35 (treinta y cinco)

Folio Nº: 116 (Ciento DieciSeis)

CONSORCIO DEL SUR

Sustitución de CAP con Polímero a Convencional

Convenio Modificatorio N° 9

Folio Nº: FOLIO Nº 28 (VEINTIOCHO) 34 (treinta y cuatro)
115 (Ciento Quince)

COPIA

CONSORCIO DEL SUR
EUROFINSA - T&CSA

CDS Nº 24 /2023

Asunción, 13 de febrero de 2023.-

Señores
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS Y COMUNICACIONES
DIRECCIÓN DE VIALIDAD
ING. VÍCTOR OLMEDO, DIRECTOR
Oliva N° 411 esq. Alberdi, 2do Piso
Presente:

Ref.:	LLAMADO MOPC N°. 123/2017, LICITACIÓN PÚBLICA INTERNACIONAL PARA LA CONTRATACIÓN DE EMPRESAS CONSTRUCTORAS ESPECIALIZADAS EN OBRAS VIALES, PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA AVENIDA COSTANERA SUR CON FINANCIAMIENTO BAJO EL RÉGIMEN DE LA LEY N°1.302/1.998 QUE ESTABLECE MODALIDADES Y CONDICIONES ESPECIALES Y COMPLEMENTARIAS A LA LEY N° 1.045/1.983 "QUE ESTABLECE EL RÉGIMEN DE LAS OBRAS PÚBLICAS, MODIFICADA POR LA LEY N°5074/2013, SUS MODIFICATORIAS Y REGLAMENTACIONES, ID:336.727 – CONTRATO S.G. MINISTRO N° 492/2019 DEL 29 DE OCTUBRE DE 2019
Asunto:	PROPUESTA DE AJUSTE Y/O PRECISIÓN DE LAS EETT DE LOS MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA CARPETA DE CONCRETO ASFÁLTICO
Adjunto:	- INFORME DE ESPECIALISTA DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO
C.C:	- ING. FRANCISCO JAVIER RECALDE A. – COORDINADOR UEPE - ING. CRISTOBAL COHENE – SUPERVISOR DE OBRA

De nuestra mayor consideración:

Nos dirigimos a Ud. en el marco del contrato de referencia a fin de presentar a consideración la propuesta de ajuste y/o precisión de las Especificaciones Técnicas de los materiales para la construcción de la Carpeta de Concreto Asfáltico, específicamente el Material bituminoso sólido (cemento asfáltico).

En concreto la propuesta es la ejecución de la Carpeta Asfáltica de toda la obra utilizando cemento asfáltico convencional, el cual se ajusta a las exigencias requeridas para el pavimento en cuanto a vida útil y comportamiento en general, conforme al informe elaborado por el especialista en estructuras de pavimento, Ing. Milciades Benítez.

Nos ponemos a disposición a fin de analizar las implicancias económicas que tendrá la implementación del ajuste propuesto, implicancias que deberán ser discutidas entre las partes teniendo en cuenta además otros trabajos no previstos y cuya necesidad van surgiendo con el avance de los trabajos de este proyecto y de otros futuros proyectos a desarrollarse en estos mismos sitios.

Sin otro particular, hacemos propicia la ocasión para saludarlo muy atentamente.

REGISTRO 15 FEB. 2023 DIRECCION DE VIALIDAD

MOPC UEPE
EXP N°: Recibido
FECHA: 15/02
RECIBIDO: Pablo Ortego

Jose Argüello
Recibido
15-02-2023

Ing. Leoncio Rojas Molina
Director de Proyecto
Consorcio del Sur

Ing. Cristobal Cohene C.
Supervisor de Obra
MOPC

CONSORCIO DEL SUR
Av Juan Domingo Perón esq Po, Asunción
MOPC N°123/2017

Ing. Leoncio Rojas Molina
Director de Proyecto
CONSORCIO DEL SUR

1. ESTUDIOS DE INGENIERIA

1.1 ANTECEDENTES

El presente Informe Técnico para el **rediseño del paquete estructural del pavimento asfaltico correspondiente a la Avda. de la costanera obra "Construcción** de la Franja Costera del Bañado Sur de Asunción" fue elaborado a petición del Consorcio Contratista "Consorcio del Sur".

El Informe técnico tomado como base de datos para el análisis y posterior propuesta del rediseño del paquete estructural, corresponde al documento N° ACS-MOPC-CDS-ANX-009 REV 2.

Para el efecto se estableció como metodología, la utilización de las mismas normas que fueran utilizadas para el dimensionamiento estructural del informe citado anteriormente (informe evaluado), revisión y validación de los parámetros y valores asumidos, siguiendo las recomendaciones del Manual de Carreteras del Paraguay – Normas para la estructura del Pavimento -Tomo N°2 –Volumen 1- 101.03.1 (b) Métodos de Diseño, el cual indica que para Tránsitos alto a Mediano en la elección de Métodos de Diseño para Pavimentos Flexibles debería aplicarse el Diseño Empírico – Mecanicista "AASHTO GUIDE FOR DESIGN OF PAVEMENT STRUCTURES" y los métodos integramente Mecanicistas , basados en la teoría elástica (mePADS), usado en la ocasión para la verificación de los espesores obtenidos por el método AASHTO 1993.

Ing. Leonardo Rojas Molina
Director de Proyecto
CONSORCIO DEL SUR

1.2 DISEÑO DE PAVIMENTO

1.2.1 Paquete estructural

1.2.1.1 Paquete estructural evaluado

Tabla 1: Paquete Estructural evaluado

COSTANERA SUR			
Paquete estructural EVALUADO			
Capa	**Descripción**	**Espesor (cm)**	**Características**
1	Carpeta de Concreto Asfáltico con polímero	6	EM 9500 N
2	Capa Intermedia de Concreto Asfáltico	8	EM 8000 N
3	Base Granular Estabilizada 90/10	17	CBR 100 %
4	Sub Base Granular Estabilizada 90/10	20	CBR 100 %
5	Subrasante Mejorada	40	CBR 30 %
6	Terraplén por Refulado		CBR 15 %

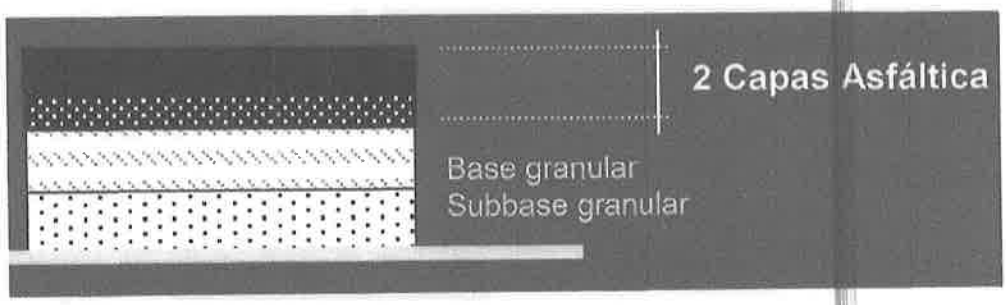
1.2.1.2 Paquete estructural propuesto resultado del redimensionamiento.

Tabla 2: Paquete Estructural propuesto

COSTANERA SUR			
Paquete estructural PROPUESTO			
Capa	**Descripción**	**Espesor (cm)**	**Características**
1	Carpeta de Concreto Asfáltico convencional	6	EM 9000 N
2	Capa Intermedia de Concreto Asfáltico	8	EM 8000 N
3	Base Granular Estabilizada 90/10	17	CBR 100 %
4	Sub Base Granular Estabilizada 90/10	20	CBR 100 %
5	Subrasante Mejorada	40	CBR 30 %
6	Terraplén por Refulado		CBR 15 %

Ing. Leonicio Rojas Molina
Director de Proyecto
CONSORCIO DEL SUR

1.2.2 Sección tipo contractual y propuesta tramo Avda. Costanera



1.2.3 Consideraciones

El clima en Asunción y Departamento Central, y región Oriental, dependiendo de la estación, **las temperaturas máximas diarias medias oscilan entre 24 y 33 grados**. En algunas partes del pais los valores alcanzan hasta 36 grados durante el día. En los meses más fríos, la temperatura baja por la noche, dependiendo de la región, hasta 12°C en promedio mensual, por tanto, la hipótesis principal para el análisis del presente rediseño estructural es que las estadísticas así lo demuestran que las variabilidades de las temperaturas en el área de emplazamiento de la obra no son consideradas extremas.

