-2	0.30-0.50	21.10	2.05	7.19	SM	A-2-4(0)
	1010+250	IZQUIERDO	M-3	0.50-1.50	23.00	2.10	6.24	SM	A-2-4(0)
C-27	1010+500	IZQUIERDO	M-1	0.00-0.40	31.55	7.43	7.41	ML	A-4(3)
	1010+500	IZQUIERDO	M-2	0.40-0.80	29.61	7.07	8.70	CL	A-4(1)
	1010+500	IZQUIERDO	M-3	0.80-1.50	32.00	6.45	8.14	ML	A-4(6)
C-28	1010+750	IZQUIERDO	M-1	0.00-0.25	22.00	1.43	2.79	SM	A-2-4(0)
	1010+750	IZQUIERDO	M-2	0.25-0.95	14.27	NP	5.03	SP-SM	A-3(0)
	1010+750	IZQUIERDO	M-3	0.95-1.50	20.23	NP	2.53	SM	A-2-4(0)
C-29	1011+000	IZQUIERDO	M-1	0.00-0.40	13.58	NP	0.72	SP-SM	A-2-4(0)
	1011+000	IZQUIERDO	M-2	0.40-0.90	22.88	2.46	2.76	SM	A-4(0)

CALICATA	PROG.	LADO	DATOS		LÍMITE LÍQUIDO (%)	ÍNDICE PLÁSTICO (%)	CONT. HUMEDAD (%)	SUCS	AASHTO
			MUESTRA	PROF. (m.)					
	1011+000	IZQUIERDO	M-3	0.90-1.50	13.50	NP	2.32	SP-SM	A-1-b(0)
C-30	1011+250	IZQUIERDO	M-1	0.00-0.40	28.27	7.37	4.85	CL	A-4(3)
	1011+250	IZQUIERDO	M-2	0.40-0.90	28.27	7.37	1.32	SP	A-3(0)
	1011+250	IZQUIERDO	M-3	0.90-1.50	27.73	6.33	5.17	CL-ML	A-4(1)
C-31	1011+500	IZQUIERDO	M-1	0.00-0.10	15.45	NP	0.78	SP-SM	A-2-4(0)
	1011+500	IZQUIERDO	M-2	0.10-1.50	27.03	5.69	6.44	CL-ML	A-4(1)
C-32	1011+750	IZQUIERDO	M-1	0.00-0.20	16.08	NP	0.75	SM	A-2-4(0)
	1011+750	IZQUIERDO	M-2	0.20-1.50	23.12	3.71	0.75	SM	A-4(0)
C-33	1012+000	IZQUIERDO	M-1	0.00-0.15	11.52	NP	0.94	SP-SM	A-3(0)
	1012+000	IZQUIERDO	M-2	0.15-1.50	22.34	1.81	3.99	SM	A-2-4(0)
C-34	1012+250	IZQUIERDO	M-1	0.00-0.25	12.94	NP	1.47	SP-SM	A-2-4(0)
	1012+250	IZQUIERDO	M-2	0.25-1.50	25.26	4.11	5.93	SC-SM	A-4(0)
C-35	1012+500	IZQUIERDO	M-1	0.00-0.10	12.89	NP	0.71	SP-SM	A-2-4(0)
	1012+500	IZQUIERDO	M-2	0.10-1.50	18.25	NP	4.08	SM	A-2-4(0)
C-36	1012+750	IZQUIERDO	M-1	0.00-0.30	12.93	NP	0.84	SP-SM	A-2-4(0)
	1012+750	IZQUIERDO	M-2	0.30-1.50	20.90	4.23	4.08	SC-SM	A-2-4(0)
C-37	1013+000	IZQUIERDO	M-1	0.00-1.10	12.99	NP	0.83	SP-SM	A-2-4(0)
	1013+000	IZQUIERDO	M-2	1.10-1.50	28.08	5.86	6.76	ML	A-4(2)
C-38	1013+250	IZQUIERDO	M-1	0.00-0.40	11.71	NP	0.74	SP	A-3(0)

