Donde:

n: Cantidad de solución de HCl consumida hasta pH igual 7, ml;

N1: Normalidad de la solución ácida.

2. La materia inerte contenida en la cal, expresada como carbonatos, se calcula con la fórmula

$$CaCO3\% = \frac{0{,}050\ [(m-n)\ N1-N2] \times 100}{3}$$

Donde

n: Cantidad de solución de HCl consumida hasta pH igual a 7, ml;

m: Cantidad total acumulada de solución de HCl consumida hasta alcanzar el pH igual a 2, ml;

l: Cantidad de solución de Na(OH) consumida para el retorno a pH igual a 7, ml;

N_1: Normalidad de la solución ácida;

N_2: Normalidad de la solución alcalina.

REQUERIMIENTO DE FINEZA:

Máximos permisibles:

Retenido tamiz Nº 50 = 0,5%

Retenido tamiz Nº 80 = 5,0%

Retenido tamiz Nº 200 = 15,0%

INFORME

Se debe informar lo siguiente:

1. El contenido de cal útil vial, en %, expresado como hidróxido de calcio.
2. El contenido de materia inerte, en %, expresado como carbonato de calcio.

CONSORCIO INCOPAR
INGSER
Gregorio Aguilera
Ingeniero Residente

Consorcio Chaco Central
Ing. Alvaro Godoy
Superintendente

3.1.8 ALCANTARILLA CELULAR SIMPLE DE HºAº 2,00 X 1,00 m (ACS 2,00 X 1,00 m)

3.1.9 ALCANTARILLA CELULAR DOBLE DE HºAº 2,00 X 1,00 m (ACD 2,00 X 1,00 m)

3.1.10 ALCANTARILLA CELULAR DOBLE DE HºAº 2,00 X 1,00 m (ACD 2,00 X 1,00 m)

3.1.11 ALCANTARILLA CELULAR QUINTUPLE DE HºAº 2,00 X 2,00 m (ACD 2,00 X 2,00 m)

Rige lo establecido en las EETT 3.1 ALCANTARILLA CELULAR DE HORMIGÓN ARMADO.

Forma de Pago

La unidad de medida será el metro lineal, por lo que las cantidades determinadas conforme al método de medición precedentemente indicado, serán pagadas a los precios unitarios contractuales correspondientes a los siguientes Ítems de Pago:

- Alcantarilla Celular Simple de HºAº 2,00 x 1,00 m (ACS 2,00 x 1,00 m)
- Alcantarilla Celular Doble de HºAº 2,00 x 1,00 m (ACD 2,00 x 1,00 m)
- Alcantarilla Celular Doble de HºAº 2,00 x 1,00 m (ACD 2,00 x 1,00 m)
- Alcantarilla Celular Quintuple de HºAº 2,00 x 2,00 m (ACD 2,00 x 2,00 m)

CONSORCIO INCOPAR
INGSER
Gregorio Aguilera
Ingeniero Residente

Consorcio Chaco Central
Ing. Alvaro Godoy
Superintendente

5.3.1 ADECUACIÓN DE ACOMETIDAS BT

5.3.2 ADECUACIÓN DE ACOMETIDAS MT

Descripción

Este Ítem abarcará los trabajos necesarios para adecuar las conexiones eléctricas domiciliarias que representan un obstáculo para el desarrollo de la obra.

Materiales

No se contempla reaprovechamiento de los elementos existentes de las conexiones, a excepción de los indicados por el ente encargado de la distribución de energía eléctrica.

Procedimiento Constructivo

Para la desconexión, traslado, reposición de partes y reconexión de las columnas, el Contratista deberá obtener por su cuenta las autorizaciones pertinentes del respectivo ente proveedor.

Para dar por completado el ítem, previo a la aprobación de la Fiscalización, el Contratista deberá presentar la aprobación pertinente de los trabajos, por parte del respectivo ente encargado de la distribución de energía eléctrica.

Método de Medición

La unidad de medida para la medición de adecuación de acometidas será la unidad de acometida (un), en un todo de acuerdo a estas especificaciones.

No recibirán pago por separado todos los trámites necesarios para la obtención de los sistemas de trabajo, y la aprobación final de los mismos por parte del ente ente encargado de la distribución de energía eléctrica.

Forma de Pago

Las cantidades determinadas conforme al Método de Medición descripto más arriba, serán pagadas al precio unitario correspondiente a los Ítems "5.3.1 Adecuación de acometidas BT" y "5.3.2 Adecuación de acometidas MT"

Este precio será compensación total por la ejecución de los trabajos arriba descriptos, por suministrar todo el equipo necesario, mano de obra, materiales, transporte, servicios, supervisión y los imprevistos para dar por completado el Ítem. También será compensación total por los servicios de conseguir las especificaciones, supervisión, y la aprobación final de los trabajos por parte del ente encargado de la distribución de energía eléctrica.

No se hará ningún pago adicional en concepto de repetición de las operaciones o removidos adicionales de los deshechos provenientes de los trabajos abarcados por este Ítem.

CONSORCIO INCOPAR
INGSER
Gregorio Aguilera
Ingeniero Residente

Consorcio Chaco Central
Ing. Alvaro Godoy
Superintendente

6.9 OBRAS DE ENCAUZAMIENTO DE PASAFAUNAS

Se adopta lo establecido en la descripción del ítem 6.5 "Pasafaunas (Incluye Obras de Encausamiento y Ejecución de Alcantarilla Celular Triple de 2x3)", a excepción de que este ítem no incluye la ejecución de la alcantarilla celular triple de 2x3. Las alcantarillas celulares para paso de fauna se medirán y pagarán al precio unitario de otros ítems de Alcantarillas Celulares, según establecido por la Fiscalización en base a las dimensiones aprobadas.

Método de Medición

La unidad de medida para la construcción de las obras de encauzamiento para el paso de la fauna descriptas anteriormente se expresará en Unidades (un), en un todo de acuerdo a estas especificaciones.

Forma de Pago

Las cantidades determinadas conforme al Método de Medición descripto más arriba, serán pagadas al precio unitario contractual correspondiente al Ítem "Obras de encauzamiento de Pasafauna"

Este precio será compensación total por la ejecución de los trabajos arriba descriptos, por suministrar todo el equipo necesario, mano de obra, materiales, transporte, servicios, supervisión y los imprevistos para dar por completado el Ítem.

CONSORCIO INCOPAR
INGSER
Gregorio Aguilera
Ingeniero Residente

Consorcio Chaco Central
Ing. Alvaro Godoy
Superintendente

Convenio Modificatorio de Obra N°1

OBRAS VIALES DE HABILITACION Y MANTENIMIENTO DE LA RUTA CNEL. FRANCISCO BRIZUELA Y ACCESOS CORREDORES AGROINDUSTRIALES – "RUTA DE LA LECHE" (REGION OCCIDENTAL).
LOTE 2: (71,47 Km)

ANEXO 6

Informes Técnicos

Nombre Informe	Fecha Informe
DISEÑO DE PAVIMENTO Traza Troncal: Cruce Pioneros - Desvío Campo Aceval	11/10/2022
Referencias del Proyecto Obra: Ruta de la Leche - Lote 2	**Número de Contrato**
Autor (es) Ing. MSc. Nelson Figueredo Kamm Especialista en Pavimentos	**Empresa** INCOVIAL S.A.
Contraparte Técnica Ing. Oscar Obelar Ing. Alvaro Godoy	**Empresa** Consorcio Chaco Central

Resumen

Informe de Diseño Estructural de paquete estructural de pavimento para la traza troncal del tramo Cruce Pioneros – Desvío Campo Aceval y Accesos.
Se incluye el análisis del diseño de pavimento propuesto por la contratista, análisis por métodos mecanísticos y verificación de la vida útil de las capas del pavimento.

