Anexo N° 3

Diseño del Paquete Estructural del Pavimento Propuesto para la Reconstrucción y Refuerzo de los Tramos Críticos

Ing. Jorge Regueiro

CONSORCIO
Río Tembey

Mario Silva
Supervisor - MOPC

ANEXO N° 3

DISEÑO DEL PAQUETE ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO PROPUESTO PARA LA RECONFORMACIÓN Y REFUERZO DE LOS TRAMOS CRÍTICOS.

1. INTRODUCCIÓN

Se presenta a continuación una descripción resumida de la metodología y de los criterios adoptados para el diseño y dimensionamiento del **Paquete estructural del pavimento de las Obras correspondientes a los tramos a ser Reconformación y Reforzados**, teniendo como principal finalidad optimizar técnica y económicamente la composición de las capas que lo conforman, a los efectos de ofrecer la resistencia necesaria ante las solicitaciones del tránsito imperante e incrementar su durabilidad, confort y seguridad durante la vida útil del mismo.

Con la solución que se plantea, se trata de reducir en lo posible los costos de operación del parque automotor y el tiempo de los usuarios, así como los costos de mantenimiento tanto preventivo como rutinario y periódico de las obras de rehabilitación del tramo, buscando así conseguir, por lo menos durante el período de análisis o vida útil de los diseños, el Nivel de Servicio que se propone en la presente propuesta.

El paquete estructural del pavimento, definido en el Pliego de bases y condiciones del Llamado a licitación N°24/2019 y en los Términos de Referencia incluidos en el contrato de obra, para el tramo empedrado a rehabilitar y pavimentar, toma como solución para la composición de las capas del pavimento, sobre una Subrasante de suelo natural de CBR≥5%, la siguiente estructura:

Capa	Descripción	Espesor (cm)
1	Carpeta de Concreto Asfáltico	6
2	Regularización Concreto asfáltico (45 kg/m2)	Variable
3	Pavimento tipo Empedrado (Existente)	20

2. ESTUDIOS REALIZADOS

Con la finalidad de tomar conocimiento de las condiciones fisiográficas imperantes en la zona de implantación del camino y de la situación real de la

Ing. Jorge Regueiro
CONSORCIO Río Tembey

Ing. Mario Silva
Supervisor - MOPC

problemática de la circulación vehicular en cada uno de los lugares inspeccionados, a ser rehabilitados de acuerdo con el contrato de obra suscrito para el efecto, tal y como se menciona en la Introducción de este documento de Justificación de los trabajos adicionales propuestos, los estudios realizados fueron los necesarios e indispensables para establecer, comparar y evaluar alternativas de diseño del paquete estructural del pavimento, en escenarios de tránsito y de comportamiento geotécnico compatibles con el periodo de servicios adoptado para cada uno de los lugares y trechos inspeccionados.

Con tal motivo, para el efecto, fueron realizados estudios de reconocimiento de campo, relevamiento de características geométricas y de condición superficial y estructural de los diferentes **trechos denominados críticos**, Ensayos de laboratorio y de gabinete, Estudios tanto topográficos como de tránsito, con los que se procesaron e hicieron las determinaciones pertinentes, como insumos indispensables para el diseño y dimensionamiento del pavimento de los tramos críticos, consistiendo básicamente dichos estudios en lo siguiente:

2.1. CARACTERÍSTICAS PREDOMINANTES DEL CAMINO EXISTENTE

Como puede apreciarse en la planimetría general del Proyecto y **como se observa en la Sección Tipo de la documentación contractual**, el trazado del camino a rehabilitar, coincidente en toda su extensión con el tramo existente, presenta una superficie de rodadura de tipo Empedrado de espesor= 20 cm., sustentada sobre una capa de Sub Rasante de Suelo Natural con CBR=5%.

Tal y como se muestra en los gráficos y planillas del Anexo N°1 correspondiente al Reconocimiento de tipo macro visual y al Relevamiento vial expeditivo realizado, existen muchos trechos del camino completamente deteriorados y prácticamente destruidos, con grandes roturas, hundimientos y desprendimiento de los materiales, lugares en los que será necesario realizar labores de Reconstrucción y Refuerzo de la estructura existente, consistentes básicamente como mínimo, en la remoción del empedrado, bacheos profundos, bacheos superficiales, regularización superficial y restitución del gálibo.