Esta información es clave a la hora de determinar el uso o no de polímeros que busca modificar el cemento asfaltico para utilizarse cuando se requiera un asfalto de mejor performance a la que ofrecería un cemento asfaltico convencional en zonas de variabilidad térmica.

Por tanto al no tener variables de temperatura extrema, la utilización de polímeros como necesidad principal en la reducción de la susceptibilidad térmica que incide en el desempeño final del pavimento no sería necesario , pues con el diseño de una buena mezcla con cemento asfaltico convencional cuyas características y propiedades mecánicas y de adhesión , han sido ampliamente satisfactorias bajo distintas condiciones climatológicas y de tránsito, aplicados por muchos años en nuestra red vial, quedando demostrado suficientemente su buen comportamiento en términos de rigidez en temperaturas medias de la región Oriental y demostrando efectividad en la reducción del potencial de ahuellamiento, buena capacidad de resistencia a la fatiga y durabilidad.

Ing. Leoncio Rojas Molina
Director de Proyecto
CONSORCIO DEL SUR

1.2.4 Estudios de Tránsito y Ejes equivalentes

Para el cálculo de los ejes equivalentes de 8.2 toneladas en el carril de diseño para el periodo de diseño, el Consultor aplicó los métodos usuales para la obtención del Tránsito medio diario anual (TMDA) de cada tipo de vehículo, cálculo del TMDA acumulado para los periodos de diseño de 10 y 20 años, con tasas de crecimiento y factor camión correspondiente.

Por tanto, se validan y se asumen los valores resultantes del cálculo de los ejes equivalentes de 8.2 ton para un periodo de diseño de 20 años.

Tabla 3: Cálculo de Ejes Equivalentes Acumulados a 20 Años

PROYECTO COSTANERA SUR										
Calculo de Ejes Equivalentes Acumulados a 20 años										
Año	TMDA DERIVADO			TMDA GENERADO			Dias	TMDA Acumulado		
	Liv.	Bus	Camiones	Liv.	Bus	Camiones	Año	Livianos	Buses	Camiones
2024	24.382	-	495				365	8.899.396	-	180.757
2025	25.258	-	510				365	9.219.284	-	186.179
2026	26.166	-	525				365	9.550.672	-	191.765
2027	27.107	-	541				365	9.893.971	-	197.518
2028	28.081	-	557				365	10.249.609	-	203.443
2029	29.090	-	574				365	10.618.032	-	209.547
2030	29.918	-	588				365	10.920.061	-	214.785
2031	30.769	-	603				365	11.230.683	-	220.155
2032	31.644	-	618				365	11.550.139	-	225.659
2033	32.544	-	634				365	11.878.683	-	231.300
2034	33.470	-	650				365	12.216.572	-	237.083
2035	34.422	-	666				365	12.564.073	-	243.010
2036	35.401	-	682				365	12.921.458	-	249.085
2037	36.408	-	699				365	13.289.008	-	255.312
2038	37.444	-	717				365	13.667.014	-	261.695
2039	38.509	-	735				365	14.055.773	-	268.237
2040	39.604	-	753				365	14.455.589	-	274.943
2041	40.731	-	772				365	14.866.778	-	281.817
2042	41.889	-	791				365	15.289.664	-	288.862
2043	43.081	-	811				365	15.724.578	-	296.084
Total TMDA acumulado a 20 años								243.061.037	-	4.717.236
Factor Vehículo								0,002	0,8	2,59
Totales E.E								486.122	-	12.229.078
Factor de Dirección								0,50	0,50	0,50
Factor de Pista								0,80	0,80	0,80
Ejes Equivalentes acumulados								194.449	-	4.891.631
Ejes Equivalentes de Diseño para 20 años										**5.086.080**

Ing. Leandro Rojas Molin
Director de Proyecto
CONSORCIO DEL SUR

1.2.5 Diseño Estructural del Pavimento Asfáltico por el Método AASHTO

En la metodología AASHTO-93 para diseño de estructuras de pavimento flexible, se presenta un modelo o ecuación a través de la cual se obtiene el parámetro llamado número estructural (SN) cuyo valor además de ser un indicativo del espesor total requerido del pavimento, es función del tránsito y la confiabilidad entre otros.

Para la determinación de este parámetro se puede utilizar un ábaco, en el cual se ingresa con el valor de la confiabilidad y conociendo los valores de los demás parámetros como son el tránsito, la desviación estándar, la confiabilidad y el índice de serviciabilidad, se obtiene el SN el cual es un valor fundamental para la determinación de los espesores finales de las diferentes capas que conforman la estructura de pavimento.

El presente informe expone el diseño de la estructura de pavimento a través de la utilización de una planilla Excel dinámica AASHTO-93 la cual nos permite obtener los números estructurales de la estructura de pavimento en estudio, de una manera rápida y sin la utilización de ábacos, así como la obtención de los espesores mínimos de las capas asfálticas, de base y subbase, de manera que las tensiones que se generarían no originen fallas en la subrasante ni en las propias capas asfálticas.

1.2.5.1 Variables de diseño que intervienen en el modelo aashto-93

La metodología AASHTO-93 para diseño de pavimentos asfalticos emplea un modelo o ecuación a través de la cual se obtiene el parámetro denominado número estructural (SN) el cual es fundamental para la determinación de los espesores de las capas que conforman el pavimento las cuales son la capa asfáltica, la capa de base y la capa de subbase. Como se dijo anteriormente, esta ecuación está en función de unas variables de diseño tales como el tránsito, la desviación estándar, la confiabilidad y el índice de serviciabilidad entre otros.

Ing. Leoncio Rojas Molina
Director de Proyecto
CONSORCIO DEL SUR

A continuación, se presenta la ecuación 1 indicando el significado de cada variable o parámetro involucrado:

Ecuación 1

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

Dónde:

W_{18}: Número estimado de ejes equivalentes de 8.2 toneladas en el período de diseño.

Z_R: Desviación estándar normal, nivel de confiabilidad

So: Error estándar combinado de la predicción del tráfico y de la predicción del comportamiento estructural

Pi: Índice de Serviciabilidad inicial

Pf: Índice de Serviciabiliad final

M_R: Módulo resiliente

SN: Número estructural

De la ecuación 1 se obtiene el valor del número estructural (SN) para luego determinar un conjunto de capas cuyos espesores (Di) igualen o superen el número estructural calculado (SN) a partir del módulo resiliente de la subrasante, a través de la ecuación 2.

La ecuación 2 es función del coeficiente estructural (ai), el cual se define como la relación empírica entre el número estructural (SN) y el espesor de la capa (Di). También se define como la capacidad del material para funcionar como un componente estructural del pavimento.

Ecuación 2

$$SN = a_1D_1 + a_2D_2m_2 + a_3D_3m_3$$

Ing. Leoncio Rojas Molina
Director de Proyecto
CONSORCIO DEL SUR

Dónde:
ai: Coeficiente estructural de la capa i.
Di: Espesor de la capa i en pulgadas.
mi: Coeficiente de drenaje de la capa i.

