M.Sc. Ing. Civil HORACIO R. VALLEJOS
Especialista en Suelos y Pavimentos

Con respecto a los resultados de sulfatos en los suelos procedentes del terraplén y de los subrasantes, Tabla 23, podemos observar que existen dos suelos cuyos valores superan los 10.000 mg/kg de sulfatos y una buena cantidad de suelos por debajo de 3000 mg/kg.

De acuerdo a los análisis químicos practicados, teniendo en cuenta el contenido de sales totales disueltas en el agua de poro (STD) y su relación de absorción de sodio (SAR) igual o superior a 2, todas las muestras de suelos que tienen un SAR igual o superior a 2, pueden clasificarse como suelos dispersivos.

Tabla 22 – Resultados de la saturación (agua de poros) en suelos de préstamos.

Progresiva	Código gráfico	Total de cationes SDT (mEq/L)	% Na	SAR	CROSS	Clasificación
450+000	1	100,6	66,4	16,5	17,8	Dispersivo
455+000	2	54,4	86,9	26,2	29,8	Dispersivo
460+000	3	23,3	6,0	0,4	0,6	No dispersivo
465+000	4	17,6	13,1	0,9	1,1	No dispersivo
470+000	5	71,0	5,1	0,6	0,9	No dispersivo
475+000	6	74,0	8,1	1,0	1,1	No dispersivo
480+000	7	60,6	2,0	0,2	0,3	No dispersivo
485+000	8	7,2	34,7	1,8	2,3	No dispersivo
490+000	9	125,6	74,5	23,4	26,6	Dispersivo
495+000	10	7,1	7,0	0,3	0,4	No dispersivo
500+000	11	6,9	5,8	0,2	0,6	No dispersivo
505+000	12	51,3	11,7	1,3	1,5	No dispersivo
510+000	13	73,9	54,4	10,1	11,1	Transición
515+000	14	7,6	10,5	0,5	0,7	No dispersivo
520+000	15	12,2	31,1	2,0	2,5	No dispersivo
525+000	16	13,1	42,7	3,1	3,8	Transición

Los ensayos más simple y económica para identificar los suelos dispersivos son los ensayos de Crumb y de Pinhole. Otros ensayos que también ayudan a identificar las arcillas dispersivas son los ensayos químicos del Análisis de las Sales Disueltas en el Agua de Poros del Suelo (SAR) y el Ensayo del Porcentaje de Sodio Cambiable (ESP).

El ensayo de Pinhole es el más fiable, por ser un ensayo cuantitativo y cualitativo; por lo tanto, es el ensayo físico que modela las condiciones de servicio y evalúa la dispersión. Existe una buena correlación entre los ensayos de Pinhole y de Crumb. Un suelo con muchas sales hace al suelo dispersarse más fácilmente.

M.Sc. Ing. Civil HORACIO R. VALLEJOS
Especialista en Suelos y Pavimentos

Tabla 23 – Resultados de la saturación (agua de poros) en suelos de terraplén y sub base.

Progresiva	Código gráfico	Total de cationes SDT (mEq/L)	% Na	SAR	CROSS	Clasificación
450+000	17	93,6	61,5	13,9	15,0	Dispersivo
455+000	18	165,1	67,4	21,8	23,0	Dispersivo
460+000	19	135,0	48,9	11,4	12,4	Transición
465+000	20	102,8	74,8	21,7	24,5	Dispersivo
470+000	21	109,4	70,3	19,4	21,6	Dispersivo
475+000	22	81,3	60,9	12,6	14,0	Dispersivo
480+000	23	43,5	33,8	3,9	4,3	No dispersivo
485+000	24	108,7	67,9	17,9	20,1	Dispersivo
490+000	25	133,6	58,7	15,0	16,1	Transición
495+000	26	136,1	54,2	13,3	14,5	Transición
500+000	27	238,7	73,9	31,9	33,2	Dispersivo
505+000	28	147,0	59,9	16,5	18,0	Transición
510+000	29	130,9	62,9	16,9	18,7	Dispersivo
515+000	30	114,5	73,4	21,8	23,2	Dispersivo
520+000	31	191,7	75,1	29,6	34,4	Dispersivo
525+000	32	117,2	48,0	10,4	11,5	Transición

Tabla 24 – Resultados de ensayos de Crumb Test.

Código interno	Progresiva	Código gráfico	Crumb Test Grado	Clasificación según el Test de Crumb
7-427	450+000	1	4	Altamente dispersivo
7-428	455+000	2	2	Intermedio
7-429	460+000	3	1	No dispersivo
7-430	465+000	4	1	No dispersivo
7-431	470+000	5	1	No dispersivo
7-432	475+000	6	1	No dispersivo
7-433	480+000	7	1	No dispersivo
7-434	485+000	8	1	No dispersivo
7-435	490+000	9	4	Altamente Dispersivo
7-436	495+000	10	1	No dispersivo
7-437	500+000	11	3	Dispersivo
7-438	505+000	12	2	Intermedio
7-439	510+000	13	2	Intermedio
7-440	515+000	14	1	No dispersivo
7-441	520+000	15	1	No dispersivo
7-458	525+000	16	1	No dispersivo

De las tablas anteriores se desprende, que la mayoría de los suelos estudiados son aptos a ser utilizados en la obra, previa neutralización de los cationes sódicos con cationes de cal.

CONSORCIO SHG
SERVIPC | HYTSA | GEOLATINA

Consorcio Constructora Asunción S.A. y Asociados / 32

CONSTRUCTORA ASUNCIÓN S.A. Y ASOC./32
Arq. José M. Díaz Benza
Representante Legal

M.Sc. Ing. Civil HORACIO R. VALLEJOS
Especialista en Suelos y Pavimentos

6.4 – Determinación del CBR de diseño.

El valor de la resistencia de diseño debe ajustarse con la variación del tránsito. Si se espera un tránsito pesado la resistencia debe ajustarse a un valor menor que si se espera un tránsito liviano.

Tabla 25 – Niveles de tránsito según Superpave.

Design Level	Design Traffic (80 kN ESALs)
1 (low)	$\leq 10^6$
2 (intermediate)	$\leq 10^7$
3 (high)	$> 10^7$

En la tabla 25 se presenta los niveles de tránsito para los cuales determinar el CBR de diseño, según metodología del Superpave del programa de investigación Stratregic Highway Research Program (SHRP), como el valor de números de ejes acumulados (ESALs) es 5,44 x 10^6 (Sección 1), y 5,8 x 10^6 (Sección 2), considerado ambos como de nivel intermedio, por lo que se tomará como el CBR diseño al valor promedio de los CBR = 6% de los suelos a ser utilizados en obra.

6.5 – Módulo resiliente (Mr).

El Módulo Resiliente (Mr) se determina en laboratorio en muestras de suelo especialmente preparadas y ensayadas en una cámara triaxial, sometiéndolas a distintas cargas, con un esfuerzo desviador de magnitud: frecuencia y duración prefijadas.

El método para hacer esta prueba se describe con detalle en el Soils Manual for the Design of Asphalt Pavement Structures (Manual de suelos para el diseño de estructuras de pavimento de asfalto) del Asphalt Institute.

El módulo que se utiliza en los materiales no cementados de un sistema multicapa corresponde al módulo resiliente, el cual es posible determinar a partir de relaciones con otros parámetros como el CBR, el que utilizaremos corresponde al de la AASHTO Design Guide – 1986/2002, que son los siguientes:

1 – Suelo fino.

M_R (psi) = 1500 x CBR (Manual de Carretera del Paraguay)

M_R (psi) = 1500 x 6 = 9.000 psi

6.6 - Materiales granulares

Shell Bitumen (1998), recomienda funciones que correlacionan el módulo resiliente de una capa de base o sub-base granular, con el módulo resiliente (M_R) de la capa subyacente. Tales correlaciones son las que se presentan en las Ecuaciones 2 y 3.

$M_{R,base} = 0.2 * h_{base}^{0.45} * M_{R,sub\text{-}base}$ (2)

CONSORCIO SHG SERVIC | HYSA | GEOLATINA

Consorcio Constructora Asunción S.A. y Asociados / 32

CONSTRUCTORA ASUNCIÓN S.A. Y ASOC./32
Arq. José M. Díaz Benza
Representante Legal

M.Sc. Ing. Civil HORACIO R. VALLEJOS
Especialista en Suelos y Pavimentos

$M_{R,sub\text{-}base} = 0.2 * h_{sub\text{-}base}^{0.45} * M_{R,subrasante}$ (3)

Donde, h es el espesor de la capa indicada.

El rango de aplicación de las ecuaciones 2 y 3 oscila entre 15 y 80 centímetros de espesor de capas granulares.

7 – METODOLOGÍAS y CRITERIOS PARA EL DISEÑO ESTRUCTURAL

7.1 – Generalidades.

Para el diseño de las estructuras de pavimento, tanto flexibles como rígidos, el Manual de Carretera del Paraguay recomienda la utilización del Método AASHTO/93 y verificado por Métodos de tipos Mecanicistas.

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, que pueden incluir el módulo de elasticidad, el módulo de resiliencia y la relación de Poisson.

En el diseño de pavimentos rígido, se considera a la losa de rodamiento como un pavimento autoportante, lo que significa que puede prescindir de la "base" en la estructura de pavimento, y solamente construir una sub-base de calidad suficiente para evitar la erosión por bombeo del fino del suelo de la sub-rasante.

La metodología de diseño utilizada para el análisis de los pavimentos flexibles y rígidos se hará a través de los Modelos de Deterioros concebidos en la metodología AASHTO 1993.

Se adopta la Metodología de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO 1993) porque, permite modelizar los deterioros de la estructura, y estar ampliamente experimentado en el mundo entero.
Los "Modelos de Deterioros" se desarrollaron para cuantificar pérdidas de serviciabilidad (ΔPSI) durante la vida útil de la estructura.

Los valores de (ΔPSI) surgieron de mediciones realizadas en pistas de ensayos del AASTHO Road Test, realizado en el estado de Illinois, y expandidos a los distintos climas y suelos, espesores y materiales existentes en los EE.UU., por lo que la convierte en el modelo de diseño más confiable, dado su carácter empírico racional, que lo convierte en la metodología más utilizado y experimentado a nivel mundial.

El Modelo de Deterioro de Pavimento Flexible, se origina con los resultados obtenidos del AASHO Road Test y en sus dos versiones posteriores el AASHTO/86 y el AASHTO/93, en que se calcula un (SN) número estructural a partir del Módulo Resiliente (Mr) determinado a través del CBR de la sub-rasante, de un factor ambiental

CONSORCIO SHG SERVIC | HYTSA | GEOLATINA

Consorcio Constructora Asunción S.A. y Asociados / 32

CONSTRUCTORA ASUNCIÓN S.A. Y ASOC./32
Arq. José M. Díaz Benza
Representante Legal

M.Sc. Ing. Civil HORACIO R. VALLEJOS
Especialista en Suelos y Pavimentos

definido por el coeficiente de drenaje (md) y de las cargas de ejes equivalentes (ESAL) a 18.000 lbs (80 kN).

Por lo tanto, los parámetros que intervienen en el diseño de un pavimento responden a las acciones siguientes:

- Desempeño del pavimento
- Tránsito
- Suelos de la subrasante
- Materiales para construcción
- Medio ambiente
- Drenaje
- Confiabilidad.

El análisis de éste método en particular, se debe a que gran parte de los parámetros incorporado por AASHTO para el diseño de pavimentos han sido utilizados también por las metodologías de evaluación propuestas en HDM, por ejemplo:

- Concepto de Ejes Equivalentes.
- Concepto de Número Estructural´
- Coeficientes de drenaje, etc.

Un buen diseño radica en que el sistema, carga-estructura-subrasante (ESAL-SN-Mr), deberán permanecer en equilibrio durante todo el periodo de vida útil

7.2 – Criterios para el diseño de pavimentos.

El diseño del pavimento flexible, se basa en criterios que limitan las deformaciones tanto horizontales como verticales, que causan excesivos agrietamientos y deformaciones permanentes.

Esos criterios se consideran en términos de aplicaciones repetidas de carga, porque las repeticiones acumuladas de cargas de tránsito tienen gran importancia en el desarrollo de grietas y en la deformación permanente del pavimento.

La determinación de la vida útil de una estructura de pavimento, está directamente relacionada al comportamiento de la capa de rodamiento, y que en el caso de que ésta esté constituida por mezcla asfáltica, el comportamiento dependerá del grado de envejecimiento del asfalto y por lo tanto de la mezcla asfáltica.

Y como consecuencia el envejecimiento prematuro de la mezcla asfáltica, provoca también una degradación prematura de la carpeta de rodamiento, lo que se produce mucho antes que la capacidad estructural llegue al final de la vida útil estimada para el paquete de pavimento.

M.Sc. Ing. Civil HORACIO R. VALLEJOS
Especialista en Suelos y Pavimentos

El envejecimiento prematuro de la carpeta de rodamiento se produce, entre otros factores, por la agresividad climática y por cada vez mayor capacidad de carga de los vehículos pesados.

La agresividad climática se manifiesta por las altas temperaturas, que impactan sobre las propiedades y el comportamiento de las estructuras de pavimentos, y sustancialmente sobre el comportamiento reológico del asfalto y de las mezclas asfálticas.

Es por ello que en los EE.UU se ha desarrollado nuevas tecnologías a través del programa SHRP, de la que surgió como se dijo la tecnología SUPERPAVE, que consiste sustancialmente en el estudio del comportamiento en servicio de las mezclas asfálticas. Para lo que se desarrollaron métodos y equipos de ensayo, para evaluar el comportamiento en servicio de las mezclas asfálticas.

Por lo que de nada sirve diseñar estructuras para una prolongada vida útil, si las mezclas asfálticas no van a ser diseñadas con las nuevas tecnologías de durabilidad.

En el caso de tratarse de una losa de hormigón, el comportamiento y envejecimiento dependerá de la calidad del hormigón a colocarse, el que nunca deberá ser su resistencia a la compresión simple inferior a los 300 kg/cm2 (H30).