2.2. ANÁLISIS DE LOS ESTUDIOS DE TRÁNSITO

Como se ha indicado en la Introducción del documento de justificación y en la parte referente a Antecedentes y Coordinación con entes públicos y privados, por indicaciones de las autoridades de la DV, los Estudios de tránsito fueron realizados mediante el acopio y análisis de la información proporcionada por Estudios efectuados dentro de la jurisdicción territorial del Área de influencia directa del camino y lugares vecinos.

El documento de mayor importancia que sirvió de base para el análisis de los Estudios de tránsito que sirvieron como antecedentes para esta justificación, fue el **Estudio realizado por el Consorcio Consultor Central Consultant INC**

Ing. Jorge Regueiro
CONSORCIO
Río Tembey

Ing. Mario Silva
Supervisor - MOPC

(CCI) – Yachiyo Engineering Co., LTD (YEC), con relación a la Demanda del tránsito volumétrico solicitante, **clasificado por tipos de vehículos que circularán por la vía de acceso al Puerto de La Paloma**, con abundante información referente al tráfico de cargas y el flujo de las mismas en función de la información relacionada con la capacidad de almacenamiento de los Puertos localizados sobre la margen derecha del Río Paraná y los movimiento necesarios para la exportación de granos a través de dicho cauce hídrico, en correspondencia con la capacidad instalada y volumen de manejo de los Puertos, así como de la capacidad de aforo de las exclusas de la Represa de Yacyretá.

La recopilación de los antecedentes, consistió en un análisis expeditivo para la estimación de los tránsitos medios volumétricos diarios (TMDA) y la clasificación por tipo de vehículos, determinados en puestos de conteos volumétricos y de clasificación, y en encuestas de origen y destino, realizados por el Consorcio mencionado.

A través del análisis de los conteos volumétricos tomados de los referidos estudios que sirvieron como antecedentes, se estimaron a un nivel macro los TMDA existentes, a partir de los resultados de las matrices de origen y destino, así como los tránsitos derivados e inducidos, y con los conteos de clasificación fueron estimados, también a un nivel macro, los volúmenes según los tipos de vehículos que conforman los TMDA.

Los resultados de los conteos realizados por el Consorcio Japonés, fueron sometidos a los análisis y tabulaciones adecuadas, contemplando la expansión de los conteos volumétricos clasificados y el montaje de las matrices actuales de origen/destino. Para ello y para la aplicación de las correcciones estacionales, fueron considerados, entre otros, los aspectos vinculados al posicionamiento de los puestos de conteo, periodo de conteo, estaciones de los flujos y condiciones del tráfico que circula en cada tramo, en la época de la ejecución de las encuestas realizadas para el efecto.

Para la determinación de las cargas solicitantes que irán a actuar directamente sobre el pavimento, **fue analizada, como siempre a un nivel expeditivo y macro, la información de antecedentes proporcionados por el Estudio del Consorcio Consultor Central Consultant INC (CCI) – Yachiyo Engineering Co., LTD (YEC)**, con miras a la proyección y asignación del tráfico futuro, la determinación de los factores de equivalencia para los distintos esquemas de Ejes de Carga, Números de ejes equivalentes, Factores de Carga, Factores de Expansión de los diferentes tipos de vehículos (Livianos, buses, camiones, etc.), para períodos de diseño de 10 y 20 años.

El documento elaborado por el Consorcio, no cuenta con la información básica detallada y actualizada de los elementos y parámetros intervinientes en las ecuaciones de "Proyección y Atiguación del Tráfico". Sin embargo, teniendo en cuenta que el análisis socio-económico del Área de Influencia inmediata,

Ing. Jorge Regueiro
CONSORCIO
Río Tembey

Ing. Mario Silva
Supervisor - MOPC

encaminado mayormente al Diagnóstico de la Situación Existente en los 4 puertos principales estudiados, si puede inferir a priori que los ejes (N) acumulados a 10 años de servicio del tramo rehabilitado, estarían por encima de millón ($N_{10} \geq 10^6$ kip).