CONSORCIO INCOPAR
INCSER
Gregorio Aguilera
Ingeniero Residente

Consorcio Chaco Central
Ing. Alvaro Godoy
Superintendente

INDICE

1 Antecedentes 3
2 Paquete Licitado 3
3 Paquete Propuesto 4
3.1 Comparación Estructural 5
3.2 Justificación Técnica del Reemplazo del Suelo Cemento 6
3.3 Justificación de la Utilización del Método Mecanístico 8
3.4 Recomendaciones con respecto a la verificación por capa 9
4 Suelos de la Traza 9
4.1 Consideraciones sobre los Suelos con Sulfatos 9
4.2 Proceso constructivo del suelo cal 10
5 Tránsito de Diseño 10
6 Verificación Estructural del Pavimento Asfáltico por el Método AASHTO 11
6.1 Confiabilidad y Desviación estándar 12
6.2 Serviciabilidad 12
6.3 Módulo Resiliente de la Subrasante (MR) 12
6.4 Módulo Resiliente de la subrasante con capa de mejoramiento 13
6.5 Coeficientes estructurales de las capas 14
6.6 Coeficiente de Drenaje (m) 15
6.7 Calculo del Número Estructural (SN) 16
6.8 Vida útil en Ejes Equivalentes 16
7 Verificación del diseño estructural por el Método Mecanístico 20
7.1 Módulo Elástico de las capas asfálticas 20
7.2 Módulo Elástico de las Capas Granulares 21
7.3 Confiabilidad 22
7.4 Ecuaciones de Fatiga – Subrasante 22
7.5 Ecuaciones de Fatiga – Capas Asfálticas 23
7.6 Ecuaciones de Fatiga – Capas Granulares 23
7.7 Fuente 24
7.8 Módulo de la Subrasante 24
7.9 Definición de las Cargas 24
7.10 Verificación de la vida útil del pavimento 25

CONSORCIO INCOPAR
INGSER
Gregorio Aguilera
Ingeniero Residente

Consorcio Chaco Cent.
Ing. Alvaro Godoy
Superintendente

1 Antecedentes

El presente Informe Técnico fue elaborado a solicitud del Consorcio Chaco Central en el marco del contrato para la ejecución de la Obra Ruta de la Leche - Lote 2, tramo Cruce Pioneros - Desvio Campo Aceval.

Para la elaboración del Diseño de Pavimentos se ha utilizado como base el Diseño del Pavimento Licitado, el tránsito del Diseño Final de Ingeniería. Los datos geotécnicos actualizados fueron proveídos por la contratista.

El dimensionamiento de los paquetes estructurales se realizó siguiendo las recomendaciones de establecidas en el "AASHTO GUIDE FOR DESIGN OF PAVEMENT STRUCTURES ", para pavimentos flexibles y rígidos. Asimismo se realizó la verificación de los espesores por métodos mecanísticos.

2 Paquete Licitado

El paquete licitado para el tramo troncal está compuesto de las siguientes capas:

1. CARPETA DE CONCRETO ASFÁLTICO CON POLÍMEROS ESP.: 4 cm
2a. CAPA DE CONCRETO ASFÁLTICO CONVENCIONAL (CALZADA) ESP.: 4 cm
2b. CAPA DE CONCRETO ASFÁLTICO CONVENCIONAL (BANQUINA) ESP.: Variable, segùn detalle
3. BASE GRANULAR (CBR ≥ 100 %) ESP.: 15 cm
4. SUB BASE DE SUELO CEMENTO(FCK ≥ 20KG/CM2), ESP.: 30 cm, A EJECUTAR EN 2 CAPAS DE 15 CM.
5. SUBRASANTE MEJORADA (CBR ≥ 10%), ESP.:30 cm

Traza Troncal: Cruce Pioneros - Desvío Campo Aceval			
Paquete Licitado			
Capa	**Descripción**	**Espesor (cm)**	**Características**
1	Carpeta Asfáltica con Polímeros	4	
2	Capa Intermedia de Concreto Asfáltico	4	
3	Base Granular Estabilizada 90/10	15	CBR 100 %
4	Sub Base Suelo Cemento	30	UCS 2 Mpa
5	Subrasante mejorada	30	CBR 10 %
6	Terraplén		CBR 3 %

Consorcio Chaco Central
Ing. Alvaro Godoy
Superintendente

CONSORCIO INCOPAR
INGSER
Gregorio Aguilera
Ingeniero Residente

El paquete licitado consta de una subrasante de suelo seleccionado de 30 cm de espesor con CBR igual o mayor a 10%, una sub base de suelo cemento de 30 cm de espesor con resistencia de 20 Kg/cm2 a ser ejecutada en dos capas. Una base granular estabilizada con CBR 100% con 15 cm de espesor. Dos capas asfálticas, carpeta de concreto asfáltico con polímero de 4 cm de espesor y capa intermedia de concreto asfáltico convencional de 4 cm de espesor.

3 Paquete Propuesto

Se propone una capa de subrasante estabilizada con cal al 4% de manera a disminuir la plasticidad que caracteriza los suelos del Chaco, minimizar los efectos nocivos de los suelos dispersivos y mejorar la capacidad soporte. Se recomienda un CBR mayor a 20%.

Los valores soporte CBR de los suelos a lo largo de la traza dieron valores con alta variabilidad, por lo que una subrasante estabilizada con cal estaría proporcionando una subrasante con valor soporte mas uniforme y confiable para las capas del pavimento.

Por otro lado, se debe considerar que los yacimientos de suelos A-2-4 en la zona son NP (No Plástico), sin cohesión y permeables, esto podría generar dificultades en el proceso constructivo en caso de lluvias, pudiendo el agua infiltrarse hasta el núcleo de los terraplenes.

La capa de suelo cal como subrasante proporciona una capa mas impermeable y estable ante las precipitaciones evitando la infiltración hacia las capas inferiores del terraplén.

En el pavimento licitado se presenta una capa de sub base de suelo cemento con espesor de 30 cm, se propone reemplazar esta capa por una sub base granular.

Para los tramos 2, 3 y 4 se propone aumentar el espesor de las capas de concreto asfáltico convencional de manera a compensar el déficit de vida útil de las capas asfálticas en la verificación por capa.

A continuación el detalle de los paquetes propuestos.

Cruce Pioneros - Desvío Campo Aceval – Tramo 2			
Opción 2 – Subrasante Mejorada con Cal y Bases Granulares			
Capa	**Descripción**	**Espesor (cm)**	**Características**
1	Carpeta Asfáltica con Polímeros	4	
2	Capa Intermedia de Concreto Asfáltico	6	
3	Base Granular Estabilizada 90/10	17	CBR 100 %
4	Sub Base Granular 70/30	17	CBR 80 %
5	Subrasante mejorada con cal	30	CBR 20 %
6	Terraplén		CBR 3 %

Consorcio Chaco Centr
Ing. Alvaro Godoy
Superintendente

CONSORCIO INCOPAR
INGSER
Gregorio Aguilera
Ingeniero Residente

Cruce Pioneros - Desvío Campo Aceval – Tramo 3			
Opción 2 – Subrasante Mejorada con Cal y Bases Granulares			
Capa	**Descripción**	**Espesor (cm)**	**Características**
1	Carpeta Asfáltica con Polímeros	4	
2	Capa Intermedia de Concreto Asfáltico	5	
3	Base Granular Estabilizada 90/10	15	CBR 100 %
4	Sub Base Granular 70/30	15	CBR 80 %
5	Subrasante mejorada con cal	30	CBR 20 %
6	Terraplén		CBR 3 %

Cruce Pioneros - Desvío Campo Aceval – Tramo 4			
Opción 2 – Subrasante Mejorada con Cal y Bases Granulares			
Capa	**Descripción**	**Espesor (cm)**	**Características**
1	Carpeta Asfáltica con Polímeros	4	
2	Capa Intermedia de Concreto Asfáltico	5	
3	Base Granular Estabilizada 90/10	15	CBR 100 %
4	Sub Base Granular 70/30	15	CBR 80 %
5	Subrasante mejorada con cal	30	CBR 20 %
6	Terraplén		CBR 3 %

3.1 Comparación Estructural

- En el siguiente cuadro se muestran los números estructurales de las diferentes alternativas, según la metodología AASHTO 93.

Estimación de la Vida Util - AASHTO 93		
Alternativas	Carpeta	Subrasante
Licitado	307.000	3.690.000
Alternativa Propuesta T2	1.010.000	4.105.000
Alternativa Propuesta T3	568.000	2.422.000
Alternativa Propuesta T4	568.000	2.422.000

- En el siguiente cuadro se exponen los resultados de la verificación de la vida útil por métodos mecanísticos, considerando la falla de la capa asfáltica por fisuración por fatiga y la falla de la subrasante por ahuellamiento.