Los métodos de diseños de pavimentos permiten establecer el paquete estructural del pavimento rígido o flexible, en función de las solicitaciones del tránsito y del valor soporte de la subrasante, y de los efectos ambientales, previstos para una cierta vida útil del pavimento.

En general las metodologías de diseño adoptan un determinado indicador de la capacidad estructural o funcional, y verifican que durante la vida útil dicho indicador no supere una cierta variación, representada por niveles de deterioros del pavimento considerado como límite. Por lo que Incorporan en general un cierto factor de seguridad o confiabilidad para dar mayor resguardo a los resultados.

7.3 – Tensiones en un pavimento flexible.

Las tensiones que se producen en un paquete de pavimento flexible, son de tipo horizontal y vertical, las horizontales de tracción se produce con mayor intensidad en las capas asfálticas, y en menor medida en las capas estabilizadas de base.

En cambio, las tensiones verticales o de compresión se producen con mayor intensidad en la subrasante y en menor medida en las capas de base estabilizadas, en que las granulares son de mayor durabilidad y resistencia.

Se suele suponer que la capa de la subrasante es infinita en el plano horizontal y en el vertical. La aplicación de una carga de rueda causa una distribución de esfuerzos sobre un eje que es la prolongación de la rueda de carga.

M.Sc. Ing. Civil HORACIO R. VALLEJOS
Especialista en Suelos y Pavimentos

Los esfuerzos verticales máximos son de compresión, y suceden directamente abajo de la rueda cargada, disminuyendo al aumentar la profundidad desde la superficie.

También los esfuerzos horizontales máximos se presentan directamente abajo de la rueda de carga, pero pueden ser de tracción o de compresión, siendo de tracción en las fibras inferiores de las capas asfálticas.

Cuando la carga y el espesor del pavimento están dentro de ciertos rangos, se desarrollan esfuerzos horizontales de compresión arriba del eje neutro de la capa asfáltica, mientras que se desarrollan esfuerzos horizontales de tracción abajo del eje neutro.

La distribución de temperaturas dentro de la estructura del pavimento tiene influencia sobre la magnitud de los esfuerzos.

Los pavimentos flexibles están formados por varias capas en la que cada una cumple una función distinta, de la siguiente forma:

1 - Carpeta de rodamiento: cumple la función impermeabilizante del paquete estructural, y la de absorber los esfuerzos tangenciales de tracción y compresión de las fuerzas provocadas por el tránsito en las capas ligadas

2 – Bases: cumple la función de absorber los esfuerzos tangenciales y de compresión transmitidos por la carpeta de rodamiento.

3 - Sub-Base: cumple la función de absorber los esfuerzos tangenciales y de compresión transmitidos por la base y distribuirlo homogéneamente sobre la subrasante, y además servir de transición entre el módulo resiliente de la subrasante y los módulos de las capas superiores.

7.4 – Diseño de las capas estructurales.

Para el diseño de las capas estructurales, como se dijo se utilizará la Metodología AASHTO/93, que aplica modelos de deterioros que utilizando conceptos de pérdida de serviciabilidad (ΔPSI) para determinados valores de tránsito expresado por el ESAL, y del valor soporte de la subrasante medidos por el Módulo Resiliente (Mr), para una determinada Confiabilidad (R) en la exactitud de los valores de los parámetros a ingresar al modelo, y su dispersión estándar S_D.

1. R% - Grado de confiabilidad que tiene en cuenta la variabilidad de los materiales, el tránsito, procesos constructivos, el suelo de subrasante, con lo que se obtiene ZR, de la Curva de Distribución Normal de Gauss.
2. S_D – Desviación Standard Superior.

CONSORCIO SHG SERVIC | HYSA | GEOLATINA

Consorcio Constructora Asunción S.A. y Asociados / 32

CONSTRUCTORA ASUNCIÓN S.A. Y ASOC./32
Arq. José M. Díaz Benza
Representante Legal

M.Sc. Ing. Civil HORACIO R. VALLEJOS
Especialista en Suelos y Pavimentos

3. ESALs – Carga a que será sometida la estructura para producir un deterioro hasta un nivel de serviciabilidad de diseño.
4. MR – Módulo resiliente de la subrasante, (en función del CBR).
5. ΔPSI – Pérdida de serviciabilidad por deterioro a través del ESALs.
6. SN – Número estructural -Parámetro que define la capacidad estructural del pavimento.

Estos parámetros de diseño están relacionados por la expresión (I)

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

En donde:

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)

Los datos de entrada a la metodología AASHTO son los siguientes:

7.5 - Datos de tránsito.

Con la información del estudio del tránsito descripto para las dos secciones, en los puntos 5.7.6 y 5.7.7, se pudo establecer los valores de los números de ejes equivalentes acumulados (ESALs).

Tabla 26 – ESAL sección 1.

Tipo de vehículo	**20 años**
Livianos	3.128.694
Bus	83.340
Camiones	2.228.632
ESALs	**5.440.666**
ESALs (diseño)	**$5{,}44 \times 10^6$**

CONSORCIO SHG
SERVIC | HYTSA | GEOLATINA

Consorcio Constructora Asunción S.A. y Asociados / 32

CONSTRUCTORA ASUNCIÓN S.A. Y ASOC./32
Arq. José M. Díaz Benza
Representante Legal

M.Sc. Ing. Civil HORACIO R. VALLEJOS
Especialista en Suelos y Pavimentos

Tabla 27 – ESAL sección 2.

Tipo de vehículo	20 años
Livianos	4.388.179
Bus	49.409
Camiones	1.339.597
ESALs	**5.777.185**
ESALs (diseño)	**$5{,}8 \times 10^6$**

Tabla 28 – ESAL-Colectoras- sección 2.

Tipo de vehículo	20 años
Livianos	422.009
Bus	3.875
Camiones	30.335
ESALs	**456.219**
ESALs (diseño)	**$0{,}5 \times 10^6$**

7.6 - Datos de geotecnia.

Los datos geotécnicos necesario para la utilización del AASHTO/93 es el CBR de diseño determinado en el punto 6.4, a través del cual se determinó el Módulo Resiliente Mr, determinado en el punto 6.5.

CBR (de diseño) = 6%

M_R (psi) = 1500 x CBR (Manual de Carreteras del Paraguay)

M_R (psi) = 1500 x 6 = 9.000 psi

8 – DISEÑOS ESTRUCTURALES.

8.1 – Diseño estructural para la Sección 1 - tramo Km 450 – Km 522+400.

8.1.1 – Tipo de estructura especificada.

Para ésta Sección, se ejecutará una estructura flexible, ensanchando el terraplén de la calzada existente, para lograr una calzada de 7m de ancho, con banquinas de 2,5m en cada lado, con talud del terraplén de 4:1, como se indica en el grafico 3. La estructura de pavimento se diseñará para una vida útil de 20 años.

La calzada estará conformada por:

- Sub-base con mezcla reciclada de la vieja capa asfáltica, con suelo y cemento Portland en 26cm de espesor, con resistencia ≥ 14 kg/cm2.
- Base granular estabilizada en 20cm de espesor, CBR = 100%

CONSORCIO SHG
REDVIAL | HYTSA | GEOLATINA

Consorcio Constructora Asunción S.A. y Asociados / 32

CONSTRUCTORA ASUNCIÓN S.A. Y ASOC./32
Arq. José M. Díaz Benza
Representante Legal

M.Sc. Ing. Civil HORACIO R. VALLEJOS
Especialista en Suelos y Pavimentos

- Base de concreto asfáltico, con asfalto convencional, en 6cm de espesor
- Carpeta rodamiento dé concreto asfáltico, con asfalto con polímeros, en 5cm de espesor.

La banquina estará conformada por:

- Subrasante, con suelo con aporte de cal, en 20cm de espesor.
- Refuerzo de Subrasante con Suelo Mejorado con Cemento Portland (rC=14 kg/cm2), con espesor de 26 cm.
- Base granular estabilizada, en 20cm de espesor, CBR =100%
- Base de concreto asfáltico, con asfalto convencional en 6 a 3cm de espesor

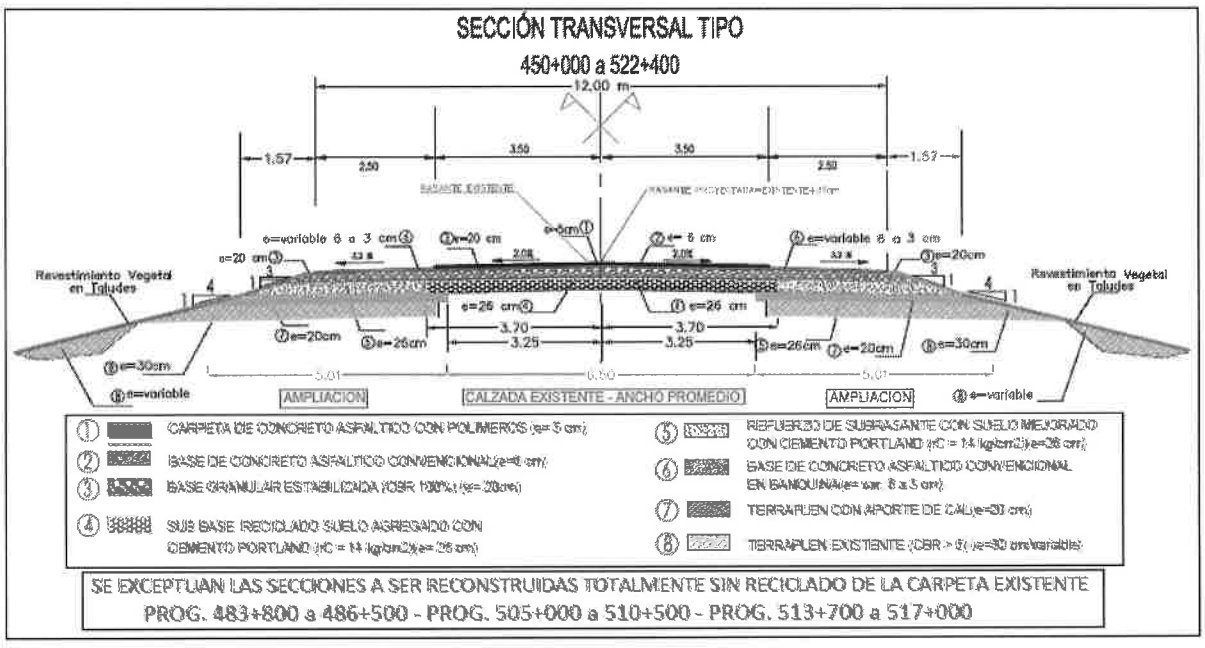


Gráfico 3

8.1.2 – Número estructural necesario (SN necesario).

Para la determinación del SN necesario, se debe ingresar al AASHTO/93 los siguientes parámetros:

R = 85% - (de licitación)
S_D = 0,49 - (ajustado por lo errático del tránsito durante el periodo de servicio)
ΔPSI = 2,2 - (de licitación)
Mr = 9.000 psi – (62MP > 59MP de licitación)
ESAL (20 años) = **5,44 x 10^6**

Con los que se obtuvieron los siguientes números estructurales:
SN nec = **3.90** (por aplicación de la expresión I)
SN nec = **3.92** (por programa computarizado)
SN efectivo = **4.27**

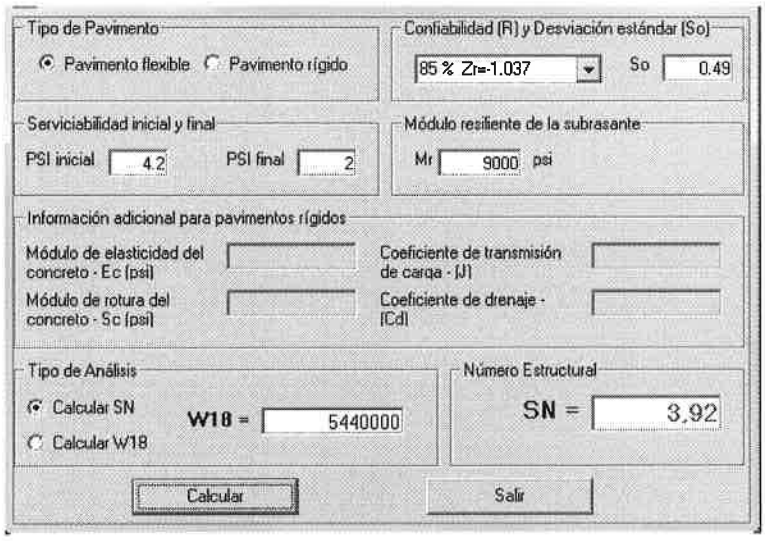
CONSORCIO SHG | HYTSA | GEOLATINA

Consorcio Constructora Asunción S.A. y Asociados / 32

CONSTRUCTORA ASUNCIÓN S.A. Y ASOC./32
Arq. José M. Díaz Benza
Representante Legal

M.Sc. Ing. Civil HORACIO R. VALLEJOS
Especialista en Suelos y Pavimentos

A través de éstos parámetros de diseño están relacionados por la expresión (I) se obtuvo el SN necesario. Lo que fue verificado por el programa AASHTO siguiente:



8.1.3 – Número estructural efectivo (SN efectivo).

Con el número estructural determinado para el periodo de servicio de 20 años se dimensionó el paquete estructural que figura en tabla 29.

Tabla 29 – Número estructural efectivo – para 20 años

CAPA	Espesor (cm)	Coef. Est. (cm/cm)	SN efectivo	SN necesario
Carpeta concreto asfáltica c/polímero	5	0,17	0,85	
Capa concreto asfáltico	6	0,16	0,96	
Base con estabilizado granular	20	0,058	1,16	
Sub-base reciclado, + suelo y cemento	26	0,05	1,30	
TOTAL SN efectivo			**4.27**	**3,92**

<u>Verifica: SN efectivo > SN necesario (B.C.)</u>

CONSORCIO SERVIMC | HYDA | GEOLATINA

Consorcio Constructora Asunción S.A. y Asociados / 32

CONSTRUCTORA ASUNCIÓN S.A. Y ASOC./32
Arq. José M. Díaz Benza
Representante Legal

M.Sc. Ing. Civil HORACIO R. VALLEJOS
Especialista en Suelos y Pavimentos

8.1.4 – Banquina – capacidad estructural.