En el **Anexo N°1** y **Anexo Nº2** de este documento de justificación, son presentados los cuadros, gráficos, planillas y demás documentos de utilidad, que avalan lo descrito en los tópicos referentes al análisis socio económico y a la correlación de los Flujos del Transporte bimodal entre las vías terrestres y el Río Paraná.

2.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LOS ESTUDIOS DE SUELOS

Los estudios se realizaron a los efectos de verificar la información proporcionada en el Expediente técnico que forma parte de la documentación contractual y para obtener información de las características de suelos y materiales, tanto de la traza como de yacimientos o canteras, tendientes a obtener valores de los parámetros básicos para el diseño vial, tanto de la obra básica como del pavimento del tramo a rehabilitar.

De acuerdo con la inspección visual realizada en el recorrido del tramo y corroborado con los Estudios, muestreos y ensayos de laboratorio, los suelos de la zona, según su origen residual, son de tipo laterítico, provenientes de la descomposición por oxidación de la roca basáltica correspondiente a la "Formación Alto Paraná", aunque en algunos lugares, ocasionalmente se nota la presencia de suelos transportados, predominantemente del tipo A4, A2-4 y esporádicamente A6, según la Clasificación del TRB de la AASHTO.

2.4. DETERMINACIÓN DEL CBR PARA EL DISEÑO

Para la determinación del CBR de diseño es importante el conocimiento de la calidad del material disponible para la obra, tanto sobre la traza como de préstamos.

El método de diseño AASHTO-1993 utiliza como CBR de diseño, el valor característico de una serie de muestras de valores de CBR, con los que se obtiene un valor medio y una desviación estándar, a más de un coeficiente de variación (coeficiente de variación = desviación estándar / promedio).

Es conveniente utilizar para la capa de sub rasante el mejor suelo disponible con el mayor valor soporte medio sustentable a lo largo de cada tramo que compone el paquete estructural; ello dará como resultado menores espesores de las capas estructurales, y como consecuencia un menor costo de la obra. Tal y como se indica al inicio de esta justificación, la sección tipo del camino a ser rehabilitado, proporcionada en **la documentación contractual, muestra como capa de sub rasante un material de 30 cm de espesor con CBR=5%.**

Ing. Jorge Regueiro

CONSORCIO
Río Tembey

Ing. Mario Silva
Supervisor - MOPC

2.5. MÓDULO RESILIENTE

El método de diseño AASHTO-1993 caracteriza las propiedades de los suelos de la sub rasante mediante el parámetro llamado Módulo Resiliente Efectivo (Mr). Este módulo resiliente representa el Módulo Elástico del material después de haber sido sometido a cargas cíclicas, se determina mediante el ensayo AASHTO Triaxial Dinámico T 294-92 (Método Estándar de Ensayo del Módulo Resiliente de Bases Granulares no Tratadas, Materiales de Sub base y Suelos de Sub rasante).

La palabra "efectivo" implica que se debe adoptar un valor medio compensado, teniendo en consideración las variaciones estacionales que eventualmente pudiera experimentar este parámetro en el transcurso del año.

El módulo resiliente (Mr) para diseñar pavimentos en trazados nuevos, habitualmente se define en forma indirecta a través de resultados de ensayos del CBR.

La expresión matemática que correlaciona el CBR con el Módulo de Resiliencia mayormente utilizada en el diseño de pavimentos flexibles es la siguiente:

MR (psi) = 2555 x CBR (0,64) (1)

El módulo Mr de una capa no tratada no es independiente del módulo de la capa subyacente, de manera que no se debe colocar capas sucesivas de módulos muy diferentes entre sí.

Mr dis = F Mr0

1/F={0,125/[0,0156+h2(Mr1/Mr0)0,67]0,5}x[(1–Mr0/Mr1)+Mr0/Mr1] (2)

Dónde:

- Mr0 = capa del terraplén ubicado entre -0.60m a -0,30m
- Mr1 = capa del terraplén ubicado entre -0.30m a 0,00m (subrasante)

Para determinar el Mr de diseño, se calcula a través de F con la expresión (2).

3. VERIFICACIÓN DEL PAQUETE ESTRUCTURAL CONTRACTUAL

Para el diseño y dimensionamiento de las estructuras de pavimentos se utiliza la metodología AASHTO/93.