Capas de Concreto Asfáltico

Para la obtención del coeficiente estructural de la mezcla asfáltica (a1), se puede emplear la Figura 1 la cual es función del módulo elástico de la mezcla asfáltica en libras/pulgada2. Entrando a la Figura 1 con el valor del módulo se obtiene el coeficiente de aporte estructural a1 correspondiente a la capa de material asfáltico. Es importante aclarar que el valor del aporte estructural obtenido de la Figura 1, es para un módulo de mezcla a una temperatura de 20 °C de acuerdo a lo estipulado en la guía AASHTO

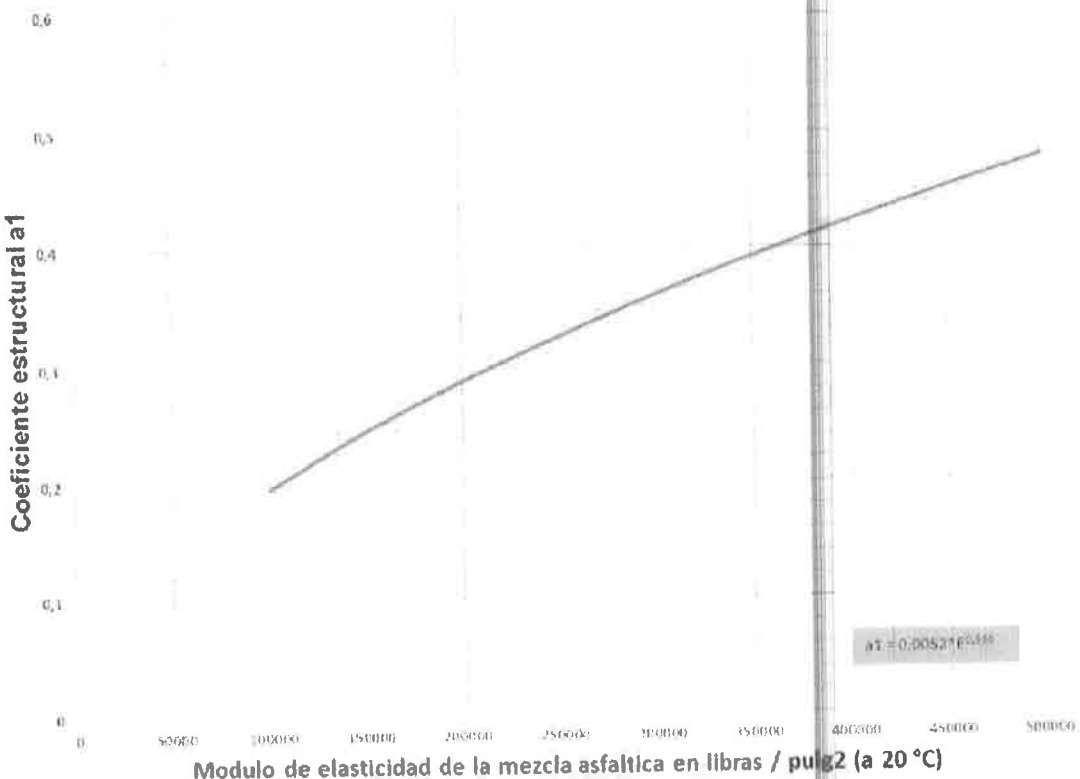


Figura 1. Grafico para determinar el coeficiente estructural (a1) de la mezcla asfáltica. Fuente: AASHTO Guide for designing of pavement Structures 1993

Ing. Leoncio Rojas Molina
Director de Proyecto
CONSORCIO DEL SUR

También se utiliza la siguiente fórmula propuesta por la Guía de Diseño de Pavimentos AASHTO 93 que relaciona el coeficiente de capa con la Estabilidad Marshall:

$a_1 = 0{,}0052 \cdot E0{,}555$ E en MPa

$a_1 = 0{,}0078 \cdot EM^{0{,}441}$ EM: Estabilidad Marshall en N(Newton)

Para una carpeta de concreto asfáltico con una estabilidad igual o mayor a 9.000 Newton (917 kg), se adopta un coeficiente estructural a1 = 0,43 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 la obtención del coeficiente estructural de la base granular a2, se puede emplear la Figura 2 mostrada a continuación:

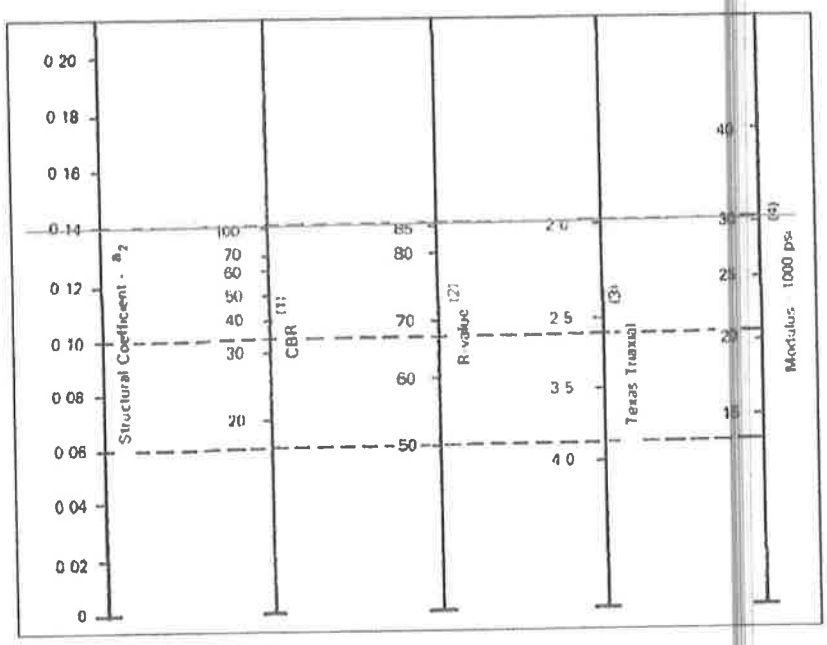


Figura 2. Gráfico para determinar el coeficiente estructural (a2) de la base granular.

Fuente: AASHTO Guide for designing of pavement Structures 1993

Ing. Leoncio Rojas Molina
Director de Proyecto
CONSORCIO DEL SUR

También 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.

La figura 2 expone un Abaco que relaciona el coeficiente estructural de la capa de base en función a diferentes parámetros de resistencia.

El coeficiente estructural de 0.14 está asignado a una base granular con CBR 100% o un módulo efectivo de 30.000 psi (207 MPa).

Sub Bases Granulares

Para la obtención del coeficiente estructural de la Subbase granular a3, se puede emplear la Figura 3 mostrada a continuación:

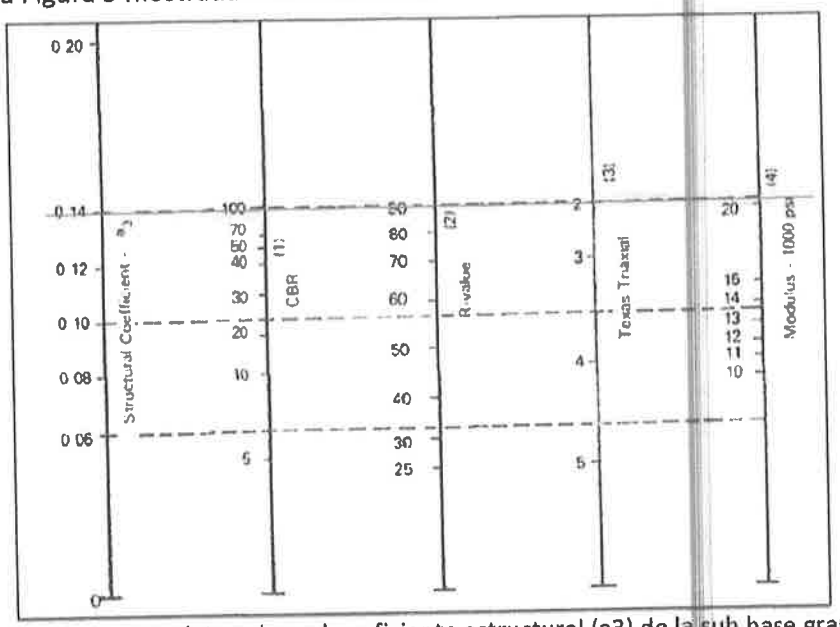


Figura 3. Gráfico para determinar el coeficiente estructural (a3) de la sub base granular.
Fuente: AASHTO Guide for designing of pavement Structures 1993

Ing. Leoncio Rojas Molina
Director de Proyecto
CONSORCIO DEL SUR

También se utiliza la siguiente fórmula que relaciona el coeficiente de capa con el ensayo CBR:

$$a_3 = 0{,}058 \cdot (CBR)^{0{,}19}$$

Para una sub base estabilizada de suelo agregado con CBR igual o mayor a 100%, se adopta un coeficiente estructural a**3 = 0,14 cm.**

La figura 3 expone un Abaco que relaciona el coeficiente estructural de la capa de sub base en función a diferentes parámetros de resistencia.

El coeficiente estructural de 0.14 está asignado a una sub base granular con CBR 100% o un módulo efectivo de 21.000 psi (145 MPa).