Tabla 30 – Número estructural efectivo – para 20 años

CAPA	Espesor (cm)	Coef. Est. (cm/cm)	SN efectivo	SN necesario
Capa concreto asfáltico	6	0,16	0,96	
Base con estabilizado granular	20	0,058	1,16	
Sub-base suelo y cemento fc =14kg/cm2	26	0,05	1,30	
TOTAL SN efectivo			**3,42**	------

R = 85% - (de licitación)
S_D = 0,49 - (ajustado por lo errático del tránsito durante el periodo de servicio)
ΔPSI = 2,2 - (de licitación)
Mr = 9.000 psi – (62MP > 59MP de licitación)
SN efectivo = 3.42

Con los que se obtuvo los ejes acumulados equivalentes, admisible por la estructura de banquina es de:
ESAL (adm.) = **1,18 x 10^6** (22% del tránsito en calzada)

8.2 – Reconstrucción total en sectores varios de la Sección 1:Km 450+000 a Km522+400.

8.2.1 – Tipo de estructura especificada.

La estructura de pavimento especificada para los tres sectores en que se realizará una reconstrucción total.

Los sectores estarán ubicados entre las siguientes progresivas: 483+800 a 486+500 - 505+000 a 510+500 – 513+700 a 517+000

Las calzadas estarán conformadas por las siguientes capas:

- Subrasante de suelo mejorado con cal CBR =5% en 20cm de espesor.
- Sub-base o Refuerzo de Subrasante de suelo y cemento Portland, con resistencia ≥ 14 kg/cm2, espesor 26 cm
- Base granular estabilizada, CBR = 100%. Espesor 20 cm.
- Base de concreto asfáltico, con asfalto convencional. Espesor 6 cm
- Carpeta rodamiento dé concreto asfáltico, con asfalto con polímeros, espesor 5 cm.

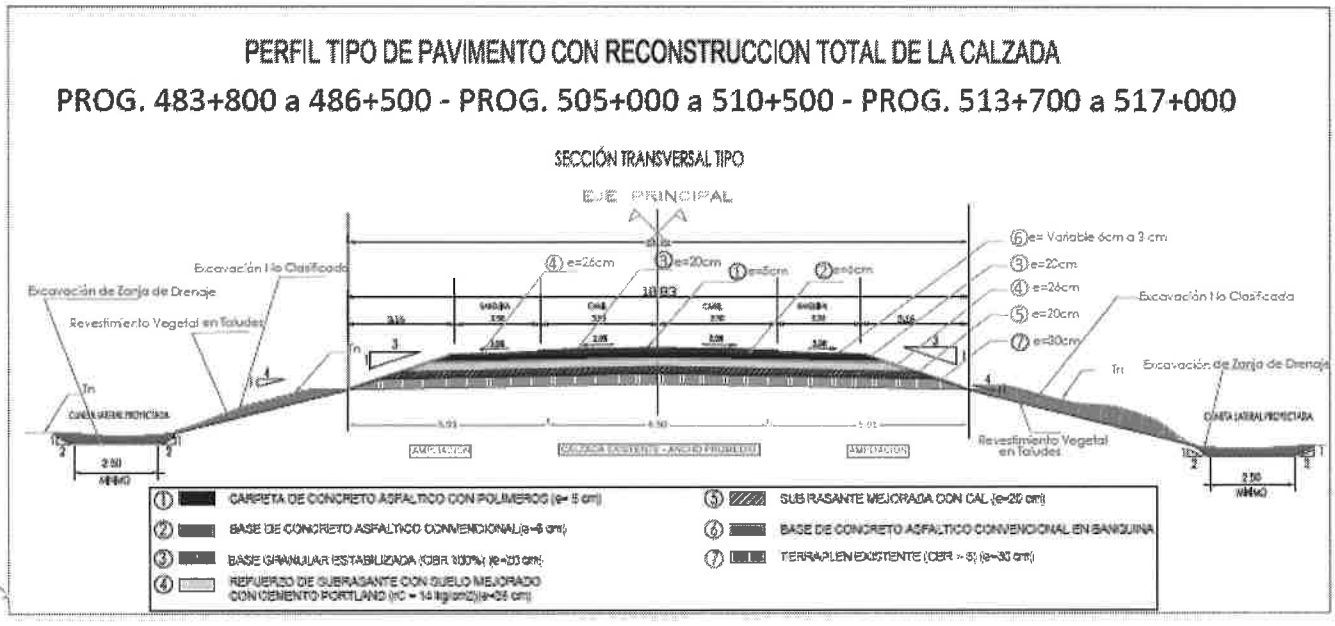
Las banquinas estarán conformadas con el mismo paquete estructural de la calzada arriba descripta.

CONSORCIO GHG GEOLATINA

Consorcio Constructora Asunción S.A. y Asociados / 32

CONSTRUCTORA ASUNCIÓN S.A. Y ASOC./32
Arq. José M. Díaz Benza
Representante Legal

M.Sc. Ing. Civil HORACIO R. VALLEJOS
Especialista en Suelos y Pavimentos



8.2.2 – Número estructural necesario (SN necesario).

Para la determinación del SN necesario, se debe ingresar al AASHTO/93 los siguientes parámetros:

R = 85% - (de licitación)
S_D = 0,49 - (ajustado por lo errático del tránsito durante el periodo de servicio)
ΔPSI = 2,2 - (de licitación)
Mr = 9.000 psi - (62 MP > 59 MP de licitación)
ESAL (20 años) = **$5,44 \times 10^6$**
Con los que se obtuvieron los siguientes números estructurales:
SN nec = **3.90** (por aplicación de la expresión I)
SN nec = **3.92** (por programa computarizado)
SN efectivo = 4,27

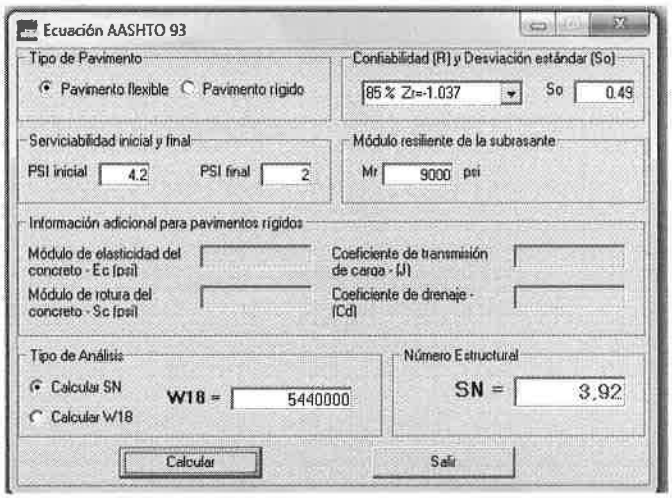
A través de éstos parámetros de diseño están relacionados por la expresión (I) se obtuvo el SN necesario. Lo que fue verificado por el programa AASHTO siguiente:

CONSORCIO SHG SERVIC / HYISA | GEOLATINA

Consorcio Constructora Asunción S.A. y Asociados / 32

CONSTRUCTORA ASUNCIÓN S.A. Y ASOC./32
Arq. José M. Díaz Benza
Representante Legal

M.Sc. Ing. Civil HORACIO R. VALLEJOS
Especialista en Suelos y Pavimentos



8.2.3 – Número estructural efectivo (SN efectivo) para 20 años.

Con el número estructural determinado para el periodo de servicio de 20 años se dimensionó el paquete estructural que figura en tabla 31.

Tabla 29 – Número estructural efectivo – para 20 años

CAPA	Espesor (cm)	Coef. Est. (cm/cm)	SN efectivo	SN necesario
Carpeta concreto asfáltica c/polímero	5	0,17	0,85	
Capa concreto asfáltico	6	0,16	0,96	
Base con estabilizado granular	20	0,058	1.16	
Sub-base reciclado, + suelo y cemento fc =14kg/cm2	26	0,05	1.30	
TOTAL SN efectivo			**4.27**	**3,92**

Verifica: SN efectivo > SN necesario (B.C.)

CONSORCIO SHG SERVIC | HYISA | GEOLATINA

Consorcio Constructora Asunción S.A. y Asociados / 32

CONSTRUCTORA ASUNCIÓN S.A. Y ASOC./32
Arq. José M. Díaz Benza
Representante Legal

M.Sc. Ing. Civil HORACIO R. VALLEJOS
Especialista en Suelos y Pavimentos

8.3 – Determinación de Números estructurales Sección 2: Km522+400 a Km 525.

8.3.1 – Tipo de estructura especificada.

La estructura de pavimento consta de dos calzadas de 7m cada una, separadas por un cantero de 1m, en que cada calzada está conformada por dos carriles por sentido. Cada calzada estará conformada por las siguientes capas:

- Refuerzo de Subrasante de suelo tratada con cemento Portland, con resistencia ≥ 14 kg/cm2 con 26 cm de espesor.
- Sub-base con mezcla reciclada de la vieja capa asfáltica, en 26 cm de espesor con suelo y cemento Portland, con resistencia ≥ 14 kg/cm2.
- Base granular estabilizada, en 20 cm de espesor, CBR = 100%
- Base de concreto asfáltico, con asfalto convencional, en 6 cm de espesor.
- Carpeta rodamiento dé concreto asfáltico, con asfalto con polímeros, en 5 cm de espesor.

Las banquinas estarán conformadas por:

- Refuerzo de Subrasante de suelo tratada con cemento Portland, con resistencia ≥ 14 kg/cm2 con 26 cm de espesor.
- Sub-base reciclada, en 20 cm de espesor con suelo y cemento Portland de resistencia ≥ 14 kg/cm2.
- Base granular estabilizada, en 20 cm de espesor CBR = 100%
- Carpeta de concreto asfáltico con asfalto convencional, en 6 a 3 cm de espesor.

La subrasante será unificada con suelo tratado con cal (espesor 20 cm) en todo el ancho de la plataforma, incluyendo la subrasante existente.

CONSORCIO SHG
C | HYTSA | GEOLATINA

Consorcio Constructora Asunción S.A. y Asociados / 32

CONSTRUCTORA ASUNCIÓN S.A. Y ASOC./32
Arq. José M. Díaz Benza
Representante Legal

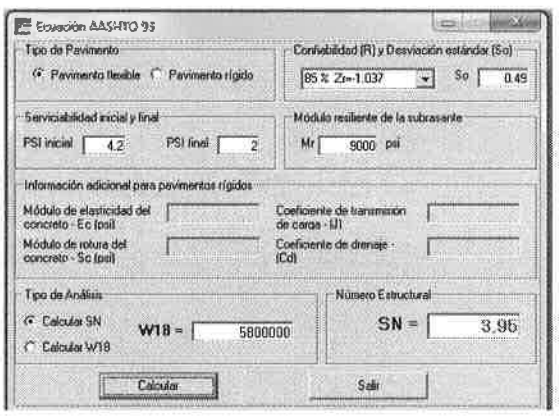
M.Sc. Ing. Civil HORACIO R. VALLEJOS
Especialista en Suelos y Pavimentos

8.3.2 – Número estructural necesario (SN necesario).

Para la determinación del SN necesario, se debe ingresar al AASHTO/93 los siguientes parámetros:

R = 85% - (de licitación)
S_D = 0,49 - (ajustado por lo errático del tránsito durante el periodo de servicio)
ΔPSI = 2,2 - (de licitación)
Mr = 9.000 psi - (62 MP > 59 MP de licitación)
ESAL (20 años) = **$5{,}8 \times 10^6$**
Con los que se obtuvieron los siguientes números estructurales:
SN nec = 3.92 (por aplicación de la expresión I)
SN nec. = **3,95** (por programa computarizado)
SN efectivo= 4,27

A través de éstos parámetros de diseño están relacionados por la expresión (I) se obtuvo el SN necesario. Lo que fue verificado por el programa AASHTO siguiente:



8.3.3 – Número estructural efectivo (SN efectivo) para 20 años.

Con el número estructural determinado para el periodo de servicio de 0 años se dimensionó el paquete estructural que figura en tabla 31.

Tabla 31 – Número estructural efectivo – para 20 años

CAPA	Espesor (cm)	Coef. Est. (cm/cm)	SN efectivo	SN necesario
Carpeta concreto asfáltica c/polímero	5	0,17	0,85	
Capa concreto asfáltico	6	0,16	0,96	
Base con estabilizado granular	20	0,058	1,16	
Sub-base reciclado, + suelo y cemento	26	0,05	1,30	
TOTAL SN efectivo			**4,27**	**3,95**

Verifica: SN efectivo > SN necesario (B.C.)

CONSORCIO SIG
SERVIC | HYTSA | GEOLATINA

Consorcio Constructora Asunción S.A. y Asociados / 32

CONSTRUCTORA ASUNCIÓN S.A. Y ASOC./32
Arq. José M. Díaz Benza
Representante Legal

M.Sc. Ing. Civil HORACIO R. VALLEJOS
Especialista en Suelos y Pavimentos

8.3.4 – Banquina – capacidad estructural.