En el diseño de pavimentos flexibles se suele considerar a la estructura del pavimento como un sistema elástico con varias capas, estando caracterizado el material de cada capa por ciertas propiedades físicas y mecánicas que pueden incluir el módulo de elasticidad, el módulo de resiliencia y la relación de Poisson.

Ing. Jorge Requeiro

CONSORCIO Río Tembey

Ing. Mario Silva
Supervisor - MOPC

Para la verificación del diseño del paquete estructural establecido en el contrato de ejecución de las obras, de acuerdo con la metodología AASHTO/93, se parte de la utilización de modelos de deterioro que aplican conceptos de pérdida de serviciabilidad (ΔPSI) para determinados valores de tránsito expresados por el (N), o ESAL, y del valor soporte de la sub rasante medido por el Módulo Resiliente (Mr), para una determinada Confiabilidad o Nivel de confianza (R), en la exactitud de los valores de los parámetros a ingresar al modelo, y su desviación estándar SD.

Siendo:

R% - Grado de confiabilidad o Nivel de confianza, que tiene en cuenta la clasificación de la vía, con variabilidad de los materiales, el tránsito, procesos constructivos, la calidad del suelo de la sub rasante, con lo que se obtiene ZR, de la Curva de Distribución Normal de Gauss.

SD – Desviación Standard Superior.

ESALs – Carga a la que será sometida la estructura para producir un deterioro hasta un nivel de serviciabilidad durante el período de diseño. Expresado también como (N).

MR – Módulo resiliente de la subrasante, (en función del CBR).

ΔPSI – Pérdida de serviciabilidad por deterioro a través del ESALs.

SN – Número estructural –Parámetro adimensional que define la capacidad estructural del pavimento.

Estos parámetros de diseño, de acuerdo con el Método AASHTO-1993, están relacionados mediante la denominada **Ecuación general de dimensionamiento de pavimentos flexibles**, según la siguiente expresión (I):

$$\text{Log ESALs} = A + B + C + D \qquad \text{(I)}$$

Siendo:

A = f(R, SD)
B = f(SN necesario)
C = f(ΔPSI / SN)
D = f(MR)

En donde:

- $A = ZR \times SD$ (II)
- $B = 9{,}36 \times \log(SN+1) - 0{,}20$ (III)
- $C = \log (Po - Pf / 4{,}2 - 1{,}5) / (0{,}40 + 1094 \times 1/(SN+1)^{5{,}19}$ (IV)
- $D = 2{,}32 \log Mr - 8{,}07$ (V)

Ing. Jorge Regueiro

CONSORCIO
Río Tembey

Ing. Mario Silva
Supervisor - MOPC

3.1. DETERMINACIÓN DEL NÚMERO ESTRUCTURAL NECESARIO (SN NEC.)

Los parámetros de diseño intervinientes, a ser adoptados para la solución de la Ecuación general de la AASHTO-1993, **con fines de verificación del paquete estructural contractual** del camino a rehabilitar, de acuerdo con su clasificación según el Manual de carreteras del Paraguay, son los siguientes:

R: Confiabilidad= 80 %

So: Desvío Standard= 0,49

Zr: Error Standard= -0,841

Mrdis - Según Mr de la Sub rasante y del Núcleo subyacente ΔPSI:

Pérdida de Serviciabilidad = 2,2

ESALs (diseño) – Para 10 años (Según Estudio de Central-Yachiyo)

Para 20 años (Según Estudio de Central-Yachiyo)

Con cuya solución se obtiene para todos los paquetes estructurales contractuales verificados, el SN (necesario).

3.2. DETERMINACIÓN DEL NÚMERO ESTRUCTURAL EFECTIVO (SN EFECTIVO)

En el año 2006, JICA implementó el Estudio sobre el Plan de Mejoramiento del Corredor de Exportación de la Región Oriental del Paraguay y de las Instalaciones Portuarias localizadas en la margen derecha del Río Paraná, mediante el cual se recomendó **la necesidad de mejoramiento de la capacidad instalada de los Puertos y de las rutas objeto del presente Estudio, que forman parte del Área de influencia inmediata de dicho corredor.**

En dicho estudio se han establecido condiciones para el diseño de los pavimentos, para períodos de diseño de 20 años (Horizonte del Proyecto), mediante la utilización de mezclas asfálticas para la capa de rodamiento, y capas granulares para las bases.