Estimación de la Vida Util - Mecanístico		
Alternativas	Carpeta	Subrasante
Licitado	1.277.322	6.316.999
Alternativa Propuesta T2	2.764.554	11.101.260
Alternativa Propuesta T3	1.491.843	1.948.665
Alternativa Propuesta T4	1.491.843	1.948.665

Observación: *La Alternativas Propuestas para los tramos 2, 3 y 4 aumentan el espesor de las capas de concreto asfáltico convencional, de manera a aumentar la vida útil de la carpeta a 10 años antes de requerir un refuerzo.*

3.2 Justificación Técnica del Reemplazo del Suelo Cemento

La propuesta de reemplazar la capa de sub base de suelo cemento por una sub base granular estabilizada es debido a la mayor estabilidad en el tiempo de la capa granular, desde el punto de vista de la capacidad soporte.

Desde el punto de vista de la metodología AASHTO 93, el suelo cemento tiene un número estructural igual o mayor al de una capa granular; sin embargo, investigaciones posteriores indican que el comportamiento de una capa de suelo cemento no es estable en el tiempo, disminuyendo gradualmente su módulo por efecto de la fisuración.

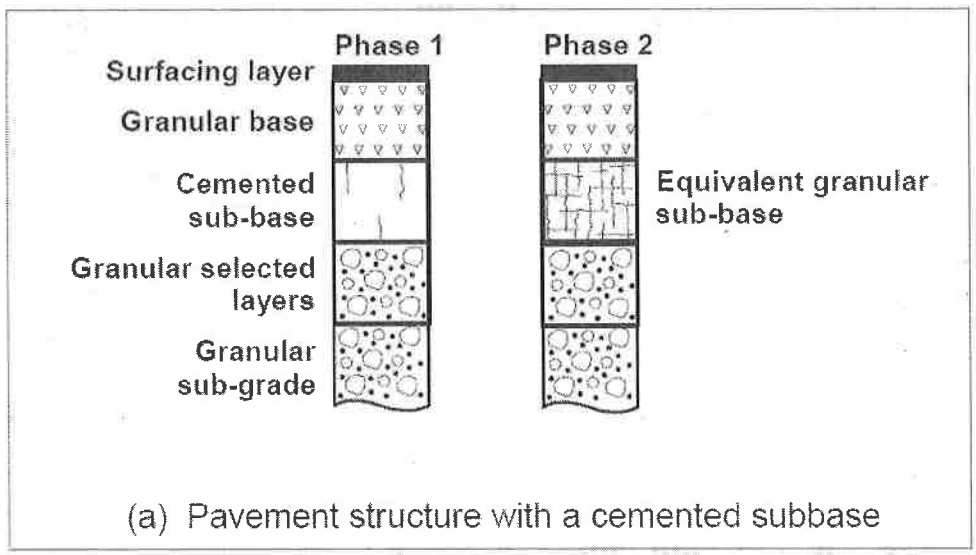
Esta situación no está considerada en la metodología AASHTO 93, pero si en los métodos mecanicistas.

Se debe tener en cuenta que el experimento a escala real de la AASHTO se realizó para una cantidad de 1.100.000 repeticiones de carga de ejes equivalentes, lo que no asegura que la extrapolación para diferentes repeticiones pueda seguir siendo válida. Justamente para repeticiones de carga cercanas a 1.000.000 el suelo cemento mantiene su rigidez para luego empezar a disminuir esa rigidez con las repeticiones de carga.

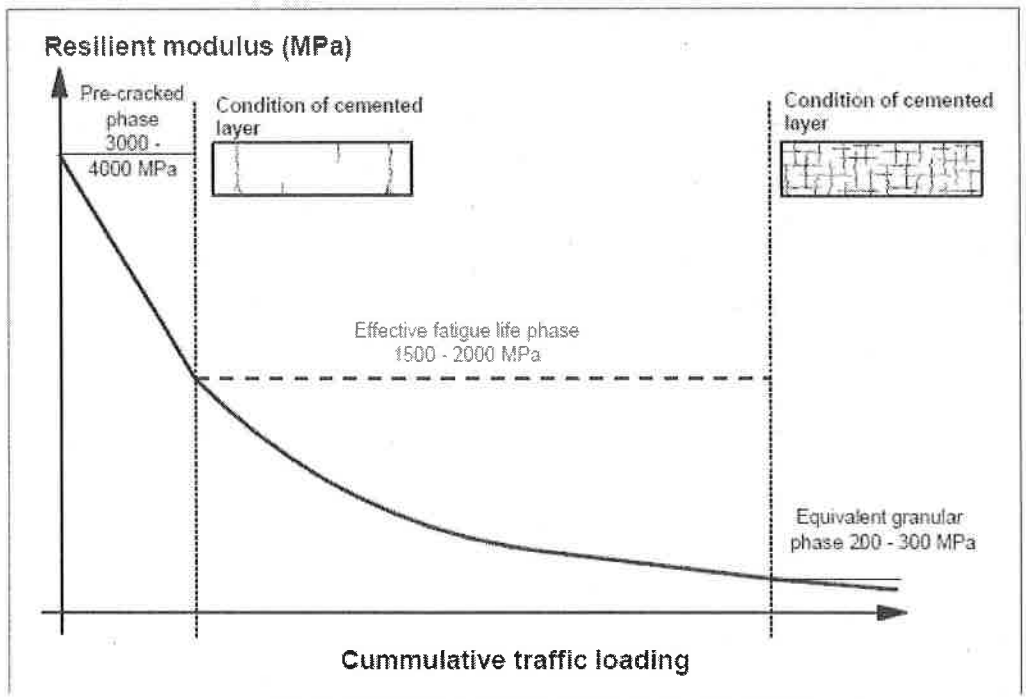
Con referencia al comportamiento estructural de la subbase de suelo cemento, la misma pasa por un proceso de fisuración a lo largo de su vida útil con una disminución progresiva del módulo elástico. Esta disminución progresiva del módulo depende de varios factores, entre ellos el porcentaje de cemento y el tipo de suelo utilizado.

CONSORCIO INCOPAR
INCSER
Gregorio Aguilera
Ingeniero Residente

Consorcio Chaco Central
Ing. Alvaro Godoy
Superintendente



Fisuración de subbases cementadas



Comportamiento a largo plazo de los materiales cementados

Después de una cierta cantidad de repeticiones de carga, la capa de suelo cemento pasa a tener un comportamiento cercano a una sub base granular, con módulos resilientes entre 100 a 300 MPa, dependiendo de la calidad del suelo que le dio origen a la capa.

En el caso de una base granular estabilizada cementada, una vez que pierda la rigidez (cementación) por efecto de la fisuración pasará a tener módulos cercanos a 300 MPa.

En el caso de un suelo arenoso, pasará a tener módulos cercanos a 100 MPa. En el caso de suelos limosos o arcillosos, pasarán a tener módulos mucho menores.

Ing. Nelson Figueredo Kamm. Msc.
Especialista en Pavimentos

CONSORCIO INCOPAR
INGSER
Gregorio Aguilera
Ingeniero Residente

Consorcio Chaco Central
Ing. Alvaro Godoy
Superintendente

En conclusión, la utilización de capas granulares en reemplazo de capas de suelo cemento garantizan mayor estabilidad del valor soporte en el tiempo, por lo que en el futuro requerirán de menos inversión para la rehabilitación, con menos espesores de recapados requeridos.

3.3 Justificación de la Utilización del Método Mecanístico

En la generalidad de los casos, el método más utilizado en el Paraguay para el dimensionamiento de pavimentos flexibles es el método AASHTO. El método AASHTO se basa en estadística y la aplicación de métodos de regresión, su aplicación está limitada a las condiciones de las pistas de prueba utilizadas para su calibración.