Tabla 32 – Número estructural efectivo – para 20 años

CAPA	Espesor (cm)	Coef. Est. (cm/cm)	SN efectivo	SN necesario
Capa concreto asfáltico	6	0,16	0,96	
Base con estabilizado granular	20	0,058	1,16	
Sub-base suelo y cemento fc =14kg/cm2	26	0,05	1,30	
TOTAL SN efectivo			**3,42**	**------**

R = 85% - (de licitación)
S_D = 0,49 - (ajustado por lo errático del tránsito durante el periodo de servicio)
ΔPSI = 2,2 - (de licitación)
Mr = 9.000 psi – (62MP > 59MP de licitación)
SN efectivo = 3.42
Con los que se obtuvo los ejes acumulados equivalentes, admisible por la estructura de banquina es de:
ESAL (adm.) = **0,9 x 10^6** (16% del tránsito en calzada)

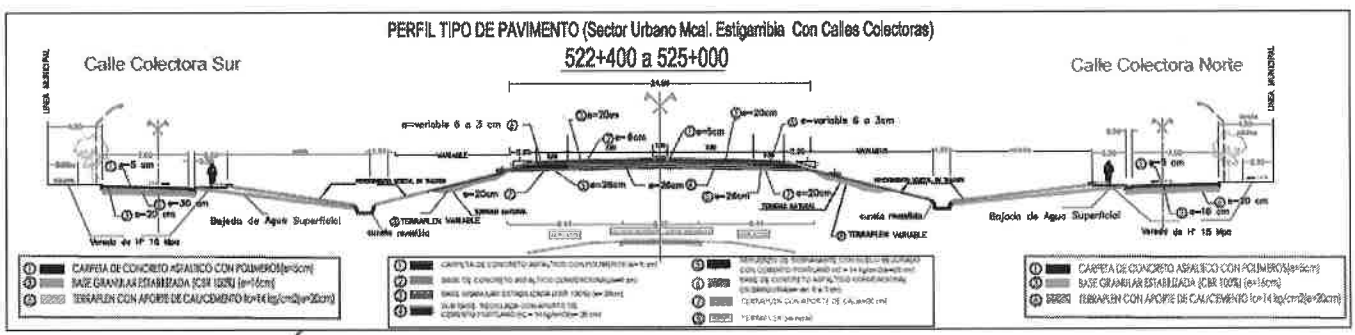
8.4 – Colectoras - Números estructurales - Sección 2: Km522+400 a Km 525.

8.4.1 – Tipo de estructura especificada.

El sector urbano del acceso a Macal. Estigarribia, está conformado por dos calzadas central con dos carriles cada una, y dos colectoras cuya estructura de pavimento estará conformada por las siguientes capas:

- Subrasante de suelo tratada con cal, con CBR =6% en 30cm de espesor.
- Sub-base de suelo y cemento, en 20 cm de espesor – fc = 14kg/cm2
- Base granular estabilizada, en 16 cm de espesor, CBR = 100%
- Carpeta rodamiento dé concreto asfáltico, con asfalto con polímeros, en 5 cm de espesor.

Las banquinas estarán conformadas por veredas peatonales de Hº de 15 Mpa

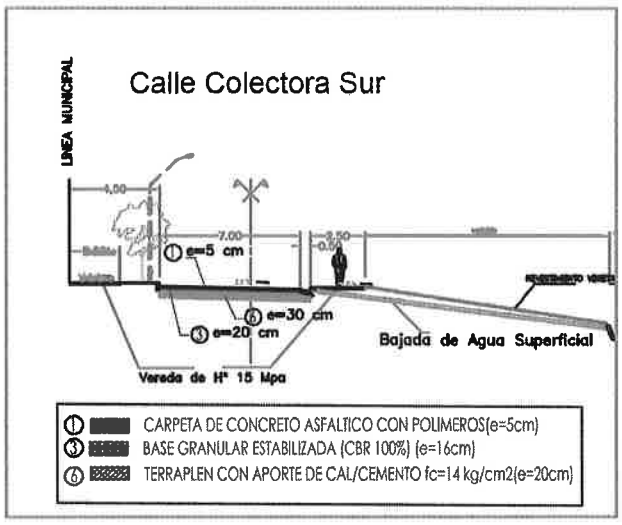


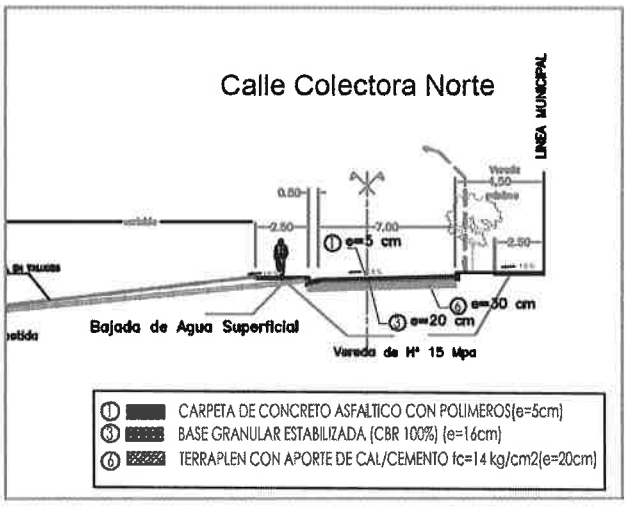
CONSORCIO SHG
SERVIN C | HYTSA | GEOLATINA

Consorcio Constructora Asunción S.A. y Asociados / 32

CONSTRUCTORA ASUNCIÓN S.A. Y ASOC./32
Arq. José M. Díaz Benza
Representante Legal

M.Sc. Ing. Civil HORACIO R. VALLEJOS
Especialista en Suelos y Pavimentos





8.4.2 – Número estructural necesario (SN necesario).

Para la determinación del SN necesario y para utilizar el método AASHTO/93, se debe ingresar con los siguientes parámetros:

R = 85% - (de licitación)
S_D = 0,49 - (ajustado por lo errático del tránsito durante el periodo de servicio)
ΔPSI = 2,2 - (de licitación)
Mr = 9.000 psi - (62 MP > 59 MP de licitación)
ESAL (20 años) = **$0,5 \times 10^6$**
Con los que se obtuvieron los siguientes números estructurales:
SN nec = 2.72 (por aplicación de la expresión I)
SN nec. = **2,74** (por programa computarizado)
SN efectivo= 2,78

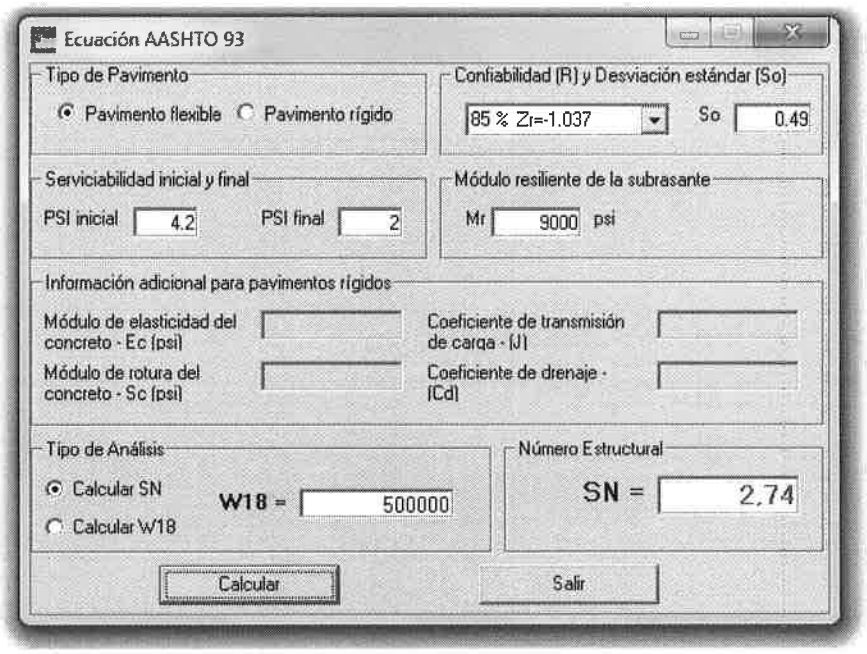
A través de éstos parámetros de diseño están relacionados por la expresión (I) se obtuvo el SN necesario. Lo que fue verificado por el programa AASHTO siguiente:

CONSORCIO SHG
SERVIN C | HITSA | GEOLATINA

Consorcio Constructora Asúnción S.A. y Asociados / 32

CONSTRUCTORA ASUNCIÓN S.A. Y ASOC. /32
Arq. José M. Díaz Benza
Representante Legal

M.Sc. Ing. Civil HORACIO R. VALLEJOS
Especialista en Suelos y Pavimentos



8.4.3 – Número estructural efectivo (SN efectivo) para 20 años.

Con el número estructural determinado para el periodo de servicio de 0 años se dimensionó el paquete estructural que figura en tabla 33.

Tabla 33 – Número estructural efectivo – para 20 años

CAPA	Espesor (cm)	Coef. Est. (cm/cm)	SN efectivo	SN necesario
Carpeta concreto asfáltica c/polímero	5	0,17	0,85	
Base con estabilizado granular	16	0,058	0,93	
Sub-base suelo y cemento fc=14kg/cm2	20	0,05	1,00	
TOTAL SN efectivo			**2,78**	**2,74**

Verifica: SN efectivo > SN necesario (B.C.)

M.Sc. Ing. Civil HORACIO R. VALLEJOS
Especialista en Suelos y Pavimentos

CONSORCIO SHG
SERVIC | HYTSA | GEOLATINA

Consorcio Constructora Asunción S.A. y Asociados / 32

CONSTRUCTORA ASUNCIÓN S.A. Y ASOC./32
Arq. José M. Díaz Benza
Representante Legal

ANEXO 7

REGISTRO FOTOGRÁFICO

Anexo 8 – REGISTRO FOTOGRÁFICO

Fuente:

Ilustración 1. Caminos auxiliares

CONSORCIO SHG
SERVIC | HYISA | GEOLATINA

Consorcio Constructora
Asunción S.A. y Asociados / 32

CONSTRUCTORA ASUNCIÓN S.A. Y ASOC./32
Arq. José M. Díaz Benza
Representante Legal

Prog. 511+940

Prog. 517+200

Ilustración 2. Zanjas de drenaje.

CONSORCIO SYG SERVIC | HYTSA | GEOLATINA

Consorcio Constructora Asunción S.A. y Asociados / 32

CONSTRUCTORA ASUNCIÓN S.A. Y ASOC./32
Arq. José M. Díaz Benza
Representante Legal

ANEXO 8

ESTUDIO GEOTÉCNICO

JOSÉ PAVÓN
& Asociados

Esmeralda 1372 casi Mbocayaty, Lambaré
Tel. +595 (982) 543636
jose.pavonm@gmail.com

INFORME GEOTÉCNICO

Ruta N° 9 Transchaco - Tramo 4 - Lote 7
Progresivas 450+000 Villa Choferes – 525+000 Mcal. Estigarribia

Ing. José Pavón Mendoza

Asunción, Diciembre de 2020

CONSORCIO SHG
SERVIC | HYTSA | GEOLATINA

Consorcio Constructora
Asunción S.A. y Asociados / 32

CONSTRUCTORA ASUNCIÓN S.A. Y ASOC./32
Arq. José M. Díaz Benza
Representante Legal

JOSÉ PAVÓN & Asociados

Esmeralda 1372 casi Mbocayaty, Lambaré
Tel. +595 (982) 543636
jose.pavonm@gmail.com

CONTENIDO

Capítulo 1 – Antecedentes
1.1. Introducción
1.2. Revisión Bibliográfica
1.3. Condición del Pavimento
1.4. Paquete Estructural
1.5. Geología Regional
1.6. Programa de Ensayos
Capítulo 2 – Campaña de Ensayos Geotécnicos
2.1. Introducción
2.2. Ensayos de Campo
2.3. Ensayos Físicos
2.4. Suelos Dispersivos y Sulfatados
2.5. Canteras
Capítulo 3 – Análisis de Resultados
a) Terraplén Existente
3.1. Paquete Estructural
3.1.1. Terraplén
3.1.2. Suelo - Cal
3.1.3. Concreto Asfáltico
3.1.4. Comentarios
b) Ensanche de Calzada
3.2. Paquete Estructural
3.2.1. Préstamos
3.2.2. Yacimientos
3.2.3. Suelo - Cemento
3.2.4. Suelo - Cal
3.2.5. Reciclado Suelo Mejorado con Cemento Portland
3.2.6. Canteras
3.2.7. Base Granular Estabilizada
3.2.8. Comentarios
Capítulo 4 – Obras de Arte
4.1. Puente Progresiva 473+590
4.2. Alcantarillas
Capítulo 5 – Conclusiones
5.1. Comentarios
5.2. Observaciones
5.3. Recomendaciones

CONSORCIO SERVIC | HYTSA | GEOLATINA

Consorcio Constructora Asunción S.A. y Asociados / 32

CONSTRUCTORA ASUNCIÓN S.A. Y ASOC./32
Arq. José M. Díaz Benza
Representante Legal

JOSÉ PAVÓN
& Asociados

Esmeralda 1372 casi Mbocayaty, Lambaré
Tel. +595 (982) 543636
jose.pavonm@gmail.com

ANEXOS

Anexo A: Croquis de Ubicación del Proyecto
Anexo B: Geología Regional
Anexo C: Paquete Estructural Existente
Anexo D: Paquete Estructural Propuesto
Anexo E: Ensayos Terraplén
Anexo F: Ensayos Subrasante Terraplén
Anexo G: Ensayos Suelo - Cemento
Anexo J: Ensayos Suelo – Cal
Anexo K: Ensayos Reciclado Suelo Mejorado con Cemento Portland
Anexo L: Ensayos Puente Progresiva 473+590

CONSORCIO SHG
SERVIC | HYTSA | GEOLATINA

Consorcio Constructora
Asunción S.A. y Asociados / 32

CONSTRUCTORA ASUNCIÓN S.A. Y ASOC./32
Arq. José M. Díaz Benza
Representante Legal

JOSÉ PAVÓN
& Asociados

Esmeralda 1372 casi Mbocayaty, Lambaré
Tel. +595 (982) 543636
jose.pavonm@gmail.com

CAPITULO 1 - ANTECEDENTES

1.1. INTRODUCCION

El Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (MOPC) efectuó el llamado a la Licitación Pública Internacional (LPI) N° 32/2019 - ID 370320, para el "Proyecto de Habilitación y Mantenimiento de la Ruta Nacional N° 9 y Accesos, Tramo 4 Lote 7", que se localiza en el Departamento de Boquerón – Región Occidental o Chaco, y comprende la pavimentación asfáltica de 75Km.
La obra cuenta con financiamiento del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y de la Corporación Andina de Fomento (CAF), para las actividades relativas a la construcción de terraplén, estructura de pavimento y drenajes.
Como resultado de la Licitación del Proyecto de referencia, fue adjudicada con la obra la empresa EDB Construcciones, y comprende desde la Progresiva 450+000 hasta la Progresiva 525+000 inclusive.
El Paquete Estructural existente está compuesto por suelo mejorado con Suelo Cal y concreto asfáltico. El mejoramiento de la vía considera el ensanche de la plataforma, con reciclado del suelo cal agregado con adición de cemento en calzada y reciclado del suelo cal con cemento en banquina como subbase, seguido de base granular estabilizada y finalmente el concreto asfáltico.
La propuesta si bien es muy interesante presenta enormes desafíos técnicos. El clima de la región como ser variaciones de temperatura, regímenes de lluvia y viento (polvo) serán factores preponderantes durante la ejecución de obra, sobre los cuales no se tiene dominio.
La disponibilidad de suelos en zona de obras, referentes a préstamos y yacimientos, son condicionantes que no pueden dejar de tenerse en cuenta, en lo que respecta a las fuentes de aprovisionamiento. A ello debe sumarse la presencia de suelos dispersivos y sulfatados, los cuales responden a la geología del terreno.