En este caso, **el paquete estructural del pavimento contractual del tramo a rehabilitar** y pavimentar, está conformado por una capa de concreto asfáltico en caliente de 6 cm de espesor, más una base existente de piedra bruta denominada Empedrado, con espesor de 20 cm., a ser construido en dos etapas, siendo en una primera fase para un periodo de servicio de 10 años, al cabo de cuyo periodo se colocará un refuerzo asfáltico para completar la vida útil de 20 años, debido principalmente a cuestiones de tipo económico y financiero ya que en esta primera fase se utilizarán asfaltos convencionales cuya durabilidad no se garantiza por más de diez años.

Ing. Jorge Regueiro

CONSORCIO Río Tembey

Ing. Marlo Silva
Supervisor - MOPC

El Número estructural SN efectivo, se determina sumando los aportes estructurales de cada una de las capas del paquete del pavimento a ejecutar.

La capacidad estructural de cada capa surge de multiplicar los espesores de cada capa por los coeficientes estructurales correspondientes al material constituyente de cada una de ellas, así:

SN efectivo = a1 x D1 + a2 x D2 x m2 + a3 x D3 x m3

a1...a3: Coeficientes de aporte estructural por unidad de espesor de cada capa, en función de las características fisico mecánicas de los materiales constitutivos de cada una de ellas y de los porcentajes observados de los parámetros de deterioro de la calzada.

D1...D3: Espesores de las distintas capas que componen el paquete verificado.

m2...m3: Coeficientes de drenaje de las capas no ligadas.

Coeficientes estructurales:

Los coeficientes de capas adoptados para los materiales que irán a conformar **el paquete estructural del pavimento propuesto contractualmente** sobre una capa de Subrasante de espesor=30cm y CBR=5%, son los siguientes:

Carpeta de concreto asfáltico en caliente	0,170/cm
Base Tipo empedrado + Regularización	0,070/cm*

*Se adopta este valor para la capa, teniendo en cuenta que el coeficiente estructural c: 0,06/cm tradicionalmente utilizado en el Paraguay para Empedrados Nuevos, será incrementado en un valor de 0,01/cm con el aporte de la aplicación de la capa de regularización de Concreto Asfáltico en una tasa de 0,45 Kg/m2 de superficie empedrada, cuya capa proporcionará mayor cohesión a la base así conformada.

Drenaje:

Un buen drenaje aumenta la capacidad portante de la sub rasante de las capas no ligadas, mejorando la calidad del camino y permitiendo el uso de capas más delgadas.

En el método AASHTO los coeficientes de capa se ajustan con factores mayores o menores que la unidad, para tener en cuenta el drenaje y el tiempo en que las capas granulares están sometidas a niveles de humedad próximos a la saturación.

Tanto para la base como para la Sub base se adopta m2= 1,0.

Ing. Jorge Regueiro

CONSORCIO
Río Tembey

Ing. Mario Silva
Supervisor - MOPC

3.2.1. **SN efectivo Paquete contractual, para 10 años**

El número estructural efectivo **del paquete estructural del pavimento contractual** para el periodo de servicio de 10 años **sobre un empedrado existente** de 20 cm de espesor, apoyado sobre una Subrasante de 30 cm de espesor y CBR=5 %, es el siguiente:

SN efectivo Paquete contractual, para 10 años

CAPA	Espesor cm	Coeficiente estructural	SN efectivo
Concreto asfáltico en caliente	6	0,17	1,02
Base Tipo empedrado + Regularización	20	0,07	1,40
TOTAL SN efectivo			**2,42**

NOTA: Como se explica en el numeral 2.2, a la vista de los datos provenientes del Estudio de tránsito efectuado por el Consorcio Consultor Central Consultant INC (CCI) – Yachiyo Engineering Co., LTD (YEC), el SN necesario obtenido por la Ecuación general de dimensionamiento de la AASHTO-1993, estaría muy por encima del SN efectivo hallado.