Nótese que para el mismo número estructural de 0.14, y el mismo CBR de 100%, el Módulo efectivo de la sub base es menor al de la base, considerando el estado de tensiones a ese nivel.

Coeficientes de drenaje (m)

Para la obtención de los coeficientes de drenaje de los materiales de base y subbase se emplean los criterios recomendados por la AASHTO de acuerdo a la tabla 1:

Tabla 1. Valores recomendados de coeficientes de drenaje (m_i)

CARACTERISTICAS DEL DRENAJE	AGUA EVACUADA EN	PORCENTAJE DE TIEMPO EN EL AÑO, QUE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO ESTA EXPUESTA A UN NIVEL DE HUMEDAD			
		<1%	1% - 5%	5% - 25%	>25%
EXCELENTE	2 HORAS	1,40 - 1,35	1,35 - 1,30	1,30 - 1,20	1,2
BUENO	1 DIA	1,35 - 1,25	1,25 - 1,15	1,15 - 1,00	1,0
REGULAR	1 SEMANA	1,25 - 1,15	1,15 - 1,05	1,00 - 0,80	0,8
POBRE	1 MES	1,15 - 1,05	1,05 - 0,80	0,80 - 0,60	0,6
MUY MALO	NO DRENA	1,05 - 0,95	0,95 - 0,75	0,75 - 0,40	0,4

Fuente: AASHTO Guide for designing of pavement Structures 1993

En el presente proyecto se han adoptado los siguientes valores considerando un buen drenaje:

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

Ing. Leonardo Rojas Molina
Director de Proyecto
CONSORCIO DEL SUR

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.

Tabla 4.2.5: Valores recomendados de Confiabilidad y desviación estándar (AASHTO 93)

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:

- Nivel de confiabilidad adoptado: 0,80
- Desviación estándar combinado para pavimentos flexibles: 0,44

Serviciabilidad

La serviciabilidad se define como la capacidad que tiene un pavimento para servir a la clase de tránsito que lo va a utilizar. Teóricamente este se define como el índice de serviciabilidad inicial menos la serviciabilidad final. Un valor de 5 para la serviciabilidad inicial indica un pavimento en condiciones totalmente perfectas lo cual es imposible de encontrar en la práctica, y un valor de 0 para una serviciabilidad final indica un pavimento totalmente destruido. En este caso se tomará una serviciabilidad inicial de 4.2 y una serviciabilidad final de 2.2, por lo que el índice de serviciabilidad será:

Para este proyecto se adoptaron los siguientes valores:

- Índice de Serviciabilidad Inicial pavimento flexible: 4.2
- Índice de Serviciabilidad Final: 2.2

Ing. Leoncio Rojas Molina
Director de Proyecto
CONSORCIO DEL SUR

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 (MR).

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

$$Mr = 17{,}6 \times CBR^{0{,}64} \text{ (MPa) } 2 < CBR < 12$$

$$Mr = 22{,}1 \times CBR^{0{,}55} \text{ (MPa) } 12 < CBR < 80$$

Cálculo del Módulo elástico del sistema bicapa: 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 o modulo compuesto del suelo de fundación con subrasante de diferentes capacidades de soporte o sea bicapas, 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.

Ing. Leonardo Rojas Molina
Director de Proyecto
CONSORCIO DEL SUR

El M_R de una subrasante que incluya capa de mejoramiento se determina de:

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

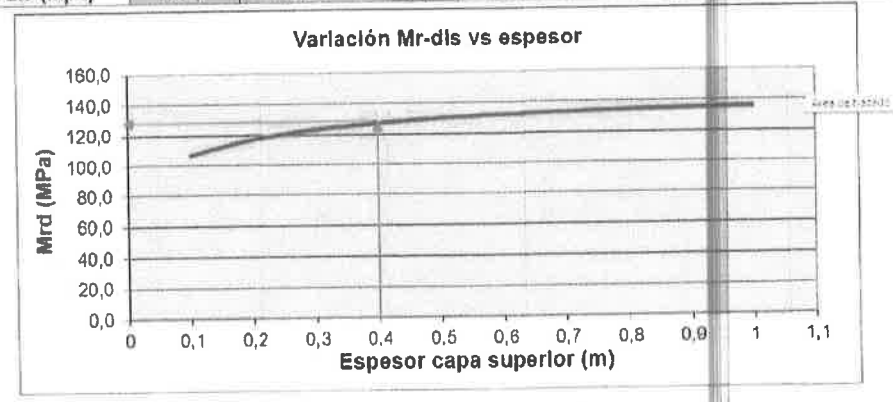
Donde

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

M_{Rd} = Módulo resiliente de diseño.
F=Factor dado por la ecuación anterior.
M_{R0} =Módulo resiliente de la subrasante o capa de orden 0 (MPa).
M_{R1} =Módulo resiliente de la capa de orden 1 (MPa).
H = Espesor de la capa de orden 1 (m).

Se asume que el valor soporte para el terraplén por refulado es de CBR ≥ 15 %, una capa de mejoramiento con CBR ≥ 30 % de 40 cm de espesor; el módulo característico de diseño de ambas capas combinadas se estima en **127 MPa**. Equivalente aproximadamente a un suelo con **CBR 24 %.**

Espesor (m)	0,1	0,15	0,2	0,3	0,5	0,7	1
F	1,1	1,1	1,2	1,3	1,3	1,4	1,4
Mr-dis (Mpa)	106,7	112,4	117,1	123,5	130,1	133,5	136,2



Espesor capa superior (m)

Figura 4.2.2.a: Variación del Mr de Diseño de acuerdo al espesor de capa de mejoramiento

Ing. Leoncio Rojas Molina
Director de Proyecto
CONSORCIO DEL SUR

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.

Tabla 4: Coeficientes de drenaje (m) – AASHTO

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= 1.0

m_3= 1.0

1.2.5.2 Calculo del Número Estructural para pavimentos flexibles (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 serviciabilidad determinada.

La Fórmula general es la siguiente:

Ing. Leoncio Rojas Molin
Director de Proyecto
CONSORCIO DEL SUR

MÉTODO DE DISEÑO AASHTO ASFALTO

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

W_{18} = Ejes equivalentes de diseño
SN = Numero Estructural (in)
p_i = Índice de serviciabilidad inicial
p_f = Índice de serviciabilidad final
M_r = Módulo Resiliente
Z_r = Nivel de Confiabilidad
S_o = Desviación Estándar Comb.

$$SN = a_1D_1 + a_2D_2m_2 + a_3D_3m_3$$

a_i = Coeficiente Estructural
m_i = Coeficiente de drenaje

1.2.5.3 Vida útil en Ejes Equivalentes

La verificación de los paquetes estructurales y las alternativas propuestas para la traza principal se resume a continuación:

Tabla 5: Paquete estructural para Vida útil de 20 años

COSTANERA SUR			
Paquete estructural PROPUESTO			
Capa	**Descripción**	**Espesor (cm)**	**Características**
1	Carpeta de Concreto Asfáltico convencional	6	EM 9000 N
2	Capa Intermedia de Concreto Asfáltico	8	EM 8000 N
3	Base Granular Estabilizada 90/10	17	CBR 100 %
4	Sub Base Granular Estabilizada 90/10	20	CBR 100 %
5	Subrasante Mejorada	40	CBR 30 %
6	Terraplén por Refulado		CBR 15 %

Ing. Leoncio Rojas Molina
Director de Proyecto
CONSORCIO DEL SUR

Las verificaciones de los paquetes estructurales se resumen a continuación:

Memoria de Cálculo: Diseño Pavimento Flexible
Método AASHTO-93

AVDA. COSTANERA SUR

Periodo de diseño: 20 años

Datos de Diseño:

1.	Tránsito: EE acumulados a 20 años	5.086.080	
2.	Suelo de Fundación: CBR	24,0	%

Datos de Proyecto:

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

Cálculo Parámetros Fórmula AASHTO-93:

7.	Variación Índice de Serviciabilidad (ΔPSI)	2,0	
8.	Módulo Resiliente Subrasante (Mr)	126,9	MPa
9.	Coeficiente de Confiabilidad	0,842	

10. Cálculo del Número Estructural Requerido:

NE Requerido para estructura	7,42	1/pulg
NE Requerido para carpeta asfáltica	5,54	1/pulg