CALICATA	PROG.	LADO	DATOS		LÍMITE LÍQUIDO (%)	ÍNDICE PLÁSTICO (%)	CONT. HUMEDAD (%)	SUCS	AASHTO
			MUESTRA	PROF. (m.)					
	1013+250	IZQUIERDO	M-2	0.40-1.50	24.01	8.01	7.20	CL	A-4(1)
C-39	1013+500	IZQUIERDO	M-1	0.00-0.30	11.94	NP	0.72	SP	A-3(0)
	1013+500	IZQUIERDO	M-2	0.30-1.50	25.06	5.51	5.50	CL-ML	A-4(0)
C-40	1013+750	IZQUIERDO	M-1	0.00-1.30	11.76	NP	0.87	SP	A-3(0)
	1013+750	IZQUIERDO	M-2	1.30-1.50	25.35	7.43	4.86	SC	A-4(0)
C-41	1014+000	IZQUIERDO	M-1	0.00-1.00	27.36	9.02	5.66	CL	A-4(2)
	1014+000	IZQUIERDO	M-2	1.00-1.50	25.50	6.59	7.00	CL-ML	A-4(2)
C-42	1014+250	IZQUIERDO	M-1	0.00-0.70	13.18	NP	0.86	SP	A-3(0)
	1014+250	IZQUIERDO	M-2	0.70-0.90	13.54	NP	1.70	SW-SM	A-1-b(0)
	1014+250	IZQUIERDO	M-3	0.90-1.50	13.52	NP	5.13	SP-SM	A-3(0)
C-43	1014+500	IZQUIERDO	M-1	0.00-0.70	11.78	NP	0.84	SP	A-3(0)
	1014+500	IZQUIERDO	M-2	0.70-1.50	25.91	5.44	0.84	SC-SM	A-4(0)
C-44	1014+750	IZQUIERDO	M-1	0.00-0.30	11.78	NP	0.84	SP	A-3(0)
	1014+750	IZQUIERDO	M-2	0.30-1.50	25.74	7.06	7.04	CL	A-4(3)
C-45	1015+000	IZQUIERDO	M-1	0.00-0.80	13.02	NP	0.87	SP	A-3(0)
	1015+000	IZQUIERDO	M-2	0.80-1.50	24.04	3.33	5.76	SM	A-2-4(0)
C-46	1015+250	IZQUIERDO	M-1	0.00-1.20	12.93	NP	0.71	SP	A-3(0)
	1015+250	IZQUIERDO	M-2	1.20-1.50	21.41	3.03	5.19	SM	A-4(0)

CALICATA	PROG.	LADO	DATOS		LÍMITE LÍQUIDO (%)	ÍNDICE PLÁSTICO (%)	CONT. HUMEDAD (%)	SUCS	AASHTO
			MUESTRA	PROF. (m.)					
C-47	1015+500	IZQUIERDO	M-1	0.00-0.90	12.73	NP	0.86	SP	A-3(0)
	1015+500	IZQUIERDO	M-2	0.90-1.50	22.85	4.59	4.97	SC-SM	A-4(0)
C-48	1015+750	IZQUIERDO	M-1	0.00-0.60	11.89	NP	0.71	SP	A-3(0)
	1015+500	IZQUIERDO	M-2	0.60-0.80	20.90	1.53	4.10	SM	A-2-4(0)
	1015+750	IZQUIERDO	M-3	0.80-1.50	23.56	7.17	7.07	CL	A-4(1)
C-49	1016+000	IZQUIERDO	M-1	0.00-1.20	12.76	NP	0.73	SP	A-3(0)
	1016+000	IZQUIERDO	M-2	1.20-1.50	23.00	3.33	4.97	SM	A-2-4(0)
C-50	1016+250	IZQUIERDO	M-1	0.00-1.00	12.65	NP	0.71	SP	A-3(0)
	1016+250	IZQUIERDO	M-2	1.00-1.50	22.52	4.78	1.88	SC-SM	A-2-4(0)
C-51	1016+500	IZQUIERDO	M-1	0.00-0.90	12.12	NP	0.69	SP-SM	A-3(0)
	1016+500	IZQUIERDO	M-2	0.90-1.50	15.60	NP	1.88	SP-SM	A-3(0)
C-52	1016+750	IZQUIERDO	M-1	0.00-0.20	11.84	NP	0.85	SP-SM	A-3(0)
	1016+750	IZQUIERDO	M-2	0.20-0.70	16.15	NP	1.88	SM	A-2-4(0)
	1016+750	IZQUIERDO	M-3	0.70-1.50	17.05	NP	3.99	SM	A-2-4(0)
C-53	1017+000	IZQUIERDO	M-1	0.00-1.50	13.87	NP	0.84	SP-SM	A-3(0)
C-54	1017+250	IZQUIERDO	M-1	0.00-0.90	11.58	NP	0.84	SP-SM	A-3(0)
	1017+250	IZQUIERDO	M-2	0.90-1.50	15.70	NP	3.99	SM	A-2-4(0)
C-55	1017+500	IZQUIERDO	M-1	0.00-0.50	11.79	NP	0.71	SP-SM	A-3(0)
	1017+500	IZQUIERDO	M-2	0.50-1.50	15.64	NP	5.87	SM	A-2-4(0)
C-56	1017+750	IZQUIERDO	M-1	0.00-0.80	11.84	NP	1.88	SP-SM	A-3(0)