CONSORCIO SHG
SERVIT C | HYISA | GEOLATINA

Consorcio Constructora
Asunción S.A. y Asociados / 32

CONSTRUCTORA ASUNCIÓN S.A. Y ASOC./32
Arq. José M. Díaz Benza
Representante Legal

JOSÉ PAVÓN
& Asociados

Esmeralda 1372 casi Mbocayaty, Lambaré
Tel. +595 (982) 543636
jose.pavonm@gmail.com

Ubicación del Proyecto

Zona de Obras

CONSORCIO SHG SERVIC | HYTSA | GEOLATINA

Consorcio Constructora
Asunción S.A. y Asociados / 32

CONSTRUCTORA ASUNCIÓN S.A. Y ASOC./32
Arq. José M. Díaz Benza
Representante Legal

JOSÉ PAVÓN
& Asociados

Esmeralda 1372 casi Mbocayaty, Lambaré
Tel. +595 (982) 543636
jose.pavonm@gmail.com

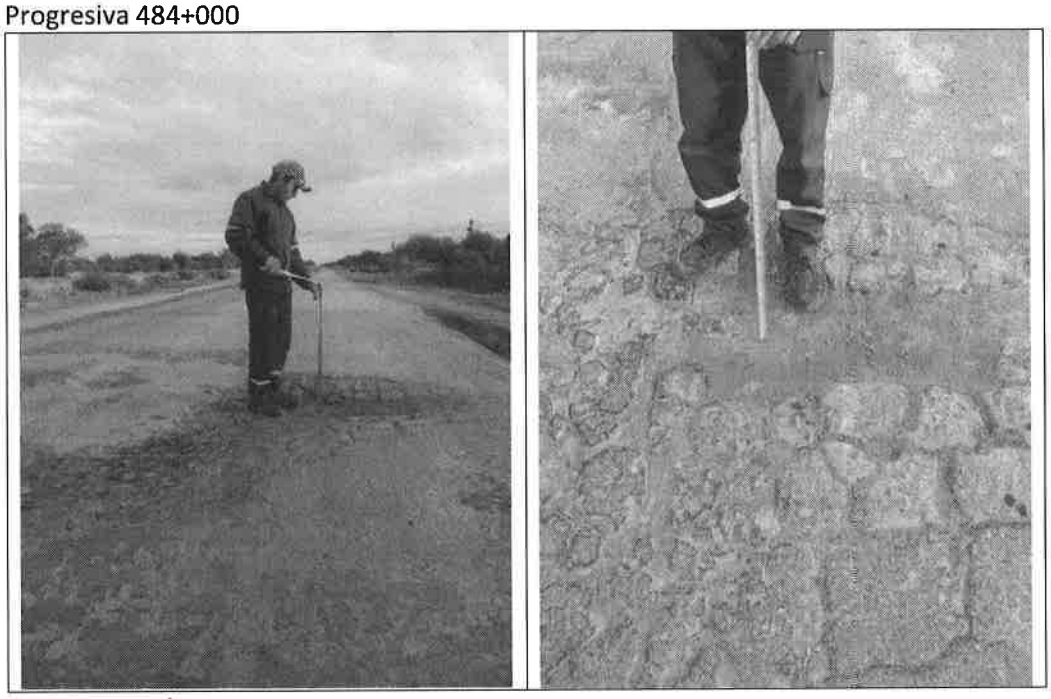
1.2. REVISION BIBLIOGRAFICA

Como mencionado con anterioridad, fueron realizados numerosos ensayos en el Tramo de referencia, que permitieron un relevamiento preliminar de las condicionantes de la obra, para el llamado a Licitación por parte del MOPC. En este sentido puede mencionarse el Estudio de Prefactibilidad Avanzada de la Ruta N° 9 y Accesos (Km 326 – Km 525) Año 2017.
Los ensayos realizados incluyen la excavación de Calicatas, Clasificación de Suelos, Compactación, CBR, Densidad in Situ, Suelo – Cemento, Suelo – Cal, Reciclado de Suelo Mejorado con Cemento Portland.
No se cuenta mayormente con antecedentes disponibles de otras fuentes.

1.3. CONDICION DEL PAVIMENTO

Previo al inicio de los trabajos se procedió a realizar una Visita Técnica al Tramo con la finalidad de evaluar en una inspección visual la condición del pavimento. Estas actividades fueron ejecutadas en el curso del mes de Marzo/2020.
En la ocasión se pudo constatar el deterioro de la carpeta asfáltica, motivada por distintos factores, siendo los problemas relacionados a los suelos dispersivos uno de los de mayor incidencia.
Para mejor ilustración se adjuntan fotografías representativas del relevamiento realizado.

Progresiva 484+000



CONSORCIO SHG
SERVIC | HYTSA | GEOLATINA

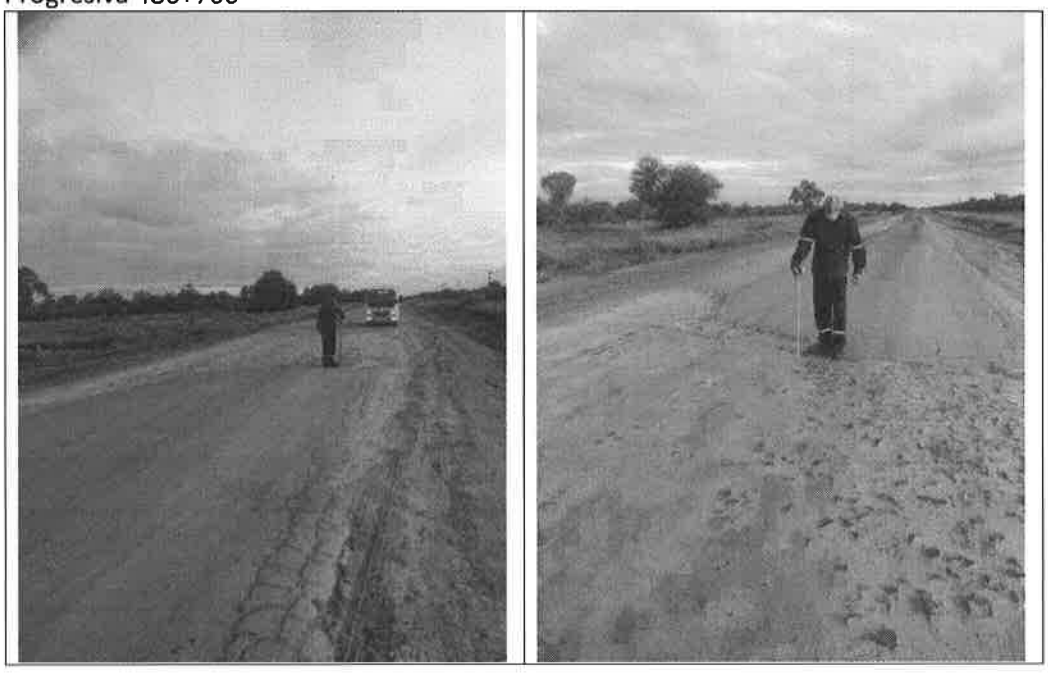
Consorcio Constructora
Asunción S.A. y Asociados / 32

CONSTRUCTORA ASUNCIÓN S.A. Y ASOC./32
Arq. José M. Díaz Benza
Representante Legal

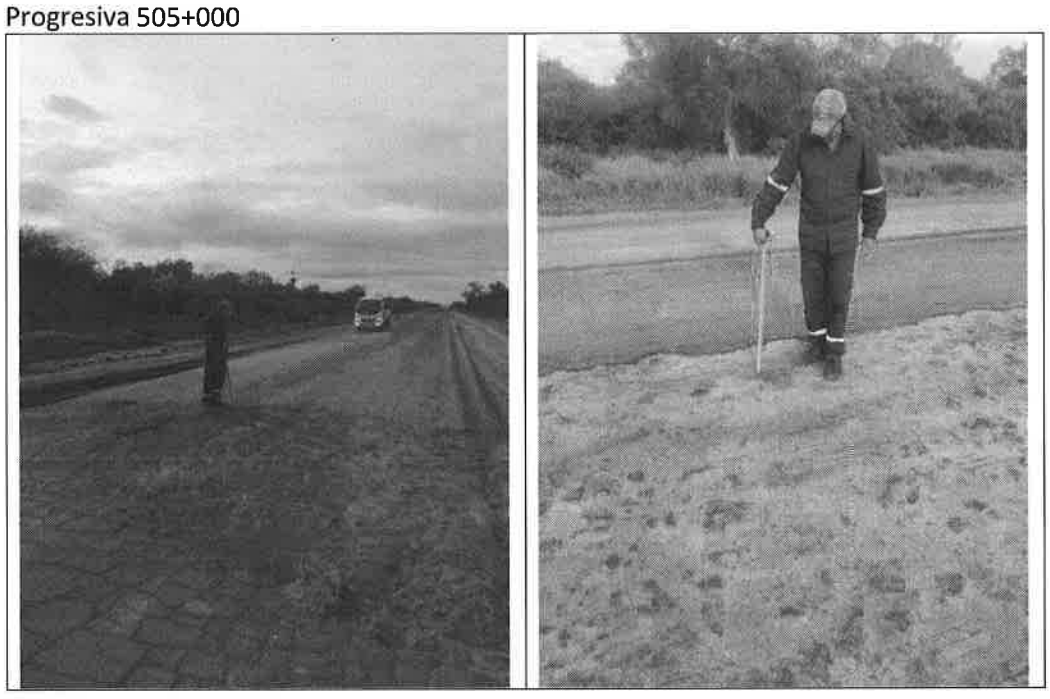
JOSÉ PAVÓN
& Asociados

Esmeralda 1372 casi Mbocayaty, Lambaré
Tel. +595 (982) 543636
jose.pavonm@gmail.com

Progresiva 486+700



Progresiva 505+000



CONSORCIO SHG
SERVIC | HYTSA | GEOLATINA

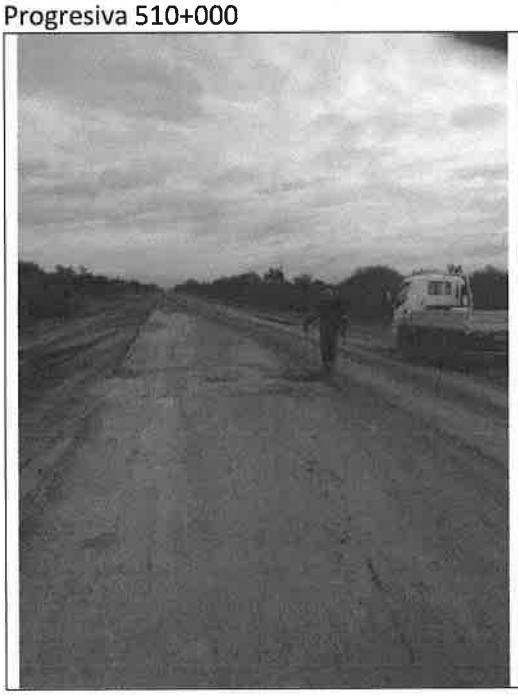
Consorcio Constructora
Asunción S.A. y Asociados / 32

CONSTRUCTORA ASUNCIÓN S.A. Y ASOC./32
Arq. José M. Díaz Benza
Representante Legal

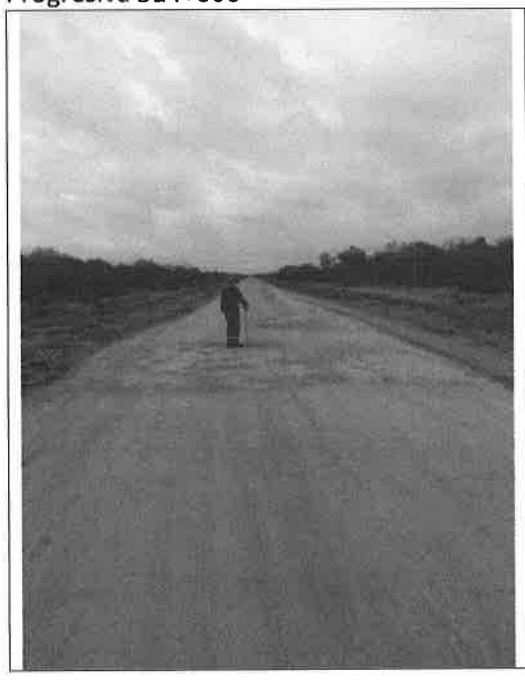
JOSÉ PAVÓN
& Asociados

Esmeralda 1372 casi Mbocayaty, Lambaré
Tel. +595 (982) 543636
jose.pavonm@gmail.com