Las condiciones de los ensayos en pistas de prueba del método AASHTO, entre otras son las siguientes:

- Considerar que las ecuaciones AASHTO se obtienen en una prueba efectuada a fines de los años cincuenta en pistas de prueba ubicadas en Illinois construidas muy cuidadosamente, pero con equipos y sistemas de medición de esa época.
- Limitada combinación de materiales para las capas del pavimento.
- En todos los pavimentos de la prueba de rodado AASHO, sólo se utilizó un tipo de subrasante con un CBR entre 1.9 y 3.5 lo que no asegura que la extrapolación para diferentes módulos pueda seguir siendo válida.
- El experimento se realizó para una cantidad de 1.100.000 repeticiones de carga de ejes equivalentes, lo que no asegura que la extrapolación para diferentes repeticiones pueda seguir siendo válida.
- Los tipos y pesos de vehículos que se utilizaban a finales de los años 50 son diferentes a los actuales.
- El experimento se realizó en un punto geográfico con rangos de temperatura y humedad particulares.
- El dimensionamiento no está relacionado con tipos de falla específicos de cada capa y tipo de material, sino con el concepto del índice de serviciabilidad que es un parámetro relacionado con el estado funcional del pavimento y no directamente con el estado estructural. El índice de serviceabilidad tiene muy baja correlación con agrietamientos y deformaciones que son las principales fallas en pavimentos flexibles.
- El dimensionamiento se realiza mediante una fórmula o ábaco que relaciona los parámetros de entrada con el número estructural requerido con criterios exclusivamente estadísticos.
- El método de diseño AASHTO 93 se emplea en solo unos pocos estados de USA y solo en algunos países sudamericanos. No se emplea en Europa, Australia, Sudeste Asiático ni en la mayoría de los países sudamericanos.

En base a lo expuesto mas arriba, se considera que el método AASHTO, debido a su origen empírico basado en estadísticas y a las condiciones en que se llevó a cabo el experimento en su país de origen, a través de una extrapolación de variables, no podrían reflejar a cabalidad el comportamiento de los pavimentos flexibles.
El método mecanicista, fundado en estudios e investigaciones de la mecánica de pavimentos, se basa en modelos matemáticos de comportamiento de los materiales que son más adaptables a los diferentes tipos de estructuras.

3.4 Recomendaciones con respecto a la verificación por capa

La metodología AASHTO 93 recomienda la verificación por capas de los números estructurales; en el caso de la verificación del espesor de la carpeta asfáltica, este requisito puede resultar muy exigente para bajos volúmenes de tránsito, lo que afecta sensiblemente el costo del proyecto.

En este caso particular y considerando que el proyecto corresponde a una vía de bajo volumen de tránsito, con menos de 3 millones de ejes equivalentes para una vida útil de 10 años, se propone la verificación del espesor de la carpeta por el método Mecanístico.

4 Suelos de la Traza

De acuerdo al Informe Geotécnico, los estudios y ensayos realizados han mostrado la existencia de suelos muy plásticos y con bajo valor soporte; predominando los tipos A 6 y A-7-6 a lo largo de toda la traza. Algunas muestra analizadas dieron como resultado la existencia de suelos dispersivos, y suelos con sales de sulfato.

Se propone una capa de subrasante estabilizada con cal al 4% de manera a disminuir la plasticidad que caracteriza los suelos del Chaco, minimizar los efectos nocivos de los suelos dispersivos y mejorar la capacidad soporte.

4.1 Consideraciones sobre los Suelos con Sulfatos

- Los sulfatos en el suelo se combinan con el calcio y alúmina de la arcilla, y con el agua, formando los minerales etringita y taumasita en una reacción sumamente expansiva.
- La formación de estos minerales después de la compactación puede causar deterioro significativo del pavimento y pérdida de resistencia Los sulfatos en el suelo se combinan con el calcio y alúmina de la arcilla, y con el agua, formando los minerales etringita y taumasita en una reacción sumamente expansiva.

- Las concentraciones de sulfato menores que 3,000 ppm (0.3 por ciento) difícilmente causen problemas.
- Las concentraciones de 3,000 a 5,000 ppm pueden ser estabilizadas fácilmente si se tiene cuidado para seguir buenas prácticas constructivas, tales como la utilización de mucha agua (2 a 3% arriba de la optima) y darle un periodo de maduración a la mezcla.
- La formación de estos minerales después de la compactación puede causar deterioro significativo del pavimento y pérdida de resistencia si no se aplican las medidas indicadas en el proceso constructivo.

4.2 Proceso constructivo del suelo cal

En la propuesta de Especificaciones técnicas, se debe considerar el efecto de las sales de sulfato en el suelos cal, por lo que se incorporó un tiempo de curado: "Antes de dar comienzo a la compactación deberá transcurrir un plazo de curado comprendido entre 48 y 72 horas a partir del momento en que se terminó de uniformar el contenido de agua, cuyas perdidas durante dicho período deberán compensarse previamente a la entrada de los elementos de equipo compactadores. Durante el periodo de curado, la mezcla deberá sellarse superficialmente con pasada de rodillo neumático."

5 Tránsito de Diseño

El Informe de tránsito que se adjunta incluye una revisión y actualización del tránsito, en el siguiente cuadro se resumen el cálculo de ejes equivalentes para los distintos tramos:

Tramo	Ejes Equivalentes para 6 años (2029)	Ejes Equivalentes para 10 años (2033)	Ejes Equivalentes para 15 años (2038)
Tramo 1	2.470.060	4.465.703	7.321.034
Tramo 1B	2.003.286	3.626.210	5.949.020
Tramo 2	1.521.586	2.752.824	4.513.200
Tramo 3	631.060	1.138.853	1.859.151
Tramo 4	767.257	1.385.802	2.261.673

Fuente: Análisis de Tránsito y Estimación de Demanda Futura Ruta Cnel. Brizuela – Camino de la Leche Junio 2022 – AZIMUTH CONSULTORIA

Si consideramos la verificación del pavimento por métodos mecanicistas, se tiene que los paquetes propuestos tendría una vida útil de 10 años.

CONSORCIO INCOPAR
INGSER
Gregorio Aguilera
Ingeniero Residente

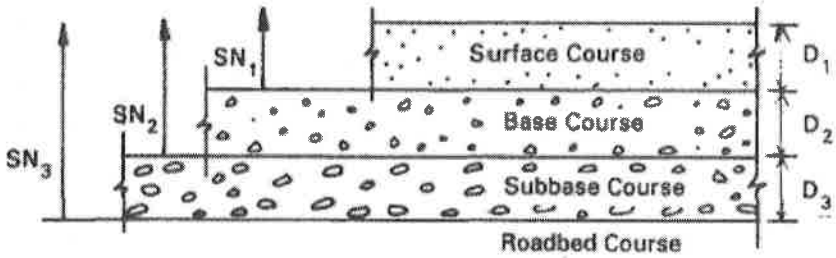
Consorcio Chaco Central
Ing. Alvaro Godoy
Superintendente

6 Verificación Estructural del Pavimento Asfáltico por el Método AASHTO

El siguiente método de diseño adoptado para el diseño estructural del pavimento, corresponde al AASHTO 93 siguiendo las recomendaciones establecidas en el AASHTO GUIDE FOR DESIGN OF PAVEMENT STRUCTURES ", para pavimentos flexibles y rígidos.

El procedimiento implica básicamente, determinar, mediante el algoritmo desarrollado por la AASHTO, el Número Estructural total que se requiere sobre la subrasante, luego se determinan los espesores mínimos de las capas asfálticas para que las tensiones que se generan no originen fallas en la subrasante ni en las propias capas asfálticas.

Para la verificación del espesor de la capa asfáltica se debe verificar esta capa en forma individual considerando el Número Estructural requerido sobre la capa de Base.



$$D^*_1 \geq \frac{SN_1}{a_1}$$

La estructuración de las diferentes capas se realiza de manera que la suma de los productos de los espesores por sus correspondientes coeficientes estructurales satisfagan los números estructurales calculados.

La fórmula básica del Número Estructural (SN) para pavimento flexible está dada por

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

Donde:

a_1 y a_n =	*Coeficiente de capa de las mezclas asfálticas y de las bases*
D_1 y D_n =	*Espesor de las capas de mezclas asfálticas y de las bases*
m =	*Coeficiente que indica el efecto del drenaje a las capas de base y sub - bases.*

CONSORCIO INCOPAR
INGSER
Gregorio Aguilera
Ingeniero Residente

Consorcio Chaco Central
Ing. Alvaro Godoy
Superintendente

6.1 Confiabilidad y Desviación estándar

La siguiente tabla indica los valores recomendados por el Manual AASHTO/93 de niveles de Confiabilidad para diversos niveles de tráfico y desviación estándar combinado So en función al coeficiente de variación de los suelos.