CALICATA	PROG.	LADO	DATOS		LÍMITE LÍQUIDO (%)	ÍNDICE PLÁSTICO (%)	CONT. HUMEDAD (%)	SUCS	AASHTO
			MUESTRA	PROF. (m.)					
	1017+750	IZQUIERDO	M-2	0.80-1.50	21.54	1.23	6.60	SM	A-2-4(0)
C-57	1018+000	IZQUIERDO	M-1	0.00-0.30	12.89	NP	0.70	SP-SM	A-3(0)
	1018+000	IZQUIERDO	M-2	0.30-0.70	24.03	5.69	4.48	SC-SM	A-4(0)
	1018+000	IZQUIERDO	M-3	0.70-1.50	15.86	NP	3.08	SM	A-2-4(0)
C-58	1018+250	IZQUIERDO	M-1	0.00-0.70	11.96	NP	0.86	SP-SM	A-3(0)
	1018+250	IZQUIERDO	M-2	0.70-1.50	16.89	NP	4.35	SM	A-2-4(0)
C-59	1018+500	IZQUIERDO	M-1	0.00-1.10	11.23	NP	0.86	SP-SM	A-3(0)
	1018+500	IZQUIERDO	M-2	1.10-1.50	24.77	NP	6.11	SM	A-4(0)
C-60	1018+750	IZQUIERDO	M-1	0.00-0.30	16.67	NP	2.46	SM	A-2-4(0)
	1018+750	IZQUIERDO	M-2	0.30-0.60	19.41	1.28	2.91	SM	A-2-4(0)
	1018+750	IZQUIERDO	M-3	0.60-1.50	12.95	NP	2.03	SP-SM	A-3(0)
C-61	1019+000	DERECHO	M-1	0.00-0.90	16.67	NP	3.10	SM	A-2-4(0)
	1019+000	DERECHO	M-2	0.90-1.50	21.80	1.55	3.10	SM	A-2-4(0)
C-62	1019+250	DERECHO	M-1	0.00-0.70	16.80	NP	2.23	SM	A-2-4(0)
	1019+250	DERECHO	M-2	0.70-1.50	16.04	NP	3.10	SM	A-2-4(0)
C-63	1019+500	DERECHO	M-1	0.00-0.50	14.67	NP	2.49	SM	A-2-4(0)
	1019+500	DERECHO	M-2	0.50-1.50	15.87	NP	4.32	SM	A-2-4(0)
C-64	1019+750	DERECHO	M-1	0.00-1.50	16.85	NP	2.66	SM	A-2-4(0)
C-65	1020+000	DERECHO	M-1	0.00-0.60	15.64	NP	2.60	SM	A-2-4(0)
	1020+000	DERECHO	M-2	0.60-1.50	23.57	2.31	7.70	SM	A-4(0)

CALICATA	PROG.	LADO	DATOS		LÍMITE LÍQUIDO (%)	ÍNDICE PLÁSTICO (%)	CONT. HUMEDAD (%)	SUCS	AASHTO
			MUESTRA	PROF. (m.)					
C-66	1020+250	DERECHO	M-1	0.00-0.80	13.92	NP	1.89	SP-SM	A-2-4(0)
	1020+250	DERECHO	M-2	0.80-1.50	22.78	1.97	0.75	SM	A-4(0)
C-67	1020+500	DERECHO	M-1	0.00-0.20	15.64	NP	2.55	SM	A-2-4(0)
	1020+500	DERECHO	M-2	0.20-1.50	24.38	3.77	7.03	SM	A-4(0)
C-68	1020+750	DERECHO	M-1	0.00-1.20	22.80	2.16	3.62	SM	A-2-4(0)
	1020+750	DERECHO	M-2	1.20-1.50	18.64	1.23	0.75	SM	A-2-4(0)
C-69	1021+000	DERECHO	M-1	0.00-0.15	17.09	NP	2.30	SM	A-2-4(0)
	1021+000	DERECHO	M-2	0.15-0.85	13.71	NP	5.64	SP-SM	A-3(0)
	1021+000	DERECHO	M-3	0.85-1.50	15.65	NP	6.31	SM	A-2-4(0)
C-70	1021+250	DERECHO	M-1	0.00-0.90	16.94	NP	2.65	SM	A-2-4(0)
	1021+250	DERECHO	M-2	0.90-1.40	15.89	NP	4.10	SM	A-2-4(0)
	1021+250	DERECHO	M-3	1.40-1.50	15.30	NP	4.50	SM	A-2-4(0)
C-71	1021+500	DERECHO	M-1	0.00-0.35	24.77	1.23	3.29	SM	A-2-4(0)
	1021+500	DERECHO	M-2	0.35-0.80	14.81	NP	3.29	SP-SM	A-3(0)
	1021+500	DERECHO	M-3	0.80-1.20	15.31	NP	1.22	SP	A-3(0)
	1021+500	DERECHO	M-4	1.20-1.50	23.34	1.03	5.16	SM	A-2-4(0)
C-72	1021+750	DERECHO	M-1	0.00-0.80	24.53	1.22	10.75	SM	A-2-4(0)
	1021+750	DERECHO	M-2	0.80-1.20	14.50	NP	10.75	SP-SM	A-3(0)
	1021+750	DERECHO	M-3	1.20-1.50	23.74	0.87	4.79	SM	A-2-4(0)
C-73	1022+000	DERECHO	M-1	0.00-0.20	26.78	3.21	3.70	SM	A-4(0)