11. Diseño Estructura de Pavimento:

11.1 Coeficiente Estructural:

	ai	mi
Capa 1: Mezcla Asfáltica en Caliente. Estabilidad Marshall 9.000 N	0,430	
Capa 2: Mezcla Asfáltica en Caliente. Estabilidad Marshall 8.000 N	0,410	
Capa 3: Base Granular Estabilizada, (90-10)CBR min. 100%	0,140	1,00
Capa 3: Subbase Granular Estabilizada,(90-10)CBR min. 100 %	0,130	1,00
Capa 4: Subrasante de Suelo mejorado , CBR min. 30 %		

11.2 Diseño de Espesores:

	Espesor (cm)	ai	mi	NEi (cm)	
Capa 1 : Mezcla Asfáltica ,Rodadura	**6,0**	0,430		2,58	
Capa 2 : Mezcla Asfáltica, Base negra	**8,0**	0,410		3,28	
Capa 3: Base granular estabilizada	**17,0**	0,140	1,00	2,38	
Capa 4: Subbase granular estabilizada	**20,0**	0,140	1,00	2,80	
Capa 5 : Subbrasante mejorada					
	51,0	NUMERO ESTRUCT.		11,04	OK
			SN	4,35	1/cm
			N.E. Asf.	5,86	OK

Ing. Leoncio Rojas Molina
Director de Proyecto
CONSORCIO DEL SUR

Conclusión1: Los aportes estructurales de las capas propuestas con sus diferentes espesores, considerando la situación de tener un suelo de fundación con material refulado capacidad de soporte CBR ≥15, y posterior aplicación de una capa de subrasante mejorada con un CBR ≥ 30 % y de cuyo análisis a nivel de bicapa (suelo de fundación + suelo mejorado) nos permite como resultante un valor combinado de capacidad de soporte relativamente alto CBR ≥ 24, con este valor y la aplicación de los valores de las otras variables de proyecto junto con los espesores de las capas superiores del paquete estructural : subbase granular estabilizada de 20 cm de espesor , base granular estabilizada de 17 cm de espesor , base negra de 8 cm , carpeta de rodadura de concreto asfáltico convencional 6 cm de espesor , nos permite obtener un número estructural bastante holgado, muy superior al número estructural mínimo requerido para superar una vida útil expresado en **$N_{8.2\ ton}$ = 5.086.080 Ejes equivalentes de diseño para 20 años.**

Ing. Leoncio Rojas Molina
Director de Proyecto
CONSORCIO DEL SUR

1.2.5.4 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.

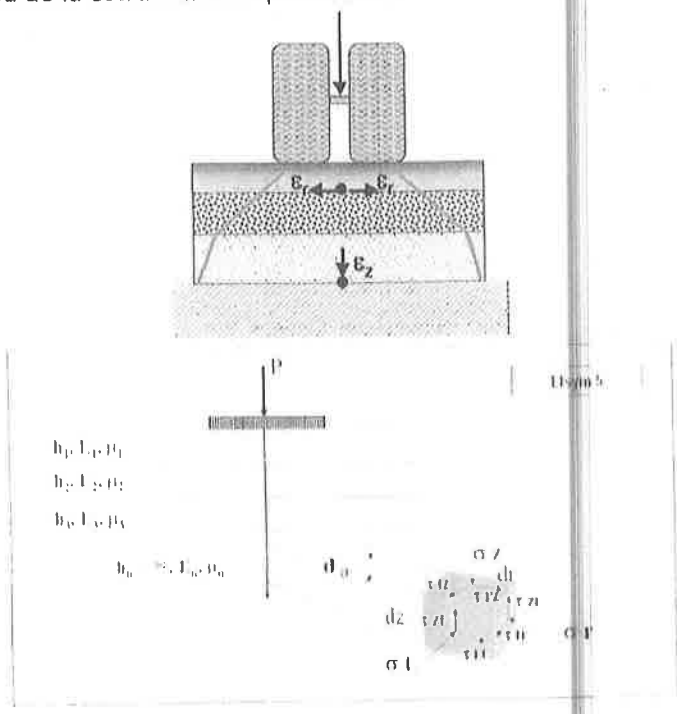


Figura 4.2.5: Esquema de análisis por Método Mecanístico

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.

Ing. Leonardo Rojas Molina
Director de Proyecto
CONSORCIO DEL SUR

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.

1.2.5.4.1 Módulo Elástico de las capas asfálticas

Ante la dificultad de obtener lo 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 Modull for Asphalt Layers suggested by Freeme (11)

Material group	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	1500	1000	500
	50 - 150	6000	4500	7000	4000	1000	500
	150 - 250	7000	5500	8000	6000	1000	500
Continuously graded	0 - 50	6000	2500	7000	4000	750	500
	50 - 150	8000	5500	9000	6000	1000	750
	150 - 250	9000	7500	10000	8000	1000	750

Figura 1: Módulos elásticos para capas asfálticas (Freeme)

Ing. Leonardo Rojas Molin
Director de Proyecto
CONSORCIO DEL SUR

Para una mezcla de granulometría continua, para una carpeta de 6 cm de espesor y la temperatura entre 20 y 40 grados centígrados, adoptamos un valor promedio del rango propuesto por la tabla, adoptamos un Módulo de **4500 MPa** para **AC**.

1.2.5.4.2 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:

TABLE 6: 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 - 800 (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 - 600 (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)

Figura 2: Módulos elásticos de las capas granulares

La base granular con CBR 100 % corresponde a un material tipo **G1**, en este caso sobre una capa de sub base granular estabilizada, se adopta un módulo elástico de **300 Mpa.**

Ing. Leoncio Rojas Molina
Director de Proyecto
CONSORCIO DEL SUR

La SUB base granular CBR ≥ 100 % corresponde a un material tipo **G2**, en este caso sobre una capa de suelo mejorado, se adopta un módulo elástico de **250 Mpa.**

1.2.5.4.3 Módulo de la Subrasante

Se aplica lo indicado en el resultado del módulo compuesto

Soil = 127 Mpa.

1.2.5.4.4 Definición de las Cargas

Caracterización del Tránsito

- Eje Equivalente: ESRD 80 kN. (8,16 Ton)
- Presión por Rueda: 520 kPa. (80 psi)
- Distancia entre Ruedas: 350 mm.
- Tipo de Camino:

TABLE 1: Road Categories and Approximate Design Reliabilities used in South Africa

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	80

Se adopta el eje Estandar 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.

Ing. Leoncio Rojas Molina
Director de Proyecto
CONSORCIO DEL SUR

1.2.5.5.5 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 introducen los datos en el programa informatico del cual calcula 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 terminos de ejes equivalentes.

Tabla 5: Paquete Propuesto para vida util de 20 años

COSTANERA SUR				
Verificación de la Vida Útil de las Capas				
Layer	Capas	Espesores (mm)	Módulo Elástico (Mpa)	Vida útil capas (EE)
CA	Carpeta Concreto Asfáltico convencional	140	4500	*6,97E+06*
	Carpeta Concreto Asfáltico -base negra			
CA	Base Granular estabilizada	170	300	*6,34E+13*
G1	Sub Base Granular estabilizada	200	250	*1,00E+15*
Soil	terraplen por refulado + suelo mejorado		127	*7,75E+09*

Según este modelo de comportamiento estructural, que considera como tipos de falla la fisuración de la carpeta asfáltica y el ahuellamiento por deformación de la subrasante mayor a 10 mm; y considerando una confiabilidad del 90 %, se ha verificado que la vida útil en ejes equivalentes confirma los espesores obtenidos con el método AASHTO 93.