EE Solicitantes (millones)	Confiabilidad (%)	Z_R	S_0 en función del coeficiente variación de los suelos				
			15 %	20%	30 %	40%	50%
< 5	60	- 0,253	0,45	0,46	0,47	0,49	0,50
5 – 15	60 – 70	- 0,253 – 0,524	0,45	0,46	0,47	0,49	0,50
15 – 30	60 – 75	- 0,253 – 0,674	0,45	0,46	0,47	0,49	0,50
30 – 50	70 – 80	- 0,524 – 0,841	0,44	0,45	0,46	0,48	0,49
50 – 70	70 – 85	- 0,524 - 1,037	0,42	0,43	0,44	0,47	0,48
70 – 90	70 – 90	- 0,524 – 1,282	0,40	0,41	0,42	0,45	0,46

Considerando los valores recomendados por la tabla, adoptamos:

- *Desviación estándar combinado; 0.44*
- *Nivel de confiabilidad adoptado: 0.80*

6.2 Serviciabilidad

El pavimento se diseña para que sirva por un determinado lapso llamado vida de diseño, que se refiere al periodo durante el cual la serviciabilidad se mantiene dentro de ciertos límites. La ecuación de diseño establece un estado inicial del pavimento (pi) y un nivel de deterioro considerado como final (pf)

Para este proyecto se adoptaron los siguientes valores:

- *Indice de Serviciabilidad Inicial: 4.2*
- *Indice de Serviciabilidad Final: 2.2*

6.3 Módulo Resiliente de la Subrasante (MR)

El Método AASHTO 93 caracteriza las propiedades de los suelos de la subrasante a través del denominado Módulo Resiliente Efectivo (**M_R**).

A los efectos de adoptar el valor del Modulo Resiliente Efectivo de Proyecto, se utilizan métodos indirectos a través de fórmulas que relaciona el **M_R** con el ensayo CBR, para el efecto se utilizaron las siguientes fórmulas desarrolladas por el TRRL.

$$Mr = 17{,}6 \times CBR^{0{,}64} (MPa) \quad 2 < CBR < 12$$
$$Mr = 22{,}1 \times CBR^{0{,}55} (MPa) \quad 12 \leq CBR < 80$$

6.4 Módulo Resiliente de la subrasante con capa de mejoramiento

El módulo elástico de una capa no tratada no es independiente de la capa subyacente, siendo necesario el cálculo del módulo elástico resultante del conjunto subrasante + capa de mejoramiento.

Para el cálculo del módulo resultante del suelo de fundación con subrasante mejorada, se utilizó el siguiente procedimiento para determinar el módulo resiliente de una subrasante que incluye una capa superior de mejoramiento de acuerdo a la siguiente fórmula propuesta en el Manual de carreteras de Paraguay.

$$M_{Rd} = F \cdot M_{R0}$$

$$1/F = \frac{0.125}{\left[0.0156 + h^2 \left(\frac{M_{R1}}{M_{R0}}\right)^{2/3}\right]^{1/2}} \left(1 - \frac{M_{R0}}{M_{R1}}\right) + \frac{M_{R0}}{M_{R1}}$$

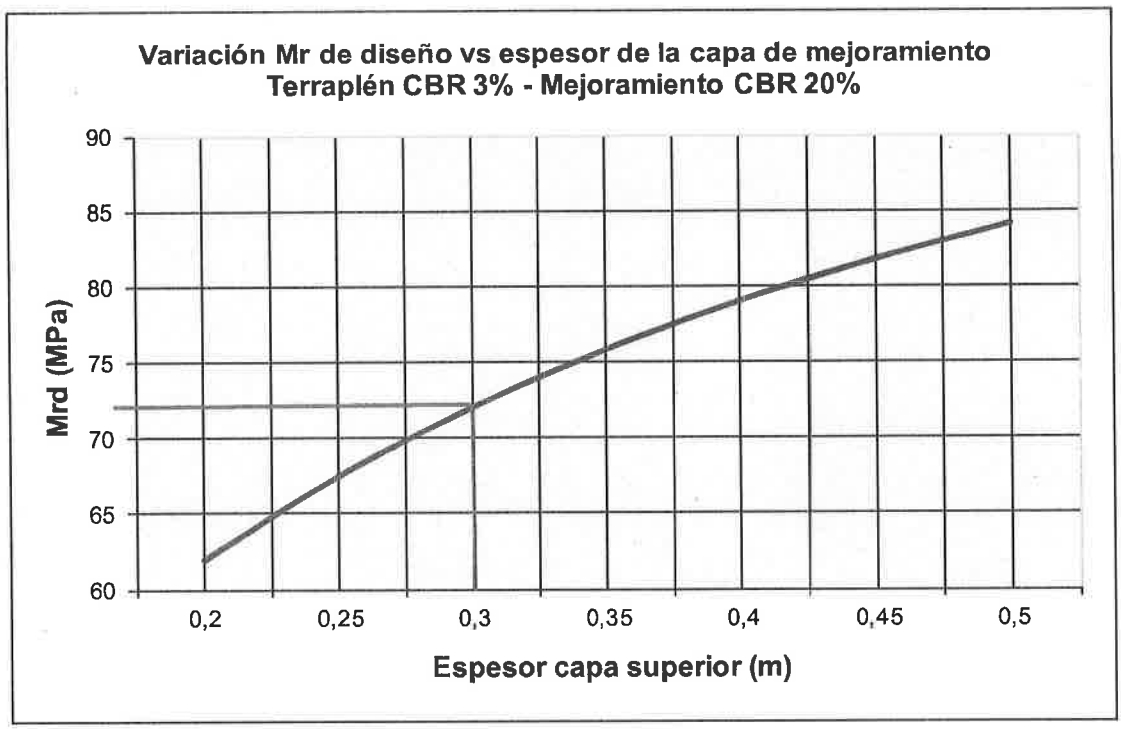
Donde:

M_{Rd}: módulo resiliente de diseño (MPa)
M_{R0}: módulo resiliente de la subrasante (MPa)
M_{R1}: módulo resiliente de la capa de mejoramiento (MPa)
h: espesor de la capa de mejoramiento (m)

Se estima un terraplén con cbr 3% con un módulo elástico estimado en 36 MPa. y una capa de mejoramiento de suelo estabilizado con cal con cbr 20% con un módulo elástico estimado de 115 MPa. . El módulo elástico de la combinación del terraplén y capa de mejoramiento da de un valor de 72 Mpa como valor soporte característico de diseño, que corresponde a un suelo con CBR 9%.

CONSORCIO INCOPAR
INGSER
Gregorio Aguilera
Ingeniero Residente

Consorcio Chaco Central
Ing. Alvaro Godoy
Superintendente



6.5 Coeficientes estructurales de las capas

El Método AASHTO 93 enfatiza la conveniencia de asignar el coeficiente estructural adecuado a cada capa del pavimento, considerando las propiedades reales de los materiales que la constituyen. El coeficiente estructural depende directamente del módulo elástico del material constituyente de la capa.

Capas de Concreto Asfáltico

Para capas asfálticas se utiliza la siguiente fórmula propuesta por la Guía de Diseño de Pavimentos AASHTO 93 que relaciona el coeficiente de capa con la Estabilidad Marhall:

$$a_1 = 0{,}0078 \cdot EM^{0.441}$$

EM: Estabilidad Marshall en Newton

Para una carpeta de concreto asfáltico con una estabilidad igual o mayor a 11000 Newton (917 kg), se adopta un coeficiente estructural a1 = 0,44 cm.

Para una base de concreto asfáltico con una estabilidad igual o mayor a 8000 Newton (815 kg), se adopta un coeficiente estructural a2 = 0,41 cm.

Bases estabilizadas granulométricamente

Para bases granulares se utiliza la siguiente fórmula que relaciona el coeficiente de capa con el ensayo CBR:

$$a_2 = 0{,}032 \cdot (CBR)^{0{,}32}$$

Para una base estabilizada granulométricamente (piedra triturada) con CBR igual o mayor a 100%, se adopta un coeficiente estructural **a_2 = 0,14 cm.**

Para una sub base estabilizada granulométricamente (piedra triturada) con CBR igual o mayor a 80%, se adopta un coeficiente estructural **a_3 = 0,13 cm.**

6.6 Coeficiente de Drenaje (m)

El método AASHTO utiliza un coeficiente de drenaje que modifica la capacidad estructural de las capas no ligadas y está incorporada en la ecuación de diseño. El método propone la siguiente tabla de referencia para adoptar los valores de m.