CALICATA	PROG.	LADO	DATOS		LÍMITE LÍQUIDO (%)	ÍNDICE PLÁSTICO (%)	CONT. HUMEDAD (%)	SUCS	AASHTO
			MUESTRA	PROF. (m.)					
	1022+000	DERECHO	M-2	0.20-1.50	12.92	NP	0.51	SP	A-3(0)
C-74	1022+250	DERECHO	M-1	0.00-0.20	25.77	5.57	4.53	SC-SM	A-4(0)
	1022+250	DERECHO	M-2	0.20-1.50	12.86	NP	4.53	SP-SM	A-3(0)
C-75	1022+500	DERECHO	M-1	0.00-0.60	23.83	3.03	3.70	SM	A-2-4(0)
	1022+500	DERECHO	M-2	0.60-0.75	14.91	NP	1.53	SP-SM	A-3(0)
	1022+500	DERECHO	M-3	0.75-1.50	12.99	NP	1.62	SP-SM	A-3(0)
C-76	1022+750	DERECHO	M-1	0.00-0.20	25.04	2.46	3.83	SM	A-2-4(0)
	1022+750	DERECHO	M-2	0.20-1.50	23.99	2.62	5.29	SM	A-4(0)
C-77	1023+000	DERECHO	M-1	0.00-0.50	22.69	2.47	5.98	GM	A-1-b(0)
	1023+000	DERECHO	M-2	0.50-0.90	12.30	NP	1.82	SP-SM	A-3(0)
	1023+000	DERECHO	M-3	0.90-1.50	12.86	NP	2.51	SP-SM	A-3(0)
C-78	1023+250	DERECHO	M-1	0.00-0.20	17.82	NP	6.68	GM	A-1-b(0)
	1023+250	DERECHO	M-2	0.20-0.90	11.71	NP	1.59	SP-SM	A-3(0)
	1023+250	DERECHO	M-3	0.90-1.50	25.54	4.26	7.71	CL-ML	A-4(0)
C-79	1023+500	DERECHO	M-1	0.00-0.20	26.54	6.34	3.31	SC-SM	A-2-4(0)
	1023+500	DERECHO	M-2	0.20-0.95	22.55	1.59	1.12	SM	A-2-4(0)
	1023+500	DERECHO	M-3	0.95-1.50	25.56	4.38	5.85	SC-SM	A-4(0)
C-80	1023+750	DERECHO	M-1	0.00-0.20	22.20	1.83	2.88	SM	A-2-4(0)
	1023+750	DERECHO	M-2	0.20-0.40	18.02	NP	3.91	SM	A-2-4(0)
	1023+750	DERECHO	M-3	0.40-1.40	30.99	7.25	12.08	ML	A-4(5)

CALICATA	PROG.	LADO	DATOS		LÍMITE LÍQUIDO (%)	ÍNDICE PLÁSTICO (%)	CONT. HUMEDAD (%)	SUCS	AASHTO
			MUESTRA	PROF. (m.)					
	1023+750	DERECHO	M-4	1.40-1.50	18.74	NP	3.85	SM	A-2-4(0)
C-81	1024+000	DERECHO	M-1	0.00-0.20	22.49	2.28	3.69	SM	A-2-4(0)
	1024+000	DERECHO	M-2	0.20-0.40	15.73	NP	1.53	SP-SM	A-2-4(0)
	1024+000	DERECHO	M-3	0.40-1.50	29.23	7.71	7.72	CL	A-4(3)
C-82	1024+250	DERECHO	M-1	0.00-0.45	14.19	NP	1.12	SM	A-2-4(0)
	1024+250	DERECHO	M-2	0.45-1.50	14.73	NP	1.12	SM	A-2-4(0)
C-83	1024+500	DERECHO	M-1	0.00-0.20	28.02	5.61	5.03	SM	A-4(0)
	1024+500	DERECHO	M-2	0.20-0.60	13.21	NP	0.59	SP-SM	A-3(0)
	1024+500	DERECHO	M-3	0.60-1.30	23.98	3.40	2.29	SM	A-2-4(0)
	1024+500	DERECHO	M-4	1.30-1.50	26.86	6.77	8.58	SC-SM	A-4(0)
C-84	1024+750	DERECHO	M-1	0.00-0.70	23.64	1.40	3.49	SM	A-2-4(0)
	1024+750	DERECHO	M-2	0.70-1.05	21.32	NP	3.49	SM	A-2-4(0)
	1024+750	DERECHO	M-3	1.05-1.50	22.58	3.08	8.62	SM	A-4(0)
C-85	1025+000	DERECHO	M-1	0.00-0.40	23.90	4.28	3.78	SC-SM	A-4(0)
	1025+000	DERECHO	M-2	0.40-0.90	13.21	NP	0.99	SP-SM	A-3(0)
	1025+000	DERECHO	M-3	0.90-1.50	25.70	5.38	7.82	SC-SM	A-4(0)
C-86	1025+250	DERECHO	M-1	0.00-0.30	25.95	6.76	4.92	SC-SM	A-4(0)
	1025+250	DERECHO	M-2	0.30-0.60	12.26	NP	0.75	SP-SM	A-3(0)
	1025+250	DERECHO	M-3	0.60-1.10	12.35	NP	0.72	SP-SM	A-3(0)
	1025+250	DERECHO	M-4	1.10-1.50	22.78	2.77	4.38	SM	A-2-4(0)