Progresiva 510+000



Progresiva 514+000



CONSORCIO SIG
SERVIT C | HYISA | GEOLATINA

Consorcio Constructora
Asunción S.A. y Asociados / 32

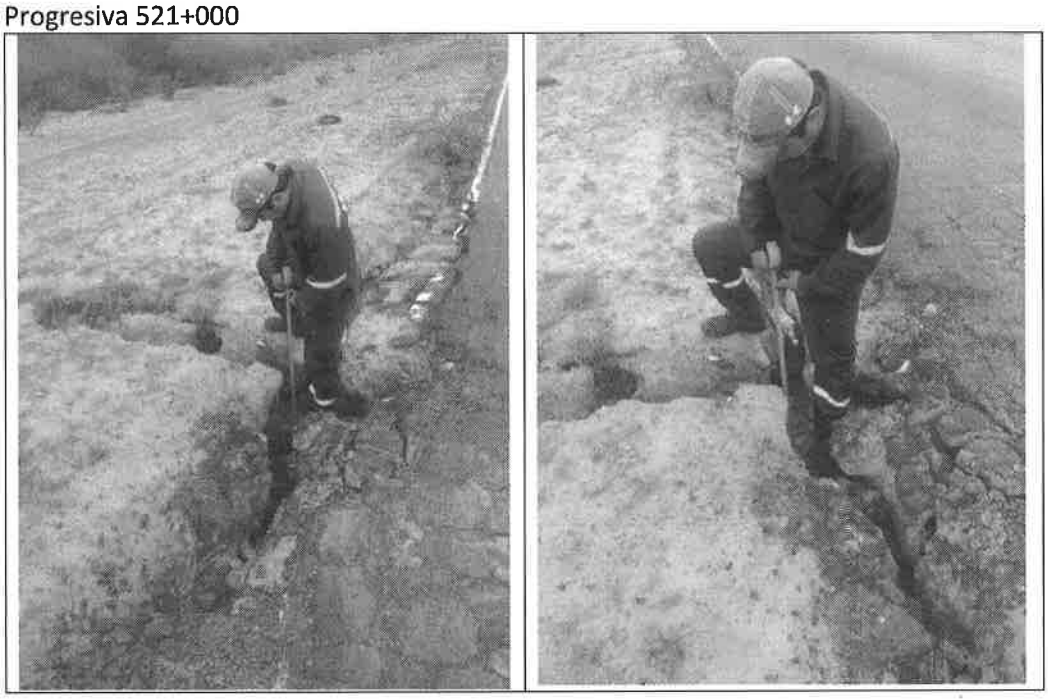
CONSTRUCTORA ASUNCIÓN S.A. Y ASOC./32
Arq. José M. Díaz Benza
Representante Legal

JOSÉ PAVÓN
& Asociados

Esmeralda 1372 casi Mbocayaty, Lambaré
Tel. +595 (982) 543636
jose.pavonm@gmail.com

Progresiva 515+000

Progresiva 521+000



CONSORCIO GHG
SERVIN C | HYTSA | GEOLATINA

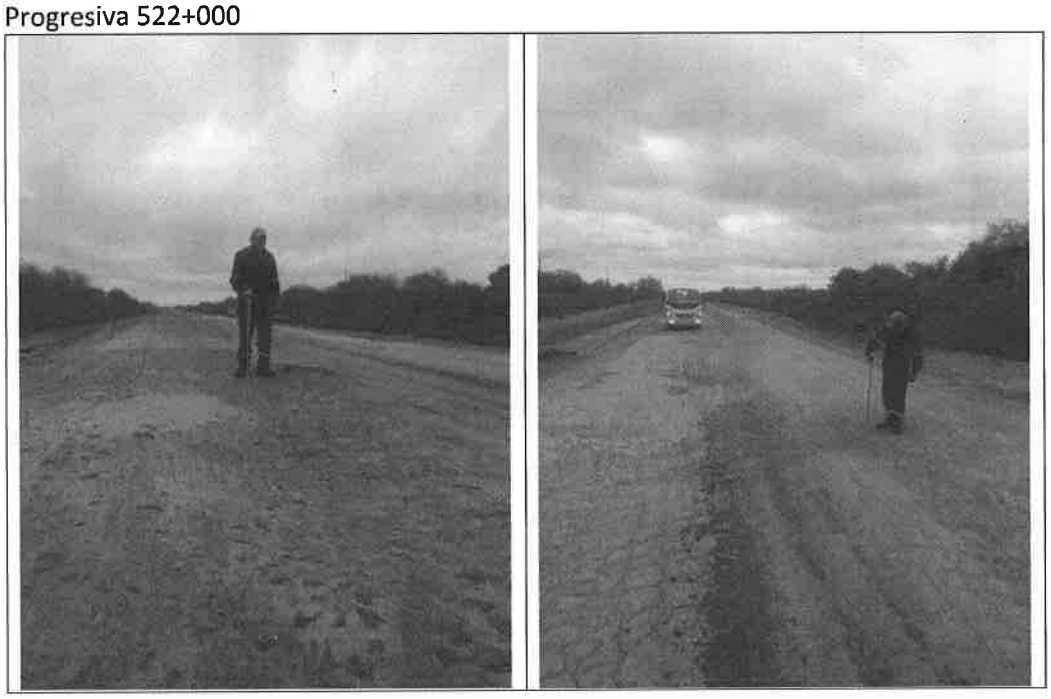
Consorcio Constructora
Asunción S.A. y Asociados / 32

CONSTRUCTORA ASUNCIÓN S.A. Y ASOC./32
Arq. José M. Díaz Benza
Representante Legal

JOSÉ PAVÓN
& Asociados

Esmeralda 1372 casi Mbocayaty, Lambaré
Tel. +595 (982) 543636
jose.pavonm@gmail.com

Progresiva 522+000

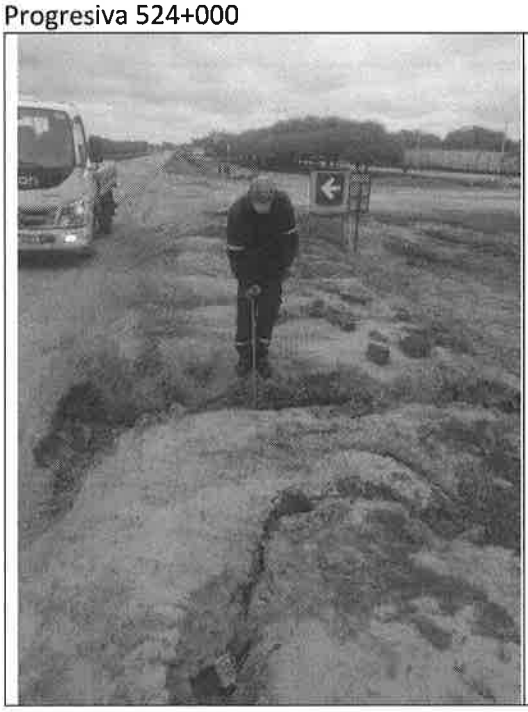


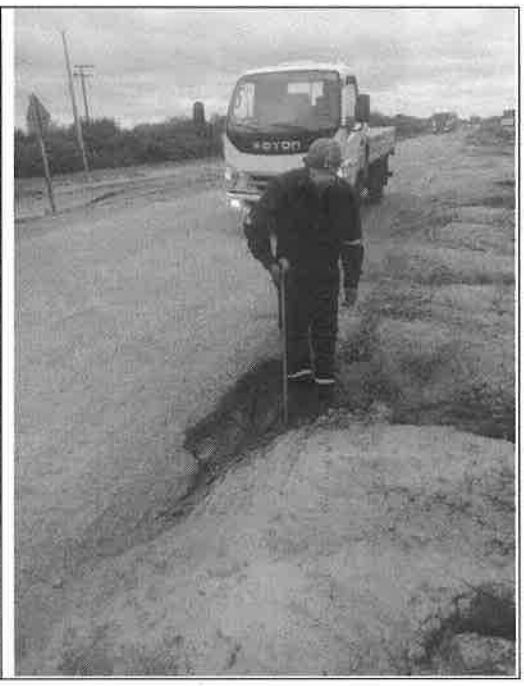
Progresiva 523+000

JOSÉ PAVÓN
& Asociados

Esmeralda 1372 casi Mbocayaty, Lambaré
Tel. +595 (982) 543636
jose.pavonm@gmail.com

Progresiva 524+000



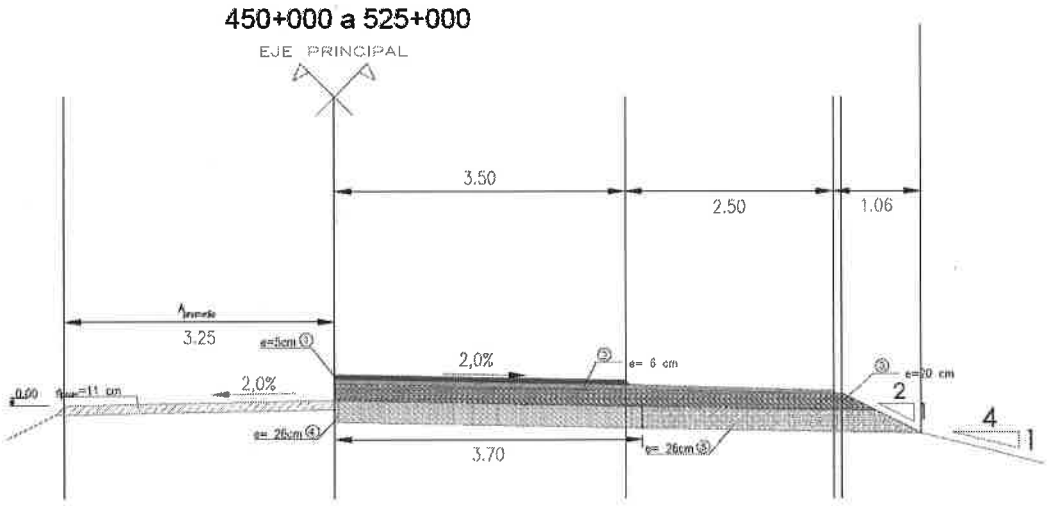


1.4. PAQUETE ESTRUCTURAL

El Paquete Estructural propuesto por el MOPC considera las siguientes capas:

- Carpeta de Concreto Asfáltico
- Base de Concreto Asfáltico
- Base Granular Estabilizada
- SubBase Reciclado Suelo Agregado con Cemento Portland (Calzada)
- SubBase Reciclado Suelo Mejorado con Cemento Portland (Banquina)

450+000 a 525+000



CONSORCIO SHG
SERVIC | HYTSA | GEOLATINA

Consorcio Constructora
Asunción S.A. y Asociados / 32

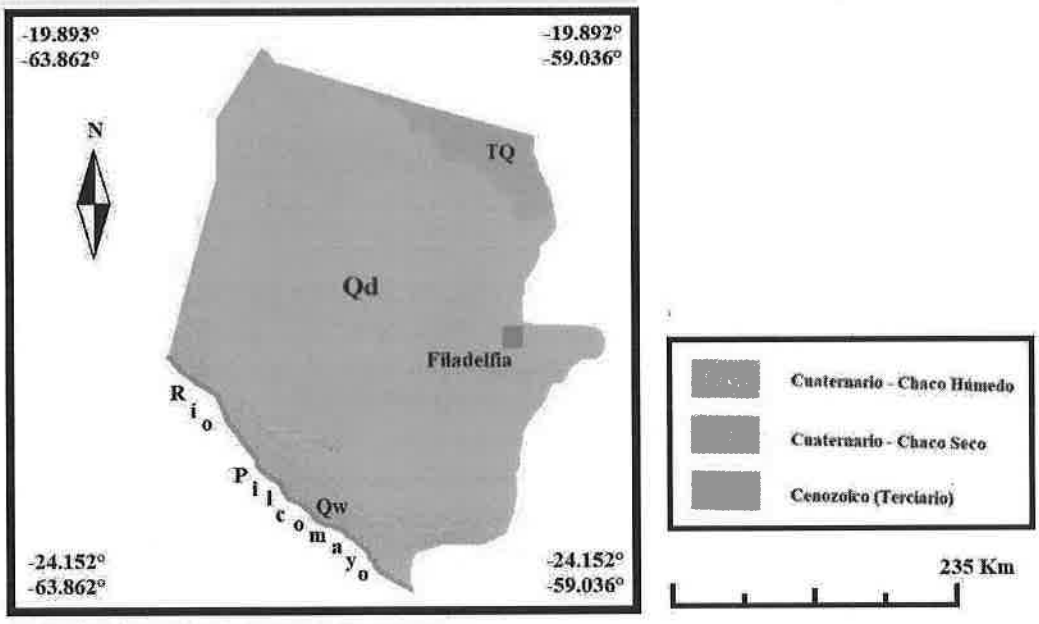
CONSTRUCTORA ASUNCIÓN S.A. Y ASOC./32
Arq. José M. Díaz Benza
Representante Legal

JOSÉ PAVÓN
& Asociados

Esmeralda 1372 casi Mbocayaty, Lambaré
Tel. +595 (982) 543636
jose.pavonm@gmail.com

1.5. GEOLOGIA REGIONAL

La Cuenca del Chaco está limitada al oeste por la Cordillera de los Andes y al noreste por el Escudo del Brasil. Los suelos del Departamento de Boquerón son de origen transportado aluvial pertenecientes al Cuaternario en gran medida, y en particular en toda la extensión de la traza del Proyecto.
La morfología presenta paleocauces colmatados, delineados por interfluvios de la planicie antigua y los paleocauces propiamente dichos.
Los suelos de estos interfluvios son de textura media a fina, con sales frecuentemente presentes, con fuerte presencia de limos y arcillas.



http://www.geologiadelparaguay.com/GeoDBoqueron.htm

El clima de la zona de obras es subtropical. Se caracteriza por un verano es muy caluroso, pudiendo alcanzar temperaturas mayores a 40°C, y excepcionalmente se tiene temperaturas inferiores a 0°C durante el invierno.
El régimen de precipitación pluvial anual se ubica en el rango de 800mm a 1000mm. Las lluvias son estacionales y se registran principalmente durante la primavera y el verano. Acorde a las temperaturas y precipitaciones puede ser clasificado como clima semiárido. Corrientemente el ambiente es muy caliente, ventoso del norte, polvoriento y seco.