Calidad del Drenaje	Porcentaje del tiempo en que la estructura está expuesta a niveles de humedad cercanos a la saturación			
	Menor a 1 %	1 – 5 %	5 – 25 %	Mayor a 25 %
Excelente	1.40 – 1.35	1.35 – 1.30	1.30 – 1.20	1.20
Bueno	1.35 – 1.25	1.25 – 1.15	1.15 – 1.00	1.00
Débil	1.25 – 1.15	1.15 – 1.05	1.00 – 0.80	0.80
Pobre	1.15 – 1.05	1.05 – 0.80	0.80 – 0.60	0.60
Muy Pobre	1.05 – 0.95	0.95 – 0.75	0.75 – 0.40	0.40

En el presente proyecto se han adoptado los siguientes valores ya aceptados anteriormente:

- $m_2 = 1$
- $m_3 = 1$

CONSORCIO INCOPAR
INGSER
Gregorio Aguilera
Ingeniero Residente

Consorcio Chaco Central
Ing. Alvaro Godoy
Superintendente

6.7 Calculo del Número Estructural (SN)

El Método de diseño para pavimentos flexibles utilizado está basado en el Método AASHTO versión 1993. La fórmula general de diseño relaciona la cantidad de ejes equivalentes de 18.000 lbs. (EE) con el Número Estructural y el Nivel de Confianza, de manera que la estructura experimente una pérdida de serviceabilidad determinada.

La Fórmula general es la siguiente:

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R \times S_o + 9.36 \times \log_{10}(SN+1) - 0.20 + \frac{\log_{10}\left[\frac{p_i - p_f}{4.2-1.5}\right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 \times \log_{10}[M_R] - 8.07$$

W_{18}= Ejes equivalentes de diseño

SN = Numero Estructural (in)

p_i = Índice de serviciabilidad inicial

p_f = Índice de serviciabilidad final

a_i = Coeficiente Estructural

M_r = Módulo resiliente

Z_r = Nivel de Confiabilidad

S_o = Desviación Estándar Combinada

m_i = Coeficiente de drenaje

6.8 Vida útil en Ejes Equivalentes

La verificación de los paquetes estructurales se resume a continuación:

CONSORCIO INCOPAR
INCSER
Gregorio Aguilera
Ingeniero Residente

Consorcio Chaco Central
Ing. Alvaro Godoy
Superintendente

Memoria de Cálculo: Diseño Pavimento Asfáltico
Método AASHTO-93

Traza Troncal: Cruce Pioneros - Desvio Campo Aceval
Verificación Diseño Licitado
Estimación de la Vida útil en Ejes Equivalentes

Datos de Diseño:

1.	Vida útil estimada subrasante / carpeta	3.690.000		307.000	
2.	Suelo de Fundación: CBR	6,3	%	100,0	%

Datos de Proyecto:

3.	Nivel de Confiabilidad (R)	80,0%	%
4.	Desviación Normal (So)	0,44	
5.	Indice de Serviciabilidad Inicial (pi)	4,20	
6.	Indice de Serviciabilidad Final (pf)	2,20	

Cálculo Parámetros Fórmula AASHTO-93:

7.	Variación Indice de Serviciabilidad (ΔPSI)	2,0	
8.	Módulo Resiliente Subrasante (Mr)	57,2	MPa
9.	Coeficiente de Confiabilidad	0,842	

10. Cálculo del Número Estructural Requerido:

NE Requerido para estructura	**9,40**	cm.	**3,70**	inches
NE Requerido para carpeta asfáltica		cm.	**0,00**	inches

11. Diseño Estructura de Pavimento:

11.1 Coeficiente Estructural:	ai	mi
Capa 1: Mezcla Asfáltica en Caliente. Estabilidad Marshall 9.000 N	0,44	
Capa 2: Mezcla Asfáltica en Caliente. Estabilidad Marshall 8.000 N	0,41	
Capa 3: Base Granular Estabilizada Granulométricamente CBR 100%	0,14	
Capa 4: Subbase de suelo cemento UCS 2 Mpa	0,13	1,00
Capa 5: Subbase Granular, CBR min. 40%	0,11	1,00

11.2 Diseño de Espesores:	Espesor (cm)	ai	mi	NEi (cm)
Capa 1	**4,0**	0,44		1,76
Capa 2	**4,0**	0,41		1,64
Capa 3	**15,0**	0,14		2,10
Capa 4	**30,0**	0,13	1,00	3,90
Capa 5	**0,0**	0,11	1,00	0,00
	53,0		N.E. Estruct.	**9,40**
			N.E. Asf.	**3,40**

CONSORCIO INCOPAR
INGSER
Gregorio Aguilera
Ingeniero Residente

Consorcio Chaco Central
Ing. Alvaro Godoy
Superintendente

Memoria de Cálculo: Diseño Pavimento Asfáltico
Método AASHTO-93

Tramo 2: Cruce Pioneros - Desvio Campo Aceval
Sub rasante mejorada suelo cal - Propuesta Sub base Granular
Estimación de la Vida útil en Ejes Equivalentes

Datos de Diseño:

1.	Vida útil estimada subrasante / carpeta	4.105.000		1.010.000	
2.	Suelo de Fundación: CBR	9,0	%	100,0	%

Datos de Proyecto:

3.	Nivel de Confiabilidad (R)	80,0%	%
4.	Desviación Normal (So)	0,44	
5.	Indice de Serviciabilidad Inicial (pi)	4,20	
6.	Indice de Serviciabilidad Final (pf)	2,20	

Cálculo Parámetros Fórmula AASHTO-93:

7.	Variación Indice de Serviciabilidad (ΔPSI)	2,0	
8.	Módulo Resiliente Subrasante (Mr)	71,8	MPa
9.	Coeficiente de Confiabilidad	0,842	

10. Cálculo del Número Estructural Requerido:

NE Requerido para estructura	**8,81**	cm.	**3,47**	inches
NE Requerido para carpeta asfáltica	**4,22**	cm.	**1,66**	inches

11. Diseño Estructura de Pavimento:

11.1 Coeficiente Estructural:

	ai	mi
Capa 1: Mezcla Asfáltica en Caliente. Estabilidad Marshall 9.000 N	0,44	
Capa 2: Mezcla Asfáltica en Caliente. Estabilidad Marshall 8.000 N	0,41	
Capa 3: Base Granular Estabilizada Granulométricamente CBR 100%	0,14	
Capa 4: Subbase Granular CBR 80%	0,13	1,00
Capa 5: Subbase Granular, CBR min. 40%	0,11	1,00

11.2 Diseño de Espesores:

	Espesor (cm)	ai	mi	NEi (cm)
Capa 1	**4,0**	0,44		1,76
Capa 2	**6,0**	0,41		2,46
Capa 3	**17,0**	0,14		2,38
Capa 4	**17,0**	0,13	1,00	2,21
Capa 5	**0,0**	0,11	1,00	0,00
	44,0		N.E. Estruct.	**8,81**
			N.E. Asf.	**4,22**

CONSORCIO INCOPAR
INGSER
Gregorio Aguilera
Ingeniero Residente

Consorcio Chaco Central
Ing. Alvaro Godoy
Superintendente

Memoria de Cálculo: Diseño Pavimento Asfáltico
Método AASHTO-93

Tramo 3 y 4: Cruce Pioneros - Desvio Campo Aceval
Sub rasante mejorada suelo cal - Propuesta Alternativa
Estimación de la Vida útil en Ejes Equivalentes

Datos de Diseño:

1.	Vida útil estimada subrasante / carpeta	2.422.000		568.000	
2.	Suelo de Fundación: CBR	9,0	%	100,0	%

Datos de Proyecto:

3.	Nivel de Confiabilidad (R)	80,0%	%
4.	Desviación Normal (So)	0,44	
5.	Indice de Serviciabilidad Inicial (pi)	4,20	
6.	Indice de Serviciabilidad Final (pf)	2,20	

Cálculo Parámetros Fórmula AASHTO-93:

7.	Variación Indice de Serviciabilidad (ΔPSI)	2,0	
8.	Módulo Resiliente Subrasante (Mr)	71,8	MPa
9.	Coeficiente de Confiabilidad	0,842	

10. Cálculo del Número Estructural Requerido:

NE Requerido para estructura	**7,86**	cm.	**3,09**	inches
NE Requerido para carpeta asfáltica	**3,81**	cm.	**1,50**	inches