CALICATA	PROG.	LADO	DATOS		LÍMITE LÍQUIDO (%)	ÍNDICE PLÁSTICO (%)	CONT. HUMEDAD (%)	SUCS	AASHTO
			MUESTRA	PROF. (m.)					
C-87	1025+500	DERECHO	M-1	0.00-0.20	27.62	5.91	3.30	SC-SM	A-4(0)
	1025+500	DERECHO	M-2	0.20-0.75	16.08	NP	1.12	SM	A-2-4(0)
	1025+500	DERECHO	M-3	0.75-0.90	14.65	NP	1.04	SW-SM	A-1-b(0)
	1025+500	DERECHO	M-4	0.90-1.50	18.79	NP	1.89	SM	A-2-4(0)
C-88	1025+750	DERECHO	M-1	0.00-0.70	16.98	NP	0.93	SM	A-2-4(0)
	1025+750	DERECHO	M-2	0.70-1.50	26.05	3.54	10.06	ML	A-4(0)
C-89	1026+000	DERECHO	M-1	0.00-0.20	15.77	NP	2.80	SM	A-2-4(0)
	1026+000	DERECHO	M-2	0.20-0.60	15.77	NP	3.98	SM	A-2-4(0)
	1026+000	DERECHO	M-3	0.60-1.50	30.09	8.68	8.68	CL	A-4(4)
C-90	1026+250	DERECHO	M-1	0.00-0.80	12.29	NP	1.34	SP	A-3(0)
	1026+250	DERECHO	M-2	0.80-1.00	11.71	NP	2.36	SP-SM	A-3(0)
	1026+250	DERECHO	M-3	1.00-1.50	22.39	2.60	7.26	SM	A-2-4(0)
C-91	1026+500	DERECHO	M-1	0.00-0.70	12.10	NP	1.15	SP	A-3(0)
	1026+500	DERECHO	M-2	0.70-1.50	15.87	NP	8.57	SM	A-2-4(0)
C-92	1026+750	DERECHO	M-1	0.00-1.50	11.90	NP	2.90	SP-SM	A-3(0)
C-93	1027+000	DERECHO	M-1	0.00-0.40	13.30	NP	1.73	SP-SM	A-3(0)
	1027+000	DERECHO	M-2	0.40-1.00	27.38	3.42	6.80	SM	A-4(0)
	1027+000	DERECHO	M-3	1.00-1.50	23.29	2.07	6.84	SM	A-2-4(0)
C-94	1027+250	DERECHO	M-1	0.00-1.10	13.02	NP	7.55	SP-SM	A-1-b(0)
	1027+250	DERECHO	M-2	1.10-1.50	11.84	NP	1.68	SP-SM	A-3(0)

CALICATA	PROG.	LADO	DATOS		LÍMITE LÍQUIDO (%)	ÍNDICE PLÁSTICO (%)	CONT. HUMEDAD (%)	SUCS	AASHTO
			MUESTRA	PROF. (m.)					
C-95	1027+500	DERECHO	M-1	0.00-1.50	11.86	NP	2.65	SP-SM	A-3(0)
C-96	1027+750	DERECHO	M-1	0.00-0.70	11.94	NP	2.65	SP-SM	A-3(0)
	1027+750	DERECHO	M-2	0.70-1.50	11.37	NP	5.18	SP-SM	A-3(0)
C-97	1028+000	DERECHO	M-1	0.00-1.50	14.64	NP	5.79	SM	A-2-4(0)
C-98	1028+250	DERECHO	M-1	0.00-0.50	15.81	NP	6.42	SM	A-2-4(0)
	1028+250	DERECHO	M-2	0.50-1.50	13.66	NP	9.09	GP-GM	A-1-a(0)
C-99	1028+500	DERECHO	M-1	0.00-0.60	11.80	NP	2.82	SP-SM	A-3(0)
	1028+500	DERECHO	M-2	0.60-1.50	15.01	NP	6.25	GP-GM	A-1-a(0)
C-100	1028+750	DERECHO	M-1	0.00-0.30	11.63	NP	1.16	SP-SM	A-2-4(0)
	1028+750	DERECHO	M-2	0.30-0.75	11.89	NP	1.01	SP-SM	A-3(0)
	1028+750	DERECHO	M-3	0.75-1.50	11.41	NP	0.81	SP	A-3(0)
C-101	1029+000	DERECHO	M-1	0.00-1.50	13.87	NP	6.21	GP-GM	A-1-a(0)
C-102	1029+250	DERECHO	M-1	0.00-1.50	13.23	NP	11.20	SM	A-2-4(0)
C-103	1029+500	DERECHO	M-1	0.00-1.50	11.72	NP	7.94	SP-SM	A-1-b(0)
C-104	1029+750	DERECHO	M-1	0.00-0.15	13.81	NP	8.96	SM	A-2-4(0)
	1029+750	DERECHO	M-2	0.15-0.50	10.68	NP	4.13	SP-SM	A-3(0)
	1029+750	DERECHO	M-3	0.50-1.50	26.30	4.41	4.12	SM	A-2-4(0)
C-105	1030+000	DERECHO	M-1	0.00-0.40	16.21	NP	2.63	SM	A-2-4(0)