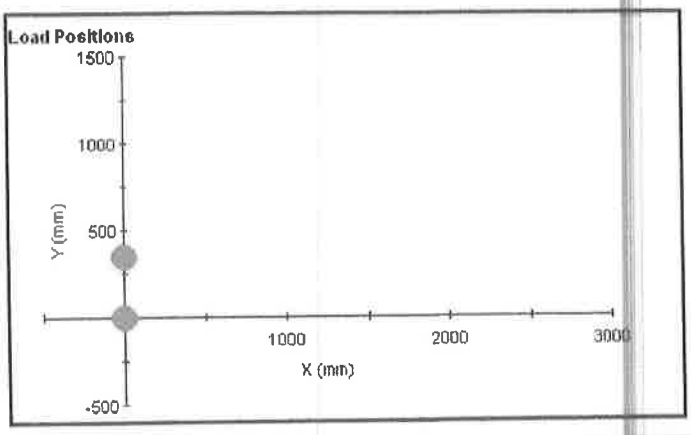
Como **se verifica** en el cuadro tanto la **carpeta asfáltica** como así también la **subrasante** los valores de la vida útil dado en Ejes Equivalentes son muy superiores a los Ejes Equivalentes de Diseño equivalentes a **N $_{8.2\ ton}$ = 5.086.080 Ejes equivalentes de diseño para 20 años.**

Ing. Leoncio Rojas Molina
Director de Proyecto
CONSORCIO DEL SUR

GOBIERNO NACIONAL – Paraguay de la gente – MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS Y COMUNICACIONES	CONSORCIO DEL SUR – EUROFINSA - T&CSA	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA AV. COSTANERA SUR – FASE I	
PAQUETE ESTRUCTURAL		Nº. CONTRATO: M.O.P.C. S.G. MINISTRO 492/2019	PAG 23/27
		Nº. DOCUMENTO: ACS-MOPC-CDS-ANX-009	REV. 3

AVDA. COSTANERA SUR

DESCRIPCION: DESIGNACIÓN DE PARAMETROS DE DISEÑO - CARPETA ASFALTICA

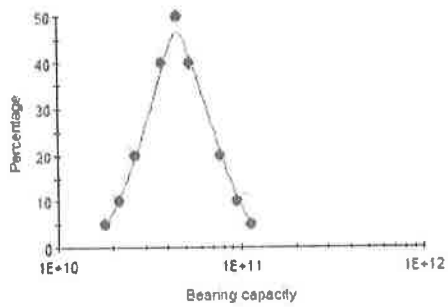


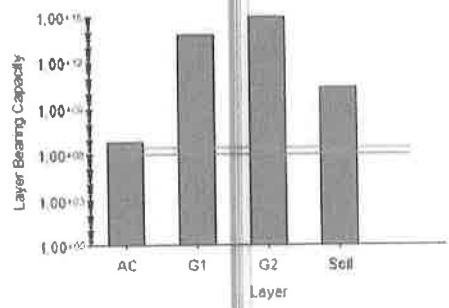
Layer No	ASPHALT Material Code	ASPHALT Horizontal Tensile Strain	CEMENTED Vertical Compressive Stress	CEMENTED Horizontal Tensile Strain	CEMENTED Stress Ratio	CEMENTED Strain Ratio	GRANULAR Major Principal Stress	GRANULAR Minor Principal Stress	GRANULAR Safety Factor	SUBGRADE Vertical Compressive Strain
1	AC	123.530					-67.7	5.2	3.867	
2	G1						-34.8	9.2	5.026	
3	G2									-201
4	Soil									
5										

- Compression + Tension	Stresses are in kPa Strains are in microstrains

ASPHALT	GRANULAR	SUBGRADE
$N = 10^{a\left(1 - \frac{\log(\varepsilon_t)}{B}\right)}$	$N = 10^{(A \times F + B)}$ $F = \frac{\sigma_1 \times \phi + c_{mod}}{(\sigma_1 - \sigma_3)}$	$N = 10^{(A - B \times \log(\varepsilon_v))}$ CEMENTED SUB BASE $N = 10^{a\left(1 - \frac{\sigma_t}{R \times \sigma_c}\right)}$

Ing. Leoncio Rojas Molina
Director de Proyecto
CONSORCIO DEL SUR





Layer Bearing Capacities

Layer	Life	Cemented Life
AC	6.972e+006	
G1	6.344e+013	
G2	1.000e+015	
Soil	2.186e+010	

Crushing in Cemented Layers

Crush Init.	Adv. crushing

Percentile: 90%

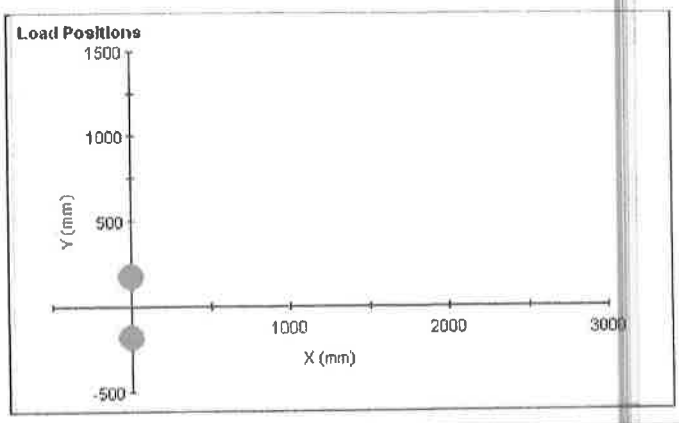
Layer	Phase Life	Residual after Phase 1	Phase Life	Equivalance Factor	Residual bef. Phase	Residual after Phase 2	Phase3 Life	Equivalance Factor	Residual bef. Phase	Layer Life	Cemented Life
AC	6.97226e+006	0.	0.	0.	0	0.	0.	0.	0.	6.97226e+006	
G1	6.34401e+013	0.	0	0	0	0.	0.	0	0.	6.34401e+013	
G2	1.e+015	0.	0.	0.	0	0.	0.	0	0.	1.e+015	
Soil	2.18608e+010	0	0.	0	0	0	0.	0	0.	2.18608e+010	

Ing. Leoncio Ríos Molina
Director de Proyecto
CONSORCIO DEL SUR

GOBIERNO NACIONAL — Paraguay de la gente — MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS Y COMUNICACIONES	CONSORCIO DEL SUR — EUROFINSA - T&CSA	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA AV. COSTANERA SUR – FASE I	
PAQUETE ESTRUCTURAL		Nº. CONTRATO: M.O.P.C. S.G. MINISTRO 492/2019	PAG 25/27
		Nº. DOCUMENTO: ACS-MOPC-CDS-ANX-009	REV. 3

AVDA. COSTANERA SUR

DESCRIPCION: DESIGNACIÓN DE PARAMETROS DE DISEÑO - SUBRASANTE



	ASPHALT		CEMENTED				GRANULAR			SUBGRADE
Layer No	Material Code	Horizontal Tensile Strain	Vertical Compressive Stress	Horizontal Tensile Strain	Stress Ratio	Strain Ratio	Major Principal Stress	Minor Principal Stress	Safety Factor	Vertical Compressive Strain
1	AC	118.468								
2	G1						-65.7	5.6	3.960	
3	G2						-36.7	10.3	4.695	
4	Soil									-223
5										

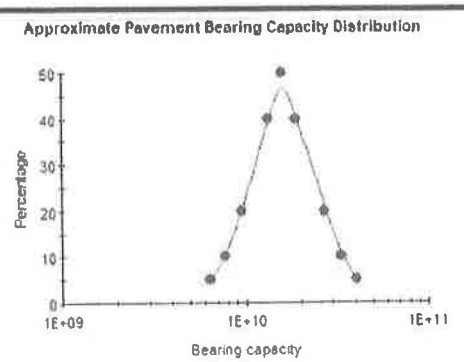
- Compression
+ Tension

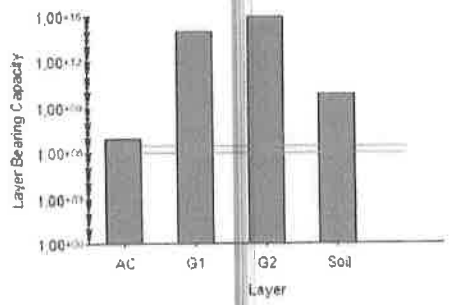
Stresses are in kPa
Strains are in microstrains

ASPHALT	GRANULAR	SUBGRADE
$N = 10^{A\cdot\left(1-\frac{\log(\varepsilon_t)}{B}\right)}$	$N = 10^{(A\cdot F+B)}$ $F = \frac{\sigma_3 \times \phi + c_{(kPa)}}{(\sigma_1 - \sigma_3)}$	$N = 10^{(A\cdot\log(\varepsilon_c)+B)}$ CEMENTED SUB BASE $N = 10^{A\cdot\left(1-\frac{\varepsilon_c}{B\cdot\varepsilon_{cc}}\right)}$