11. Diseño Estructura de Pavimento:

11.1 Coeficiente Estructural:	ai	mi
Capa 1: Mezcla Asfáltica en Caliente. Estabilidad Marshall 9.000 N	0,44	
Capa 2: Mezcla Asfáltica en Caliente. Estabilidad Marshall 8.000 N	0,41	
Capa 3: Base Granular Estabilizada Granulométricamente CBR 100%	0,14	
Capa 4: Subbase Granular CBR 80%	0,13	1,00
Capa 5: Subbase Granular, CBR min. 40%	0,11	1,00

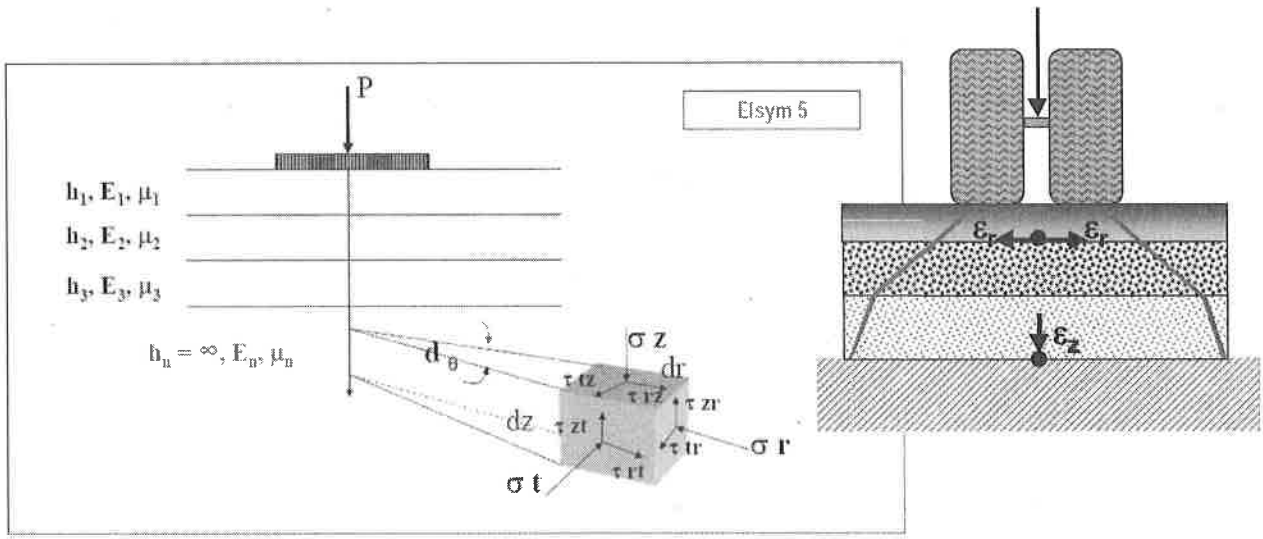
11.2 Diseño de Espesores:	Espesor (cm)	ai	mi	NEi (cm)
Capa 1	**4,0**	0,44		1,76
Capa 2	**5,0**	0,41		2,05
Capa 3	**15,0**	0,14		2,10
Capa 4	**15,0**	0,13	1,00	1,95
Capa 5	**0,0**	0,11	1,00	0,00
	39,0		N.E. Estruct.	**7,86**
			N.E. Asf.	**3,81**

CONSORCIO INCOPAR
INGSER
Gregorio Aguilera
Ingeniero Residente

Consorcio Chaco Central
Ing. Alvaro Godoy
Superintendente

7 Verificación del diseño estructural por el Método Mecanístico

El Método Mecanístico – Empírico está basado en el comportamiento de los materiales componentes de las diferentes capas del pavimento. El análisis estructural asume una relación elástica lineal, considerando un sistema multicapas cuya respuesta a las cargas es calculada en términos de deformaciones y tensiones en las posiciones más críticas para la estructura. Las posiciones críticas son determinadas de acuerdo al tipo de materiales utilizados en cada capa de la estructura del pavimento.



La obtención de los valores de las tensiones y deformaciones se realiza con programas informáticos basados en el cálculo de un sistema multicapa (ELSYM 5). La caracterización de los materiales incluye el espesor de las capas, y las características de elasticidad de cada capa en la estructura del pavimento.

Los parámetros de respuesta del pavimento a las tensiones críticas sirven de datos de entrada a las ecuaciones de transferencia aplicables a cada tipo de material en particular y tipo de falla. Las funciones de transferencia relacionan las condiciones de tensión – deformación con el número de repeticiones de carga que puede resistir bajo esas condiciones antes de alcanzar un modo de falla específico.

7.1 Módulo Elástico de las capas asfálticas

Ante la dificultad de obtener los valores de los módulos elásticos por ensayos directos de laboratorio en nuestro medio, adoptamos valores recomendados en base a estudios estadísticos. Adoptamos los valores de la tabla de valores de módulos elásticos para capas asfálticas (Freeme)

Elastic Moduli for Asphalt Layers suggested by Freeme (11)							
Material grading	Depth from surface (mm)	Stiffness values (MPa) based on temperature and material condition					
		Good condition or new material		Stiff, dry mixture		Very cracked condition	
		20• C	40• C	20• C	40• C	20• C	40• C
Gap-graded	0 - 50	4000	1500	5000	1800	1000	500
	50 - 150	6000	3500	7000	4000	1000	500
	150 - 250	7000	5500	8000	6000	1000	500
Continuously graded	0 - 50	6000	2200	7000	4000	750	500
	50 - 150	8000	5500	9000	6000	1000	750
	150 - 250	9000	7500	10000	8000	1000	750

Para una mezcla de granulometría continua, para una carpeta con espesor de 4 cm. y la temperatura entre 20 y 40 grados centígrados, adoptamos un valor conservador del rango propuesto por la tabla, adoptamos un Módulo de 3500 y 4000 MPa.

7.2 Módulo Elástico de las Capas Granulares

Ante la dificultad de obtener los valores de los módulos elásticos por ensayos directos de laboratorio en nuestro país, adoptamos valores recomendados en las siguientes tablas de referencia:

Suggested ranges of Elastic Moduli for Granular Materials (MPa) with expected values indicated in brackets					
Material Code	Material Description	Over cemented layer in slab state	Over granular layer or equivalent	Wet condition (good support)	Wet condition (poor support)
G1	High quality crushed stone	250 - 1000 (450)	150 - 600 (300)	50 - 250 (250)	40 - 200 (200)
G2	Crushed stone	200 - 800 (400)	100 - 400 (250)	50 - 250 (250)	40 - 200 (200)
G3	Crushed stone	200 - 800 (350)	100 - 350 (230)	50 - 200 (200)	40 - 150 (150)
G4	Natural gravel (base quality)	100 - 600 (300)	75 - 350 (225)	50 - 200 (200)	30 - 150 (150)
G5	Natural gravel	50 - 400 (250)	40 - 300 (200)	30 - 150 (150)	20 - 120 (120)
G6	Natural gravel (sub-base quality)	50 - 200 (200)	30 - 200 (150)	20 - 150 (150)	20 - 120 (120)

CONSORCIO INCOPAR INGSER
Gregorio Aguilera
Ingeniero Residente

Consorcio Chaco Centr.
Ing. Alvaro Godoy
Superintendente

La base granular con CBR 100 corresponde a un material tipo G1, en este caso sobre una capa de sub base granular, se adopta un módulo elástico de 300 Mpa.
La subbase granular con CBR 80 corresponde a un material tipo G2, en este caso sobre una capa de sub rasante de buena calidad, se adopta un módulo elástico de 250 Mpa.

7.3 Confiabilidad

En base a las recomendaciones para vías rurales se adopta una confiabilidad del 80%.