CALICATA	PROG.	LADO	DATOS		LÍMITE LÍQUIDO (%)	ÍNDICE PLÁSTICO (%)	CONT. HUMEDAD (%)	SUCS	AASHTO
			MUESTRA	PROF. (m.)					
	1030+000	DERECHO	M-2	0.40-1.50	11.80	NP	0.81	SP	A-3(0)
C-106	1030+250	DERECHO	M-1	0.40-1.50	11.88	NP	0.98	SP	A-3(0)
C-107	1030+500	DERECHO	M-1	1.10-1.50	15.74	NP	8.11	GP-GM	A-1-a(0)
C-108	1030+750	DERECHO	M-1	0.90-1.10	11.79	NP	3.27	SP-SM	A-3(0)
	1030+750	DERECHO	M-2	1.10-1.50	15.67	NP	9.47	GM	A-1-a(0)
C-109	1031+000	DERECHO	M-1	0.00-0.25	14.14	NP	1.77	GW	A-1-b(0)
	1031+000	DERECHO	M-2	0.25-1.00	14.07	NP	1.72	SM	A-2-4(0)
	1031+000	DERECHO	M-3	1.00-1.50	11.98	NP	1.14	SP-SM	A-3(0)
C-110	1031+250	DERECHO	M-1	0.00-0.15	26.23	3.36	2.08	SP-SM	A-2-4(0)
	1031+250	DERECHO	M-2	0.15-0.55	11.89	NP	0.93	SP	A-3(0)
	1031+250	DERECHO	M-3	0.55-1.50	15.25	NP	6.20	GM	A-1-b(0)
C-111	1031+500	DERECHO	M-1	0.00-0.30	11.78	NP	3.21	SP-SM	A-3(0)
	1031+500	DERECHO	M-2	0.30-0.50	15.52	NP	1.05	SW	A-1-b(0)
	1031+500	DERECHO	M-3	0.50-1.50	11.67	NP	5.33	SP-SM	A-3(0)
C-112	1031+750	DERECHO	M-1	0.00-0.60	11.73	NP	3.37	SP-SM	A-3(0)
	1031+750	DERECHO	M-2	0.60-1.20	11.66	NP	5.70	SP-SM	A-3(0)
	1031+750	DERECHO	M-3	1.20-1.50	27.76	5.55	8.16	SM	A-4(0)
C-113	1032+000	DERECHO	M-1	0.00-0.30	26.95	4.97	6.85	GM	A-1-b(0)
	1032+000	DERECHO	M-2	0.30-0.80	12.00	NP	1.13	SP-SM	A-3(0)
	1032+000	DERECHO	M-3	0.80-1.20	12.83	NP	4.60	SM	A-2-4(0)

CALICATA	PROG.	LADO	DATOS		LÍMITE LÍQUIDO (%)	ÍNDICE PLÁSTICO (%)	CONT. HUMEDAD (%)	SUCS	AASHTO
			MUESTRA	PROF. (m.)					
	1032+000	DERECHO	M-4	1.20-1.50	16.51	NP	6.08	SM	A-2-4(0)

Anexo C

Propiedades mecánicas de los suelos

CALIC.	PROG.	DATOS		LÍMITE LÍQUIDO (%)	ÍNDICE PLÁSTICO (%)	CONT. HUMEDAD (%)	SUCS	AASHTO	PROCTOR		CBR (2.5 mm.)		CBR (5.0 mm.)	
		MUEST.	PROF. (m.)						MDS (gr/cm3)	OCH (%)	95%	100%	95%	100%
C-2	1004+250	M-1	0.00-1.50	9.92	NP	0.51	SP	A-3(0)	1.65	10.75	7.82	9.00	10.32	11.71
C-7	1005+420	M-1	0.00-1.50	16.84	NP	5.24	SP-SM	A-2-4(0)	1.84	11.98	11.24	16.00	13.34	18.97
C-9	1006+000	M-1	0.00-1.50	13.02	NP	0.90	SP-SM	A-3(0)	1.66	11.88	7.29	8.37	9.85	11.22
C-13	1007+000	M-1	0.00-1.50	34.17	5.27	5.14	SM	A-4(0)	1.71	14.65	6.48	7.65	9.02	10.61
C-17	1008+000	M-1	0.00-1.50	32.30	5.92	6.00	SM	A-4(1)	1.80	14.00	6.60	8.80	9.92	13.80
C-25	1010+000	M-2	0.50-1.50	23.12	0.99	7.72	SM	A-2-4(0)	1.84	15.25	6.32	10.97	10.02	14.25
C-28	1010+750	M-2	0.25-0.95	14.27	NP	5.03	SP-SM	A-3(0)	1.91	14.66	3.42	4.43	4.97	5.83
C-33	1012+000	M-2	0.15-1.50	22.34	1.81	3.99	SM	A-2-4(0)	1.83	13.11	6.18	7.51	7.21	8.40
C-41	1014+000	M-2	1.00-1.50	25.50	6.59	7.00	CL-ML	A-4(2)	1.72	16.58	2.63	4.09	4.49	5.73
C-49	1016+000	M-2	1.20-1.50	23.00	3.33	4.97	SM	A-2-4(0)	1.85	15.55	4.63	5.89	6.22	7.34
C-57	1018+000	M-3	0.70-	15.86	NP	3.08	SM	A-2-4(0)	1.75	15.35	9.73	13.27	11.76	16.51