Ing. Leonardo [illegible] Molin[illegible]
Director de Proyecto
CONSORCIO DEL SUR

GOBIERNO NACIONAL — Paraguay de la gente — MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS Y COMUNICACIONES	CONSORCIO DEL SUR — EUROFINSA - T&CSA	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA AV. COSTANERA SUR – FASE I	
PAQUETE ESTRUCTURAL		Nº. CONTRATO: M.O.P.C. S.G. MINISTRO 492/2019	PAG 26/27
		Nº. DOCUMENTO: ACS-MOPC-CDS-ANX-009	REV. 3





Layer Bearing Capacities

Layer	Life	Cemented Life
AC	8.465e+006	
G1	1.111e+014	
G2	1.000e+015	
Soil	7.749e+009	

Crushing in Cemented Layers

Crush Init.	Adv. crushing

Percentile: 90%

Layer	Phase Life	Residua after Phase 1	Phase Life	Equivalence Factor	Residual bef. Phase	Residual after Phase 2	Phase3 Life	Equivalence Factor	Residual bef. Phase	Layer Life	Cemented Life
AC	8.46461e+006	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	8.46461e+006	
G1	1.11091e+014	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	1.11091e+014	
G2	1.e+015	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	1.e+015	
Soil	7.74917e+009	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	7.74917e+009	

Ing. Leoncio Rojas Molina
Director de Proyecto
CONSORCIO DEL SUR

1.2.5.5.6 CONCLUSION 2

Partiendo de la premisa en base a las consideraciones iniciales, de que el tramo en estudio Avda. Costanera Sur, se encuentra emplazado en una zona cuya variabilidad térmica no es considerada extrema, pues las **temperaturas máximas diarias medias oscilan entre 24 y 33 grados**, inclusive en algunas partes del país los valores alcanzan hasta 36 grados durante el día y en los meses más fríos, la temperatura baja por la noche, dependiendo de la región, hasta 12°C en promedio mensual, por tanto, la hipótesis principal para el análisis del presente rediseño estructural es que las estadísticas así lo demuestran que las variabilidades de las temperaturas en el área de emplazamiento de la obra no son consideradas extremas.

Esta hipótesis nos permitió modelar un paquete estructural cuya capa de rodadura está diseñada con mezcla asfáltica convencional y para el efecto se ha demostrado que tanto con la aplicación de La metodología AASHTO-93 como así de la metodología empírico mecanicista los valores resultantes son muy superiores a los valores requeridos en los puntos de fallas del pavimento y por tanto podemos concluir que el **paquete estructural propuesto** , con sus respectivos espesores y tipo de material tanto para carpeta asfáltica, base asfáltica ,base granular , sub base granular y material de refuerzo propuesto , no generaran las tensiones ni deformaciones que sobrepasen los límites admisibles y que según los análisis realizados presentan un **incremento de la vida útil del pavimento a nivel carpeta asfáltica** y la certeza que la **subrasante no fallará por deformaciones verticales** en un tiempo muy superior a la vida útil de proyecto.

Es mi informe.

Ing. M.Sc. Milciades Benítez

Ing. Leonardo Rojas Molina
Director de Proyecto
CONSORCIO DEL SUR

6 (seis)

Paraguay de la gente

Ministerio de
OBRAS PÚBLICAS
Y COMUNICACIONES

MESA DE ENTRADA ÚNICA
EXPEDIENTE Nº 8620/2023

TITULAR:
CONSORCIO DEL SUR

NOMBRE Y APELLIDO:
FRANCISCO GRIÑÓ

TELEFONO:
021 - 671 - 005

CORREO ELECTRONICO:

REFERENCIA:
1F. LLAMADO MOPC Nº 123/2017. REMITE PROPUESTA DE AJUSTE Y/O PRECISION DE LAS ESPECIFICACIONES TECNICAS DE MATERIALES PARA LA CONSTRUCCION DE LA CARPETA CONCRETO

FACTURA: Nro. 0 **Monto: GS.** 0

USUARIO/FECHA/HORA DE REGISTRO.:

SARDIAN 15/02/2023 13:54:34

CONSULTA AL : 021-4149000

"La recepción del documento no implica conformidad ni aceptación de su contenido. Sujeto a verificación y control por parte de los órganos intervinientes\"

Ing. Leoncio Rojas Molina
Director de Proyecto
CONSORCIO DEL SUR

5(cinco)

CONSORCIO PROSUL - AII

PROSUL AII Asistencia Integral de INGENIERÍA

Asunción, 17 de febrero de 2023

Nota CS N° 310/2023

Sr.
Ing. Víctor Olmedo
Director
Dirección de Vialidad
Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones
Presente

MOPC UEPE 249
A
17/02/23

Ref.: Llamado MOPC N° 09/2019. Licitación Pública Internacional de Firmas Consultoras para la Fiscalización de las Obras de la Avenida Costanera Sur - Ad Referéndum a la firma del contrato de obra. ID N° 355700. **Contrato S.G. MINISTRO N° 596/2019.**

Carpeta de rodadura de la Avda. Costanera Sur.

De nuestra consideración:

Tenemos el agrado de dirigirnos a Ud. en relación a la Nota CDS N° 24/2023 del Contratista y que nos fuera remitida por el MOPC por medio de nota DV N° 335/2023 de fecha 16/02/2023, por medio del cual el Contratista se expide respecto al ajuste y/o precisión de las Especificaciones Técnicas de los materiales para carpeta de concreto asfáltico, así como el informe del Especialista de Pavimento del Contratista y en la que solicitan parecer de la Fiscalización.

En ese sentido, el especialista en pavimentos de esta Fiscalización ha procedido a la evaluación de dicha documentación en la cual concluye, que **la no utilización del cemento asfáltico con polímeros, no afectaría ni los espesores obtenidos, ni la duración prevista**, y menciona también, que a pesar de que los métodos de diseño de pavimentos no indiquen específicamente el requerimiento de utilización de cemento asfaltico con polímeros, la propuesta original de la contratista de utilizar cemento asfaltico con polímeros para la capa de rodadura, tenía su fundamento en el mejoramiento efectivo de desempeño del pavimento, de acuerdo con la investigación del Instituto del Asfalto, expuesto en este informe que se adjunta.

Asimismo, atendiendo a la diferencia de costos entre el cemento asfáltico convencional y el cemento asfaltico con polímeros, correspondería la compensación del monto total a ser determinado, a efectos de la ejecución de obras extraordinarias complementarias requeridas para la obra, conforme a lo indicado por la Contratista en su nota.

Mediante lo expuesto, sometemos a consideración MOPC y quedamos a disposición para eventuales esclarecimientos necesarios.

Sin otro particular, aprovechamos para saludarlo con la consideración más distinguida.

Ing. Jonny Báez Benítez
Representante Legal
Consorcio PROSUL – AII

cc: Ing. Javier Recalde. Coordinador Interino. Unidad Ejecutora de Proyectos Estratégicos – MOPC
Ing. Cristóbal Cohene. Supervisor de Obra – MOPC.

Río de Janeiro N° 1.238 casi Juan Manuel Frutos Pane. Telefax: (595 21) 228 626 – (595 983) 451 314
e-mail: consorcioprosulaii@gmail.com
Asunción - Paraguay

DIRECCIÓN DE VIALIDAD
Adrián Balbuena
13:45hs

Ing. Leoncio Rojas Molin
Director de Proyecto
CONSORCIO DEL SUR

FISCALIZACION DE LA CONSTRUCCION DE LA AVENIDA COSTANERA SUR

INFORME TECNICO

El Consorcio Contratista de Obra, ha remitido la Nota CDS N° 24/2023 a la Dirección de Vialidad del MOPC, a través de la cual presentan a consideración la propuesta de ajuste y/o precisión de las Especificaciones Técnicas de los materiales para la construcción de la carpeta, específicamente el material bituminoso solido (cemento asfaltico), a efectos de ejecutar la carpeta asfáltica de toda la obra utilizando cemento asfaltico convencional, el cual se ajusta a las exigencias requeridas para el pavimento en cuanto a vida útil y comportamiento en general.