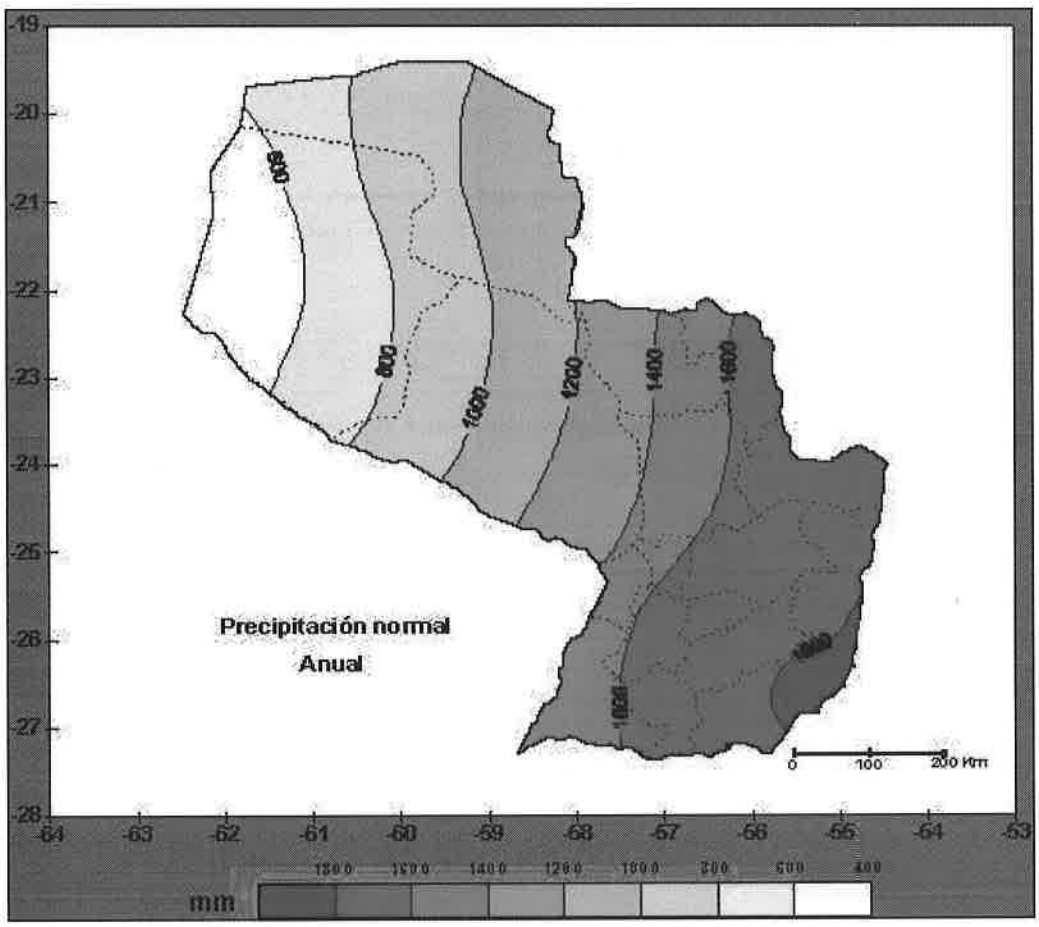
CONSORCIO SAG
SERVIR O | HYTSA | GEOLATINA

Consorcio Constructora
Asunción S.A. y Asociados / 32

CONSTRUCTORA ASUNCIÓN S.A. Y ASOC./32
Arq. José M. Díaz Benza
Representante Legal

JOSÉ PAVÓN
& Asociados

Esmeralda 1372 casi Mbocayaty, Lambaré
Tel. +595 (982) 543636
jose.pavonm@gmail.com



1.6. PROGRAMA DE ENSAYOS

En base a los requerimientos del Paquete Estructural de la Licitación y la geología del local de implantación de la obra fue prevista una campaña de sondeos geotécnicos, destinada al relevamiento in situ del Paquete Estructural.
Para el efecto se organizó una Visita Técnica al sitio de obras para el relevamiento del terreno y las condiciones del pavimento, y posteriormente fueron realizados ensayos de campo y laboratorio.
En función a los resultados obtenidos se plantea el diseño ajustado denominado Proyecto Ejecutivo.

CONSORCIO SAG
SERVIPOL | HYTSA | GEOLATINA

Consorcio Constructora
Asunción S.A. y Asociados / 32

CONSTRUCTORA ASUNCIÓN S.A. Y ASOC./32
Arq. José M. Díaz Bruno
Representante Legal

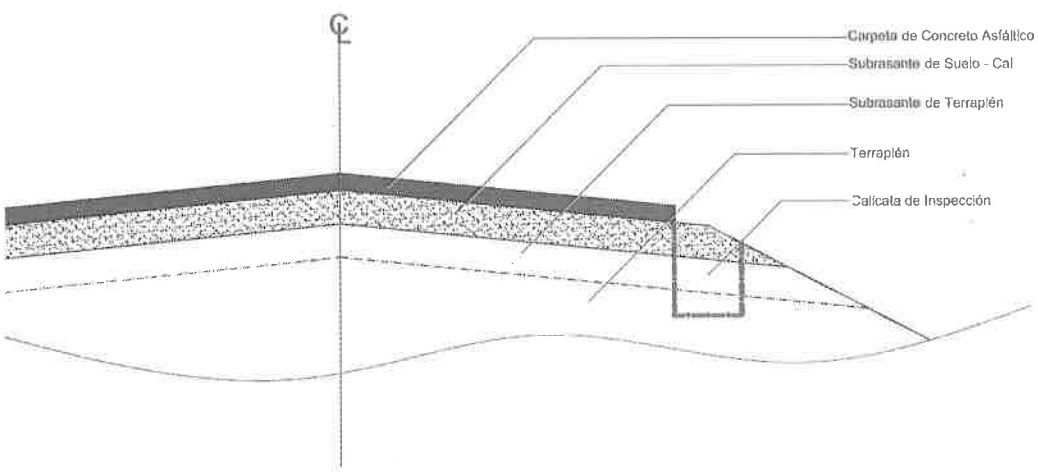
JOSÉ PAVÓN
& Asociados

Esmeralda 1372 casi Mbocayaty, Lambaré
Tel. +595 (982) 543636
jose.pavonm@gmail.com

CAPITULO 2 – CAMPAÑA DE ENSAYOS GEOTECNICOS

2.1. INTRODUCCION

La obra a ser ejecutada requiere de un relevamiento preliminar, a fin de identificar las características del pavimento existente, los materiales disponibles en zona de obras y a aquellos que van a ser utilizados, a fin de contar con un inventario para el desarrollo del Proyecto, tendientes a establecer las condicionantes para así definir los parámetros geotécnicos a ser empleados en el diseño.
Inicialmente se ha procedido al estudio de los materiales disponibles en la región, a partir de las referencias bibliográficas, Geología Regional, Paquete Estructural, Préstamos y Yacimientos, y Especificaciones Técnicas.
El Anteproyecto elaborado por el MOPC requiere de una verificación en campo de las condicionantes locales, motivo por el cual fue implementada una Campaña de Ensayos Geotécnicos de Campo y Laboratorio.
En este sentido deben distinguirse dos situaciones bien particulares: por un lado se tiene el terraplén existente ya construido y en servicio actualmente, y por el otro la necesidad de ensanchar la plataforma.
Considerando una extensión de 75Km en el Tramo, y dada la relativa homogeneidad de los suelos existentes en la traza, se ha optado por efectuar un muestreo sistemático, con Calicatas de Inspección separadas cada 5Km. Estas Calicatas se realizaron en forma alternada (lados izquierdo y derecho) en la Banquina – al borde de la Calzada – de forma a relevar las diferentes capas juntamente con sus respectivos espesores.



Los ensayos realizados fueron divididos en dos etapas, inicialmente una Campaña de Sondeos en Campo, y en una segunda etapa los ensayos de laboratorio físicos y químicos, que incluyen las siguientes pruebas:

a) Campo
   - Calicatas de Inspección
   - Penetrómetro Dinámico Ligero (DCP)

CONSORCIO SHG
SERVIC | HYISA | GEOLATINA

Consorcio Constructora
Asunción S.A. y Asociados / 32

CONSTRUCTORA ASUNCIÓN S.A. Y ASOC./32
Arq. José M. Díaz Benza
Representante Legal

JOSÉ PAVÓN
& Asociados

Esmeralda 1372 casi Mbocayaty, Lambaré
Tel. +595 (982) 543636
jose.pavonm@gmail.com

- Densidad in Situ

b) Laboratorio
- Humedad Natural
- Límites de Atterberg (LL, LP)
- Granulometría
- Compactación Proctor
- Capacidad Soporte CBR
- Clasificación de Suelos

c) Químicos
- Identificación de Suelos Dispersivos
- Identificación de Suelos Sulfatados

Posteriormente a los ensayos se ha trabajado en el diseño del Paquete Estructural, comprendiendo:
- Suelo Cemento
- Reciclado de Suelo-Cal y Concreto Asfáltico con incorporación de Cemento
- Suelo Cal

3.2. ENSAYOS DE CAMPO

- *Calicatas de Inspección*

La Calicata de Inspección es una prospección in situ que permite el reconocimiento geotécnico del terreno. Consiste en la inspección directa del suelo que se desea estudiar y, por lo tanto, es el método de exploración que normalmente entrega la información más confiable y completa.

Por las condiciones de los estudios - camino en servicio – se presentan restricciones y por ello fue realizada en la banquina del terraplén existente.

Las Calicatas fueron realizadas con las dimensiones necesarias para permitir su apropiada inspección y descripción, obtención de muestras para ensayos en laboratorio, así como la ejecución de ensayos de campo (DCP y de densidad in situ), juntamente con registros fotográficos

Las muestras fueron convenientemente identificadas con etiquetas para lograr una fácil identificación en laboratorio (obra, número de calicata, progresiva, coordenadas de ubicación, lado, profundidad y número de muestra).

- *Penetrómetro Dinámico Ligero (DCP)*

El uso y aplicación del DCP en pavimentos, tiene una metodología estándar descrita por la ASTM con la designación D-6951-03. Este ensayo utiliza un penetrómetro de cono basado en el dimensionamiento de Sowers, con un martinete de 8 kg el cual tiene una

CONSORCIO SHG
SERVIC | HYTSA | GEOLATINA

Consorcio Constructora Asunción S.A. y Asociados / 32

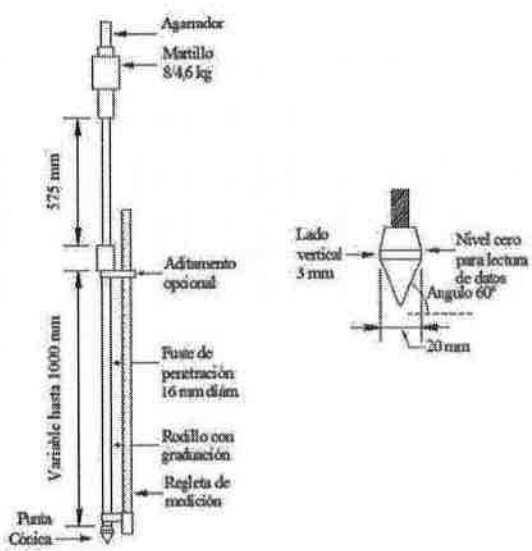
CONSTRUCTORA ASUNCIÓN S.A. Y ASOC./32
Arq. José M. Díaz Benza
Representante Legal

JOSÉ PAVÓN
& Asociados

Esmeralda 1372 casi Mbocayaty, Lambaré
Tel. +595 (982) 543636
jose.pavonm@gmail.com

caída libre de 575mm, con un cono intercambiable en la punta con un ángulo de 60° y de diámetro 20mm. Este ensayo fue ejecutado hasta una profundidad de 1.50m en los terraplenes existentes.
Este método de ensayo fue utilizado para evaluar la resistencia in situ de materiales compactados dentro del trazado. La tasa de penetración del DCP fue empleada para estimar por correlaciones el CBR in situ - identificando los espesores de capas - así como para estimar la resistencia al corte de las capas y otras características de los respectivos. En profundidad el perfil brinda una indicación de las propiedades de los diferentes estratos componentes en las condiciones reales en que estos se encuentran en el momento del ensayo.
La bibliografía reporta varias correlaciones para la obtención del CBR de campo a partir del ensayo del DCP. Corrientemente se emplea la expresión:

$$CBR = \frac{292}{DCP^{1.12}}$$



- *Densidad in Situ*

El ensayo de densidad in situ por el método del Cono de Arena permite obtener la densidad de terreno, a fin de compararlo con la compactación alcanzada en laboratorio, de forma a determinar el grado de compactación en pista.
Una vez preparada la superficie se procede a colocar el plato metálico y se realiza una perforación central. Luego se excava a través de esta perforación un orificio con una profundidad similar a la capa en estudio. A continuación, se procede a colocar el cono de manera invertida sobre el agujero y se abre la válvula para dejar caer la arena padronizada - granulometría uniforme, seca y densidad conocida – hasta el agujero.