CALIC.	PROG.	DATOS		LÍMITE LÍQUIDO (%)	ÍNDICE PLÁSTICO (%)	CONT. HUMEDAD (%)	SUCS	AASHTO	PROCTOR		CBR (2.5 mm.)		CBR (5.0 mm.)	
		MUEST.	PROF. (m.)						MDS (gr/cm3)	OCH (%)	95%	100%	95%	100%
			1.50											
C-65	1020+000	M-2	0.60-1.50	23.57	2.31	7.70	SM	A-4(0)	1.85	14.64	3.28	4.22	4.79	5.54
C-69	1021+000	M-3	0.85-1.50	15.65	NP	6.31	SM	A-2-4(0)	1.79	15.07	9.11	13.01	10.76	15.63
C-73	1022+000	M-2	0.20-1.50	12.92	NP	0.51	SP	A-3(0)	1.70	10.17	6.99	8.21	8.83	9.90
C-81	1024+000	M-3	0.40-1.50	29.23	7.71	7.72	CL	A-4(3)	1.89	13.39	2.75	4.23	4.46	5.90
C-89	1026+000	M-3	0.60-1.50	30.09	8.68	8.68	CL	A-4(4)	1.90	13.66	2.97	4.22	4.70	5.87
C-97	1028+000	M-1	0.00-1.50	14.64	NP	5.79	SM	A-2-4(0)	1.87	11.89	2.97	4.30	4.67	6.01
C-105	1030+000	M-2	0.40-1.50	11.80	NP	0.81	SP	A-3(0)	1.69	13.71	7.17	8.31	8.82	9.86
C-113	1032+000	M-2	0.30-0.80	12.00	NP	1.13	SP-SM	A-3(0)	1.92	12.93	3.77	5.00	5.16	6.36

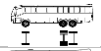
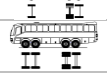
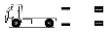
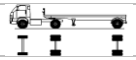
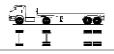
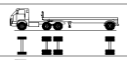
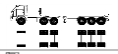
Anexo D

Cálculo del ESAL para 10 años

GMI S.A.
Ingenieros Consultores

AUTOPISTA DEL SOL

Diseño de Pavimento Flexible TRAMO CONTINUO PIURA - SULLANA

Tipo de vehículo			Cargas por ejes en tn: eje delantero	Cargas por ejes en tn: ejes posteriores: simple	Cargas por ejes en tn: ejes posteriores: tandem	Cargas por ejes en tn: ejes posteriores: tridem	IMD 2009	IMD 2011	r (%)	G_t	β_x: eje delantero	β_x: ejes posteriores: simple	β_x: ejes posteriores: tandem	β_x: ejes posteriores: tridem	β_{18}	FD: eje delantero	FD: ejes posteriores: simple	FD: ejes posteriores: tandem	FD: ejes posteriores: tridem	FD: total	ESAL 10 años (2011)
Omnibus 2 ejes	B2		7	11			525	582	2.9%	-0.13	0.51	0.84	0.00	0.00	0.58	0.53	3.31	0.00	0.00	3.84	3.73E+06
Omnibus+2 ejes	B3-1		7		16		159	176	2.9%	-0.13	0.51	0.00	0.57	0.00	0.58	0.53	0.00	1.27	0.00	1.80	5.28E+05
Omnibus+3 ejes	B4-1		7		16		27	30	2.9%	-0.13	0.51	0.00	0.57	0.00	0.58	1.07	0.00	1.27	0.00	2.33	1.16E+05
Camión 2 ejes	C2		7	11			463	523	3.9%	-0.13	0.51	0.84	0.00	0.00	0.58	0.53	3.31	0.00	0.00	3.84	3.51E+06
Camion 3 ejes	C3		7		18		153	173	3.9%	-0.13	0.51	0.00	0.64	0.00	0.58	0.53	0.00	2.04	0.00	2.57	7.74E+05
camion 4 ejes	C4		7			23	44	50	4.0%	0.19	0.51	0.00	0.00	0.55	0.58	0.45	0.00	0.00	1.19	1.64	1.43E+05
Acoplados 3 ejes	T2S1		7	11			0	0	4.0%	-0.13	0.51	0.84	0.00	0.00	0.58	0.53	6.62	0.00	0.00	7.15	0.00E+00
Acoplados 4 ejes	T2S2		7	11	18		12	14	4.0%	-0.13	0.51	0.84	0.64	0.00	0.58	0.53	3.31	2.04	0.00	5.88	1.40E+05
Acoplados 5 ejes	T2S3		7	11		25	9	10	4.0%	-0.13	0.51	0.84	0.00	0.59	0.58	0.53	3.31	0.00	1.80	5.64	1.01E+05
Acoplado 5 ejes	T3S1		7	11	18		0	0	4.0%	-0.13	0.51	0.84	0.64	0.00	0.58	0.53	3.31	2.04	0.00	5.88	0.00E+00
Acoplado 5 ejes	T3S2		7		18		62	70	4.0%	-0.13	0.51	0.00	0.64	0.00	0.58	0.53	0.00	4.07	0.00	4.60	5.66E+05
Acoplado 6 ejes	T3S3		7		18	25	264	299	4.0%	-0.13	0.51	0.00	0.64	0.59	0.58	0.53	0.00	2.04	1.80	4.37	2.29E+06
Trayler 4 ejes	C2R2		7	11			2	2	4.0%	-0.13	0.51	0.84	0.00	0.00	0.58	0.53	9.93	0.00	0.00	10.46	4.15E+04
Trayler 4 ejes	C2R3		7	11	18		0	0	4.0%	-0.13	0.51	0.84	0.64	0.00	0.58	0.53	6.62	2.04	0.00	9.19	0.00E+00
Trayler 5 ejes	3T2 / C3R2		7	11	18		23	26	4.0%	-0.13	0.51	0.84	0.64	0.00	0.58	0.53	6.62	2.04	0.00	9.19	4.19E+05
Trayler 6 ejes	3T3 / C3R3		7	11	18		20	23	4.0%	-0.13	0.51	0.84	0.64	0.00	0.58	0.53	3.31	4.07	0.00	7.91	3.14E+05
Trayler 7 ejes	C3R4		7		18		0	0	4.0%	-0.13	0.51	0.00	0.64	0.00	0.58	0.53	0.00	2.04	0.00	2.57	0.00E+00
																				TOTAL	1.27E+07