Atendiendo al hecho de la diferencia de costo entre el cemento asfaltico con polímeros y el cemento asfaltico convencional, la contratista expresa estar a disposición a fin de analizar las implicancias económicas que tendrá la implementación del ajuste propuesto, implicancias que deben ser discutidas entre las partes teniendo en cuenta además otros trabajos no previstos y cuya necesidad va surgiendo con el avance de los trabajos de este proyecto y de otros futuros proyectos a desarrollarse en estos mismos sitios.

El presente informe es elaborado en atención al pedido realizado por la Dirección de Vialidad, según Nota DV N° 335/2023, a través de la cual solicita el parecer de la fiscalización sobre la documentación presentada.

Marco Técnico del Anállsis

Los métodos de diseño estructural de pavimentos caracterizan los materiales componentes de la estructura con base a sus módulos elásticos o módulos resilientes para capas granulares. En relación con el concreto asfaltico, el método AASHTO 1993 considera un valor máximo de 450.000 psi (3.100 MPa) para el módulo elástico del material asignándolo en ese caso un coeficiente de aporte estructural de 0,44.

El valor máximo recomendado tenía su fundamento en que mayores módulos elásticos tenían por resultado materiales más rígidos propensos a la fisuración. Actualmente con el uso de los polímeros ya es posible elaborar concretos asfalticos de altos módulos con lo cual el aporte estructural de los mismos tendría mayores valores a 0,44. Sin embargo debe señalarse que el uso de asfalto con polímeros, de por si no incrementa el módulo elástico del concreto asfaltico, sino que esto requiere la formulación adecuada de la mezcla para dicho fin.

El diseño de la estructura del pavimento del proyecto de costanera sur, ha utilizado los coeficientes indicados en la Guía de diseño AASHTO 1993, con lo cual se han determinado los espesores de las diferentes capas del pavimento a fin de soportar el tráfico previsto en el periodo de servicio. De acuerdo a esto, y atendiendo las metodologías de diseño de pavimentos en uso, al no ser indicado específicamente un

Ing. Leoncio Rojas Molina
Director de Proyecto
CONSORCIO DEL SUR

3(Tres)

mayor modulo para el concreto asfaltico, estructuralmente se obtendrían similares resultados con cemento asfaltico convencional y cemento asfaltico con polímeros.

Sin embargo, lo mencionado precedentemente no significa que la elaboración de concreto asfaltico con cementos asfalticos con polímeros, no presenten una mejora en el desempeño final del pavimento. A efectos de ilustrar las mejoras posibles se expone en el siguiente apartado el resultado de una investigación desarrollada por el Instituto del Asfalto.

ESTUDIO DEL INSTITUTO DEL ASFALTO (USA) SOBRE LOS BENEFICIOS DEL USO DE ASFALTOS MODIFICADOS CON POLIMERO

En la unión americana en el año 2005 el Instituto del asfalto realizó un estudio muy completo sobre los beneficios de los cementos asfálticos PG modificados con polímero con el título de "Cuantificación de los efectos del asfalto modificado con polímero en la reducción de fallas en Pavimentos" identificado como IS-215 y ER-215.

El estudio analizó los datos del desempeño de campo de 84 sitios diferentes para comparar las fallas observadas en secciones de prueba de pavimento con asfalto modificado con polímero con otras que contenían asfaltos convencionales sin modificar.

Los sitios estaban ubicados en una variedad de climas, volúmenes de tráfico y secciones transversales de pavimento a través de América del Norte, e incluyen muchos sitios del programa de desempeño de pavimentos a largo plazo (LTPP).

Cada uno de los sitios contaba con una sección de asfalto modificado con polímero, así como otra con asfalto sin polímero que contenía las mismas características (con excepción del ligante).

Para cada par de secciones de asfalto polimerizado y sin modificar, se recabaron los datos de las fallas para compararlos en tres categorías de desempeño: deformación permanente (roderas) agrietamiento térmico (transversal) y agrietamiento por fatiga (piel de cocodrilo).

Tabla 1. Principales modificadores utilizados en USA

PORCENTAJE (%)	TIPO DE MODIFICADOR
80	SBS
45	SB
45	SBR Látex
19	Otros polímeros (EVA etc.)
12	Químicos (aceites, etc.)
16	Otros (GTR)
16	PPA
13	Otros químicos (aire a presión)

Ing. Leoncio Rojas Molin
Director de Proyecto
CONSORCIO DEL SUR

2(dos)

2(dos)

Comparación directa del desempeño

Una comparación directa de la cantidad de fallas medidas para las secciones de asfalto polimerizado en función de la cantidad de fallas en la sección sin modificar, mostró que en la mayoría de los casos la cantidad de fallas fue menor en la sección de asfalto modificado con polímero que en la sección con asfalto sin modificar.

Tabla 2. Tipos de fallas que se reducen con el uso de Asfalto modificado con polímero SBS

PORCENTAJE (%)	TIPO DE FALLA
68	Roderas
44	Agrietamiento por fatiga
47	Agrietamiento térmico
12	Otros

Si bien las comparaciones directas de los resultados de las secciones con asfalto polimerizado frente al desempeño de asfalto sin modificar son útiles, no responden a la pregunta de cuánta vida de servicio se gana por el uso del polímero.

Por lo anterior, en la última parte del reporte se generó un informe utilizando los modelos de predicción de fallas empírico mecanicistas (MPEG) para roderas y agrietamiento por fatiga relacionado a la carga para cuantificar las mejoras durante la vida útil. Los índices de daños se calcularon para condiciones del pavimento comparados con las mediciones de fallas en campo reales, tanto para las secciones de asfalto modificado como sin modificar para obtener diferentes "vidas de servicio esperadas." El incremento esperado de la vida de servicio en general fue de 2 a 10 años, como se muestra en la tabla 3, dependiendo del suelo, tráfico, clima, drenaje y las condiciones existentes en el pavimento. Más detalles se pueden encontrar en el IS- 215 ó ER-215.

Tabla 3. Incremento esperado de la vida de servicio de la mezcla asfáltica

CONDICIONES DE LA OBRA	DESCRIPCION DE LAS CONDICIONES		VIDA ADICIONAL
Clima, fluctuaciones de temperatura	Caliente	Caliente extremo	5 - 10
	Medio		2 - 5
	Frío	Frío extremo	3 - 6
Tráfico, Volumen de vehículos pesados	Bajo	Intersecciones	5 - 10
		Vías urbanas	3 - 6
		Cargas pesadas	5 - 10
	Moderado		5 - 10
	Alto		5 - 10

Ing. Leoncio Rojas Molina
Director de Proyecto
CONSORCIO DEL SUR

1(uno)

1(uno)

Conclusiones

De acuerdo a lo expuesto en el presente informe, la propuesta de sustitución de cemento asfaltico con polímeros por cemento asfaltico convencional para la elaboración del concreto asfaltico de la capa de rodadura se presentan las siguientes conclusiones:

1. Los valores estructurales utilizados para el diseño estructural del pavimento de la Obra de Costanera Sur corresponden a los indicados en la Guía de diseño AASHTO 1993, los cuales fueron obtenidos para concretos asfalticos con módulos elásticos que pueden ser elaborados con cemento asfaltico convencional. Por tanto, la no utilización del cemento asfaltico con polímeros, no afectaría ni los espesores obtenidos, ni la duración prevista.

2. Sin embargo, a pesar de que los métodos de diseño de pavimentos no indiquen específicamente el requerimiento de utilización de cemento asfaltico con polímeros, la propuesta original de la contratista de utilizar cemento asfaltico con polímeros para la capa de rodadura, tenia su fundamento en el mejoramiento efectivo de desempeño del pavimento, de acuerdo con la investigación del Instituto del Asfalto, expuesto en este informe.

3. Atendiendo a la diferencia de costos entre el cemento asfaltico convencional y el cemento asfaltico con polímeros, correspondería la compensación del monto total a ser determinado, a efectos de la ejecución de obras extraordinarias complementarias requeridas para la obra, conforme a lo indicado por la contratista en su nota.

Ing. MSc. Ruben Del Puerto Garabano

Especialista Vial de la Fiscalización

Ing. Leoncio Rojas Molina
Director de Proyecto
CONSORCIO DEL SUR