Road Category	Description	Approximate design reliability (%)
A	Interurban freeways and major interurban roads	95
B	Interurban collectors and major rural roads	90
C	Rural roads	80
D	Lightly trafficked rural roads	50

7.4 Ecuaciones de Fatiga – Subrasante

$$N = 10^{(A + 10 \, Log \, e_v)}$$ *for all road categories*

TABLE 11: Regression Coefficients for the General Subgrade Deformation Transfer Function

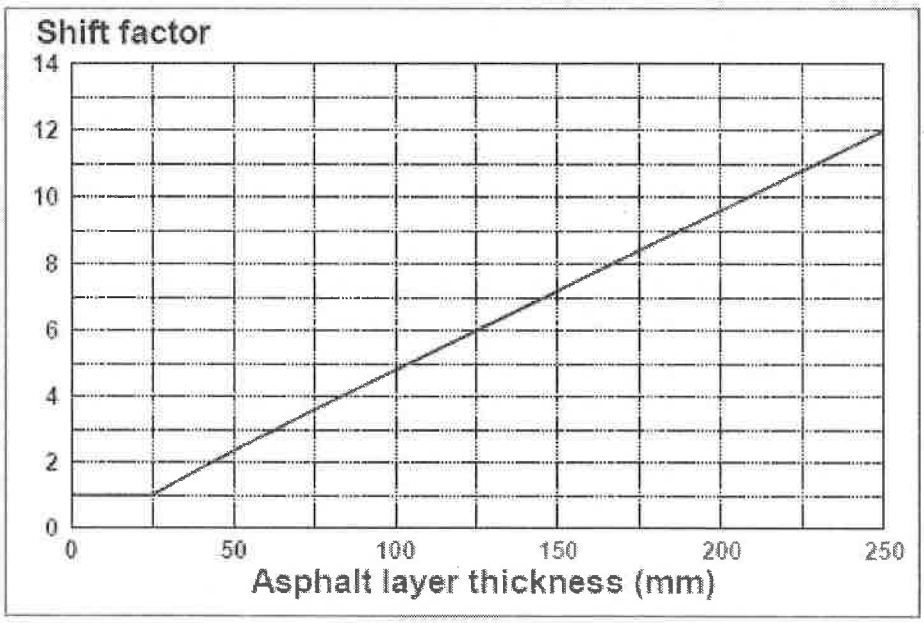
Terminal rut condition (mm)	Road Category / Service Level	A
10	A	33.30
	B	33.38
	C	33.47
	D	33.70
20	A	36.30
	B	36.38
	C	36.47
	D	36.70

7.5 Ecuaciones de Fatiga – Capas Asfálticas

The fatigue crack initiation transfer functions for continuously graded material at different service levels are listed in Equations 19 to 22 (14) and illustrated in Figure 9.

$$N_f = 10^{17.54\left(1 - \frac{Log\ e_t}{3.42}\right)} \quad \textit{for category C roads}$$

Figure 16 illustrates the shift factor to convert the crack initiation life to the total fatigue life after surface cracks appear on the road surface. The total asphalt depth should be considered to determine the shift factor.



SF adoptado: 2.573 para espesor de 50 mm y 3.09 para espesor de 60 mm.

7.6 Ecuaciones de Fatiga – Capas Granulares

$$N_C = 10^{(2.605122F - 3.983324)} \quad \textit{for category C roads}$$

CONSORCIO INCOPAR
INGSER
Gregorio Aguilera
Ingeniero Residente

Consorcio Chaco Central
Ing. Alvaro Godoy
Superintendente

$$F \bullet \frac{s_3 \, f_{term} \bullet c_{term}}{(s_1 \bullet s_3)} \qquad (2)$$

where s_1 and s_3 = major and minor principle stresses acting at a point in the granular layer (compressive stress positive and tensile stress negative)
C = cohesion
f = angle of internal friction
K = constant = 0.65 for saturated conditions
0.8 for moderate moisture conditions and
0.95 for normal moisture conditions

7.7 Fuente

Theyse H L, 1996. "An Overview of the South African Mechanistic Pavement Design Method", Transportek, CSIR Pretoria. South Africa.

7.8 Módulo de la Subrasante

Se aplica lo indicado en los numerales 6.3 y 6.4.

7.9 Definición de las Cargas

Se adopta el Eje Estándar de 18.000 lbs, equivalente a 8.16 ton o 80 kN, eje simple, rueda doble con separación de 350 mm y presión de inflado de 520 kPa.

CONSORCIO INCOPAR
INGSER
Gregorio Aguilera
Ingeniero Residente

Consorcio Chaco Central
Ing. Alvaro Godoy
Superintendente

7.10 Verificación de la vida útil del pavimento

Considerando los espesores del paquete propuesto, y tomando los valores de los módulos adoptados para las diferentes capas, y la aplicación de una carga de rueda estándar, se calculan las tensiones y deformaciones en todos los puntos del sistema multicapas; aplicando las ecuaciones de regresión (a la fatiga) y nos da como resultado la duración de cada una de las capas en términos de ejes equivalentes.

Según este modelo de comportamiento estructural, se considera como tipos de falla la fisuración de la carpeta asfáltica y el ahuellamiento por deformación de la subrasante mayor a 10 mm.

A continuación se detallan los cálculos de verificación por el método Mecanístico.

Traza Troncal: Cruce Pioneros - Desvio Campo Aceval Paquete Licitado				
Layer	Capas	Espesores (mm)	Modulo Elástico (Mpa)	Vida útil capas (EE)
CA	Carpeta Concreto Asfaltico	40	3500	*1,740E+12*
CA	Capa Intermedia Asfalto	40	3500	***1,265E+06***
G1	Base Granular estabilizada	150	350	*3,336E+09*
C4	Subbase de Suelo Cemento	300	600	*1,232E+10*
Soil	Terraplén + Subrasante Mejorada		65	***6,317E+06***

Traza Troncal: Cruce Pioneros - Desvio Campo Aceval Alternativa Propuesta Tramo 2				
Layer	Capas	Espesores (mm)	Modulo Elástico (Mpa)	Vida útil capas (EE)
CA	Carpeta Concreto Asfaltico	40	3500	*1,000E+15*
CA	Capa Intermedia Asfalto	60	4000	***2,765E+06***
G1	Base Granular estabilizada	170	300	*6,230E+11*
G2	Subbase de Suelo agregado	170	250	*1,516E+13*
Soil	Terraplén + Subrasante Mejorada		72	***1,110E+07***

CONSORCIO INCOPAR
INGSER
Gregorio Aguilera
Ingeniero Residente

Consorcio Chaco Central
Ing. Alvaro Godoy
Superintendente

Traza Troncal: Cruce Pioneros - Desvio Campo Aceval Alternativa Propuesta Tramos 3 y 4				
Layer	Capas	Espesores (mm)	Modulo Elástico (Mpa)	Vida útil capas (EE)
CA	Carpeta Concreto Asfaltico	40	3500	*1,000E+15*
CA	Capa Intermedia Asfalto	50	4000	***1,492E+06***
G1	Base Granular estabilizada	150	300	*5,553E+10*
G2	Subbase de Suelo agregado	150	250	*5,572E+11*
Soil	Terraplén + Subrasante Mejorada		72	***1,949E+06***

CONSORCIO INCOPAR
INGSER
Gregorio Aguilera
Ingeniero Residente

Consorcio Chaco Central
Ing. Alvaro Godoy
Superintendente

Traza Troncal: Cruce Pioneros - Desvio Campo Aceval
Verificación del Pavimento Licitado
Description: Parámetros de diseño

Design Parameters

	ASPHALT			GRANULAR			SUBGRADE
	Layer	Material code	Horizontal Tensile Strain	Major Principal Stress	Minor Principal Stress	Safety Factor	Vertical Comprehensive Strain
Bajo Rueda	PHASE 1						
	1	AC	12,36	-	-	-	
	2	AC	195,49	-	-	-	-
	3	G1	-	- 155,22	- 19,92	3,51	-
	4	C4	-	-	-	-	-
	5	Soil					- 262,86

	ASPHALT			GRANULAR			SUBGRADE
	Layer	Material code	Horizontal Tensile Strain	Major Principal Stress	Minor Principal Stress	Safety Factor	Vertical Comprehensive Strain
Entre Ruedas	PHASE 2						
	1	AC	12,36	-	-	-	-
	2	AC	155,16	-	-	-	-
	3	G1	-	- 125,20	- 20,34	5,40	-
	4	C4	-	-	-	-	-
	5	Soil	-	-	-	-	- 317,74

ASPHALT	GRANULAR	SUBGRADE
$N = 10^{A\times\left(1-\frac{Log\,(e_t)}{B}\right)}$	$N = 10^{(A\times F+B)}$ $F = \frac{\sigma_3 \times \phi + c_{term}}{(\sigma_1 - \sigma_3)}$	$N = 10^{(A-10\times Log(e_v))}$ CEMENTED SUB BASE $N = 10^{A\times\left(1-\frac{e_t}{B\times e_b}\right)}$

CONSORCIO INCOPAR
INGSER
Gregorio Aguilera
Ingeniero Residente

Consorcio Chaco Central
Ing. Alvaro Godoy
Superintendente