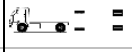
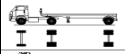
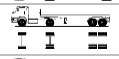
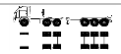
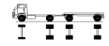
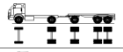
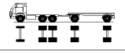
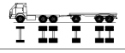
Anexo E

Cálculo del ESAL para 23 años

GMI S.A. Ingenieros Consultores

AUTOPISTA DEL SOL

Diseño de Pavimento Flexible Piura - Sullana , Tramo Continuo

Tipo de vehículo			Cargas por ejes en tn				IMD	IMD	r (%)	G_t	β_x				β_{18}	FD					ESAL 23
			eje delantero	ejes posteriores							eje delantero	ejes posteriores				eje delantero	ejes posteriores			total	
				simple	tandem	tridem	2009	2011				simple	tandem	tridem			simple	tandem	tridem		años
Omnibus 2 ejes	B2		7	11			525	584	2.9%	-0.13	0.47	0.68	0.00	0.00	0.51	0.53	3.38	0.00	0.00	3.90	1.07E+07
Omnibus+2 ejes	B3-1		7		16		159	177	2.9%	-0.13	0.47	0.00	0.51	0.00	0.51	0.53	0.00	1.26	0.00	1.79	1.48E+06
Omnibus+3 ejes	B4-1		7		16		27	30	2.9%	-0.13	0.47	0.00	0.51	0.00	0.51	1.05	0.00	1.26	0.00	2.31	3.25E+05
Camión 2 ejes	C2		7	11			463	525	3.9%	-0.13	0.47	0.68	0.00	0.00	0.51	0.53	3.38	0.00	0.00	3.90	1.08E+07
Camion 3 ejes	C3		7		18		153	173	3.9%	-0.13	0.47	0.00	0.55	0.00	0.51	0.53	0.00	2.05	0.00	2.58	2.36E+06
camion 4 ejes	C4		7			23	44	50	3.9%	0.19	0.47	0.00	0.00	0.49	0.51	0.46	0.00	0.00	1.20	1.66	4.38E+05
Acoplados 3 ejes	T2S1		7	11			0	0	4.0%	-0.13	0.47	0.68	0.00	0.00	0.51	0.53	6.76	0.00	0.00	7.28	0.00E+00
Acoplados 4 ejes	T2S2		7	11	18		12	14	4.0%	-0.13	0.47	0.68	0.55	0.00	0.51	0.53	3.38	2.05	0.00	5.96	4.34E+05
Acoplados 5 ejes	T2S3		7	11		25	9	10	4.0%	-0.13	0.47	0.68	0.00	0.52	0.51	0.53	3.38	0.00	1.80	5.71	2.97E+05
Acoplado 5 ejes	T3S1		7	11	18			0	4.0%	-0.13	0.47	0.68	0.55	0.00	0.51	0.53	3.38	2.05	0.00	5.96	0.00E+00
Acoplado 5 ejes	T3S2		7		18		62	67	4.0%	-0.13	0.47	0.00	0.55	0.00	0.51	0.53	0.00	4.11	0.00	4.63	1.66E+06
Acoplado 6 ejes	T3S3		7		18	25	264	300	4.0%	-0.13	0.47	0.00	0.55	0.52	0.51	0.53	0.00	2.05	1.80	4.38	7.02E+06
Trayler 4 ejes	C2R2		7	11			2	2	4.0%	-0.13	0.47	0.68	0.00	0.00	0.51	0.53	10.13	0.00	0.00	10.66	1.29E+05
Trayler 4 ejes	C2R3		7	11	18			0	4.0%	-0.13	0.47	0.68	0.55	0.00	0.51	0.53	6.76	2.05	0.00	9.33	0.00E+00
Trayler 5 ejes	3T2 / C3R2		7	11	18		23	26	4.0%	-0.13	0.47	0.68	0.55	0.00	0.51	0.53	6.76	2.05	0.00	9.33	1.30E+06
Trayler 6 ejes	3T3 / C3R3		7	11	18		20	23	4.0%	-0.13	0.47	0.68	0.55	0.00	0.51	0.53	3.38	4.11	0.00	8.01	9.73E+05
Trayler 7 ejes	T3Se2 Se2		7	11	18		0	0	4.0%	-0.13	0.47	0.68	0.55	0.00	0.51	0.53	13.51	2.05	0.00	16.09	0.00E+00
																				TOTAL	3.79E+07