3.2.2. **SN efectivo Paquete de Refuerzo propuesto, para 10 años**

El número estructural efectivo **del paquete estructural del pavimento de refuerzo, propuesto para las zonas críticas,** para el periodo de servicio de 10 años, sobre una base estabilizada granulométricamente de 18 cm de espesor con CBR=100%, apoyada sobre el empedrado existente, reparado y reconformado, es el siguiente:

SN efectivo Paquete de Refuerzo propuesto, para 10 años

CAPA	Espesor cm	Coeficiente estructural.	SN efectivo
Concreto asfáltico en caliente	6	0,17	1,02
Base Estabilizada Granulométricamente CBR=100 %	18	0,055	0,99
Sub Base Empedrado Existente, Reparado y Reconformado	20	0,04	0,80
TOTAL SN efectivo			**2,81**

Ing. Jorge Regueiro
CONSORCIO
Río Tembey

Ing. Mario Silva
Supervisor - MOPC

3.2.3. Comparación entre los SN efectivos hallados

Como se puede apreciar en los cuadros precedentes, que muestran los Números Estructurales efectivos SN, tanto **para el paquete estructural contractual**, como para el paquete que se propone para la Reparación y Refuerzo **de los denominados Tramos críticos,** se llega a establecer que la estructura propuesta para las reparaciones supera a la contractual, así:

SN efectivo propuesto (2,81) > SN efectivo contractual (2,42)

Lo cual, por definición, indica que **la estructura propuesta garantizará un mejor desempeño y mayor Resistencia y Durabilidad del Paquete estructural del pavimento**, a lo largo de los diez años asumidos como período de diseño.

3.2.4. Solución recomendada para Tramos Contractuales con SN efectivo 2,42

Con respecto al SN efectivo contractual (2,42) que queda 0,39 por debajo del SN efectivo propuesto (2,81) se sugiere que se proyecte adicionar una capa extra de Concreto Asfáltico en caliente de espesor 3,5 cm que aporta un SN efectivo de 0,43 quedando así, en el tramo completo, un SN efectivo mayor o igual a 2,81 que garantizaría el periodo de servicio de 10 años asumido para el análisis comparativo.

Ing. Jorge Regueiro

Ing. Mario Silva
Supervisor - MOPC

CONSORCIO
Río Tembey

4. RESUMEN Y CONCLUSIONES

Tal y como se comenta en el documento de Justificación de la propuesta para los denominados tramos críticos, debe **tomarse muy en cuenta las Conclusiones y Recomendaciones del Estudio realizado por el Consorcio Consultor Central Consultant INC (CCI) – Yachiyo Engineering Co., LTD (YEC)** en los tópicos relacionados con la problemática de la circulación vehicular dentro **del Área de influencia inmediata del Proyecto del Corredor de Exportación de la Región Oriental del Paraguay**, en correspondencia con los resultados obtenidos en el estudio y análisis de la Capacidad instalada de los Puertos localizados a lo largo de la margen derecha del Río Paraná, a más de las implicaciones y/o limitaciones impuestas por el sistema de Exclusas de la Represa Yacyretá.

Es de esperar que, una vez procesada y ordenada la información socio económica y de transporte de los estudios antes mencionados, se tendrá resultados más ajustados de los tránsitos actuantes dentro del área involucrada, así como mayores elementos de juicio para encarar el problema de los flujos del tránsito bimodal entre las Rutas principales del Sistema Nacional y Departamental, la Red capilar de los caminos vecinales afluentes y los tramos principales de interconexión de todas las vías con los acceso a los puertos del Río Paraná.

Las acciones sub siguientes a esta recomendación, tanto para los futuros REFUERZOS, como para el MANTENIMIENTO de este tramo a rehabilitar, deberán estar sujetas a Estudios periódicos de Tránsito y a Estudios Deflectométricos, para establecer mediante los análisis de condición superficial y estructural de la vía, los programas de reparaciones y Refuerzos en tiempo y forma, si es posible antes de los diez años tomados como período de diseño.

Dichos estudios deberán ser bastante minuciosos y detallados, tomando en consideración los Planes y Programas de mantenimiento plurianual a cargo de las Direcciones de Vialidad y de Caminos vecinales del MOPC, en correspondencia con las valiosas conclusiones y recomendaciones emanadas de los documentos que forman parte del Plan Nacional de Transporte y demás Estudios relativos a este problema.

Ing. Jorge Requeiro
CONSORCIO
Río Tembey

Ing. Mario Silva
Supervisor - MOPC