Consorcio Constructora
Asunción S.A. y Asociados / 32

CONSTRUCTORA ASUNCIÓN S.A. Y ASOC./32
Arq. José M. Díaz Benza
Representante Legal

JOSÉ PAVÓN
& Asociados

Esmeralda 1372 casi Mbocayaty, Lambaré
Tel. +595 (982) 543636
jose.pavonm@gmail.com

Posteriormente, se determina en laboratorio la densidad húmeda del suelo dividiendo la masa húmeda del material que fue removido entre el volumen del orificio. Luego utilizando la masa húmeda del suelo, el contenido de humedad y volumen del orificio, se puede calcular el volumen del agujero excavado, la masa seca del material extraído y las densidades húmedas y secas "in situ" del suelo ensayado.
Las pruebas fueron efectuadas conforme el reglamento de aplicación AASHTO T-91.

3.3. ENSAYOS FISICOS

- *Humedad Natural*

Este ensayo tiene por finalidad, determinar el contenido de agua en una muestra de suelo. La importancia del contenido de agua que presenta un suelo representa junto con la cantidad de aire, una de las características más importantes para explicar el comportamiento de este (especialmente en aquellos de textura más fina), como por ejemplo cambios de volumen, cohesión, estabilidad mecánica. El método tradicional de determinación de la humedad del suelo en laboratorio, es por medio del secado a horno, donde la humedad de un suelo es la relación expresada en porcentaje entre el peso del agua existente en una determinada masa de suelo y el peso de las partículas sólidas.

- Límites de Atterberg

Los Límites de Atterberg se utilizan para caracterizar el comportamiento de los suelos finos. Los límites se basan en el concepto de que en un suelo de grano fino solo pueden existir cuatro estados de consistencia según su humedad. Así, un suelo se encuentra en estado sólido cuando está seco. Al agregársele agua poco a poco, va pasando sucesivamente a los estados de semisólido, plástico y, finalmente líquido. Los contenidos de humedad en los puntos de transición de un estado al otro son los denominados límites de Atterberg.
El Límite Líquido (LL) se mide en laboratorio mediante un procedimiento normalizado en que una mezcla de suelo y agua, capaz de ser moldeada, se deposita en la Copa de Casagrande y haciendo girar la manivela se golpea consecutivamente contra la base del aparato, hasta que el surco que previamente se ha hecho en la muestra se cierre en una longitud de 12,7mm (1/2"). Si el número de golpes para que se cierre el surco es 25, la humedad del suelo (razón peso de agua/peso de suelo seco) corresponde al Límite Líquido.

CONSORCIO SERVIC | HYTSA | GEOLATINA

Consorcio Constructora Asunción S.A. y Asociados / 32

CONSTRUCTORA ASUNCIÓN S.A. Y ASOC./32
Arq. José M. Díaz Benza
Representante Legal

JOSÉ PAVÓN
& Asociados

Esmeralda 1372 casi Mbocayaty, Lambaré
Tel. +595 (982) 543636
jose.pavonm@gmail.com

Por otro lado, se define el Límite Plástico (LP) como la humedad más baja para la cual consigue formarse cilindros de 3mm de diámetro, rodando dicho suelo entre los dedos de la mano y una superficie lisa, hasta que los cilindros presenten fisuras.
Finalmente, el Indice de Plasticidad (IP) corresponde a la diferencia entre ambos.

- Granulometría

El análisis granulométrico de los suelos permite caracterizar el mismo, y nos aproxima a la capacidad portante, deformabilidad y permeabilidad del material.
La granulometría por tamizado (suelos gruesos y agregados) consiste en la construcción de una Curva Granulométrica, la cual es representativa de la distribución de los tamaños de las partículas.

- *Compactación Proctor*

Proctor (1933) demostró que para contenidos de humedad crecientes y una determinada energía de compactación, la densidad lograda aumenta ya que el agua actúa como lubricante entre las partículas del suelo, incrementándose la densidad hasta un cierto punto en el cual - al seguir añadiendo agua - la densidad empieza a decrecer; el agua ha dejado de desplazar aire y como es incompresible, empieza a desplazar las partículas de suelo, incrementando el volumen y disminuyendo la densidad.
Para cada suelo existe un contenido en humedad que proporciona la máxima densidad seca. Este es el contenido de humedad óptimo, que es lo deseable en pista cuando se va a compactar un suelo.

CONSORCIO SHG
SERVIN C | HYISA | GEOLATINA

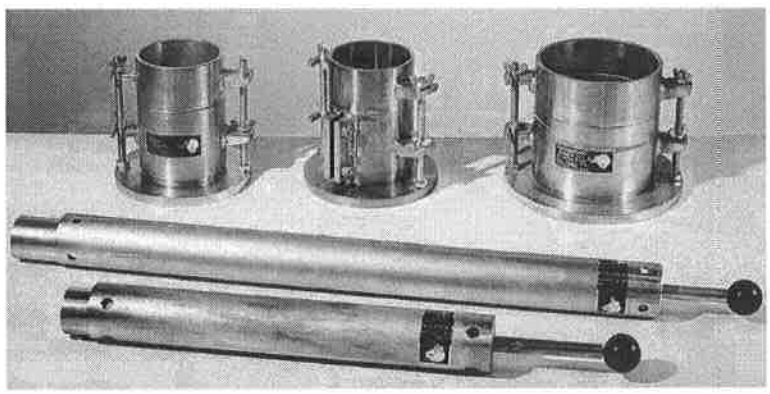
Consorcio Constructora
Asunción S.A. y Asociados / 32

CONSTRUCTORA ASUNCIÓN S.A. Y ASOC./32
Arq. José M. Díaz Benza
Representante Legal

JOSÉ PAVÓN
& Asociados

Esmeralda 1372 casi Mbocayaty, Lambaré
Tel. +595 (982) 543636
jose.pavonm@gmail.com

El ensayo de Proctor tiene dos variantes: el Proctor Normal y el Proctor Modificado. La diferencia entre ambos estriba en la distinta energía de compactación utilizada. En el ensayo Proctor Normal – suelos finos - se utiliza una masa de 5.5 lb (2.5 kg) con caída libre de 12" (305mm) y en el Proctor Modificado – suelos gruesos - se usa una masa de 10 lb (4.54 kg) con caída libre de 18" (457mm).
Este ensayo se emplea para determinar la relación densidad seca y la humedad de compactación de los materiales dispuestos en capas, y como referencia para el control de calidad de la compactación en obra.



- *Capacidad Soporte CBR*

El ensayo del CBR (California Bearing Ratio o Soporte California) mide la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo, a fin de evaluar la calidad del suelo compactado.
Se efectúa bajo condiciones controladas de humedad y densidad. Para el efecto se compactan 3 muestras con diferentes energías, a humedad óptima, en el ensayo Proctor (12 golpes, 25 golpes y 56 golpes por capa).
Las probetas se sumergen en agua durante 4 días con sobrecargas y se mide la expansión. Dichas probetas saturadas se preparan para punzonamiento en prensa, registrándose carga y deformación.

- *Clasificación de Suelos*

La Clasificación de Suelos para uso vial por excelencia corresponde al Sistema establecido por la Highway Research Board (HRB). Está basado en la clasificación de grupos y subgrupos en función a la granulometría y la consistencia, agrupando suelos de similares características de comportamiento, y definiendo para los mismos los Indices de Grupo (IG).

JOSÉ PAVÓN & Asociados

Esmeralda 1372 casi Mbocayaty, Lambaré
Tel. +595 (982) 543636
jose.pavonm@gmail.com

Clasificación por Grupos y SubGrupos	A1		A3	A2				A4	A5	A6	A7*
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Granulometría											
Pasantes # 10	<50	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Pasantes # 40	<30	<50	>50	---	---	---	---	---	---	---	---
Pasantes # 200	<15	<25	<10	<35	<35	<35	<35	>35	>35	>35	>35
Consistencia											
LL	---		---	<40	>40	<40	>40	<40	>40	<40	>40
IP	<6		NP	<10	<10	>10	>10	<10	<10	>10	>10
IG	0		0	0		<4		<8	<12	<16	<20
Tipo de Material	Grava y arena		Arena fina	Grava y arenas limosas o arcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Comportamiento como camada de pavimento	Excelente a Bueno					Regular a Malo					
Compactación	T180							T99			

A-7-5 → IP ≤ (LL-30)
A-7-6 → IP > (LL-30)

3.4. SUELOS DISPERSIVOS Y SULFATADOS

Comprenden ensayos físicos y químicos, orientados a identificar los suelos dispersivos y sulfatados, así como también la valoración en cuanto a su grado de relevancia según génesis.

- Suelos Dispersivos

Son aquellos suelos que por la naturaleza de la mineralogía y la química del agua son susceptibles a la separación de sus partículas individuales (dispersión), y a la posterior erosión a través de fisuras o grietas en el suelo bajo la infiltración de agua.
Estos suelos presentan una naturaleza química inestable que ocasiona la erosión interna regresiva (piping) en los terraplenes. El fenómeno se desarrolla por acción de las aguas de lluvia que actúan como dipolos, a través de los cationes de sodio que capturan los suelos finos y los arrastran en un proceso erosivo.
Para la identificación de los suelos dispersivos se han realizado los ensayos denominados Crumb Test, Pinhole Test y Contenido de Sales (gran preponderancia de cationes de Na).

CRUMB TEST		
Grado	Reacción	Condición
1	Ninguna	No Dispersivo
2	Ligera	Intermedio
3	Moderada	Dispersivo
4	Fuerte	Altamente Dispersivo

CONSORCIO SHG
SERVIPC | HYTSA | GEOLATINA

Consorcio Constructora Asunción S.A. y Asociados / 32

CONSTRUCTORA ASUNCIÓN S.A. Y ASOC./32
Arq. José M. Díaz Benza
Representante Legal

JOSÉ PAVÓN & Asociados

Esmeralda 1372 casi Mbocayaty, Lambaré
Tel. +595 (982) 543636
jose.pavonm@gmail.com

PINHOLE TEST						
Grado	Altura de Carga (mm)	Tiempo de Carga (min)	Caudal (cm^3/s)	Diámetro del Orificio (mm)	Color del Agua al final del ensayo	Condición
D1	50	5	> 1,50	2x	muy turbio	Altamente Dispersivo
D2	50	10	> 1,00	2x	turbia	Dispersivo
ND4	50	10	< 0,80	1,5x	medianamente turbio	Moderadamente dispersivo
ND3	180 a 380	5	> 2,50	2x	poco turbio	Moderadamente dispersivo
ND2	1020	5	> 3,50	2x	poco transparente	No Dispersivo
ND1	1020	5	< 5,00	sin erosión	transparente	No Dispersivo

- Suelos Sulfatados

Estos suelos presentan variaciones en su comportamiento, mostrando alteraciones negativas en cuanto a su resistencia, durabilidad y estabilidad volumétrica.
La identificación se realiza a partir de la determinación de concentración de sulfato soluble.

SUELOS SULFATADOS		
Riesgo	Concentración de Sulfatos Solubles	
	Partes por Millón	Porcentaje del Peso Seco
Bajo	< 3.000 ppm	< 0.3%
Moderado	3,000 ppm a 5.000 ppm	0.3% a 0.5%
Moderado a Alto	5,000 ppm a 8.000 ppm	0.5% a 0.8%
Alto a Inaceptable	> 8.000 ppm	> 0.8%
Inaceptable	> 10.000 ppm	> 1.0%

CONSORCIO SHG
SERVIC | HYISA | GEOLATINA

Consorcio Constructora Asunción S.A. y Asociados / 32

CONSTRUCTORA ASUNCIÓN S.A. Y ASOC./32
Arq. José M. Díaz Benza
Representante Legal

JOSÉ PAVÓN
& Asociados

Esmeralda 1372 casi Mbocayaty, Lambaré
Tel. +595 (982) 543636
jose.pavonm@gmail.com

CAPITULO 4 – ANALISIS DE RESULTADOS

4.1. INTRODUCCION

En el presente apartado se describen los resultados obtenidos en los distintos ensayos, con resultados provenientes de campo y laboratorio, donde se incluyen comentarios y observaciones correspondientes a los suelos de terraplenes y préstamos existentes, como así también la aptitud de los mismos para las diferentes capas del Paquete Estructural.
La Campaña de Ensayos realizada se dividió básicamente en dos grupos, tendientes a relevar las condiciones actuales del Terraplén existente (en servicio) y a la búsqueda de materiales de aporte para el ensanche de Calzada.

a) Terraplén Existente

El terraplén existente se encuentra constituido por materiales provenientes de la zona de obras, y para su estudio se programó una Campaña de Ensayos, a fin de evaluar la condición de los mismos y el estado del pavimento.
Como consecuencia de la Inspección Técnica en Campo, se realizaron relevamientos de los taludes a lo largo del tramo, y fue establecida la necesidad de ejecutar sistemáticamente cateos con Calicatas de Inspección, a partir de las cuales se realizaron ensayos de campo (DCP y Densidad in Situ), habiéndose obtenido muestras para ensayos de laboratorio. Estas calicatas se ubicaron al borde la calzada, en las distintas Progresivas ensayadas.

4.2. PAQUETE ESTRUCTURAL

El Paquete Estructural del Pavimento Existente está constituido por una Carpeta de Concreto Asfáltico, Suelo Cal y Terraplén.

4.2.1. TERRAPLEN Y SUBRASANTE TERRAPLEN

Las actuales Especificaciones Técnicas del Contrato establecen criterios para los suelos del Terraplén. En primer término establece un CBR>3% para el Cuerpo del Terraplén y un CBR>5% para la Subrasante del Terraplén, en todos los casos con una Expansión<1%.
De acuerdo a los ensayos de granulometría y Límites de Atterberg los suelos existentes en el Terraplén se encuadran en la Clasificación AASHTO como A-4, con pasantes #200>35%, LL<40 e IP<10.
El Grado de Compactación requerido para suelos tipo A-4 (existente en el Terraplén) exige en el ensayo T-99 del Proctor una densidad de campo no menor al 95% de la densidad de laboratorio.

CONSORCIO SHG
SERVIC | HYTSA | GEOLATINA

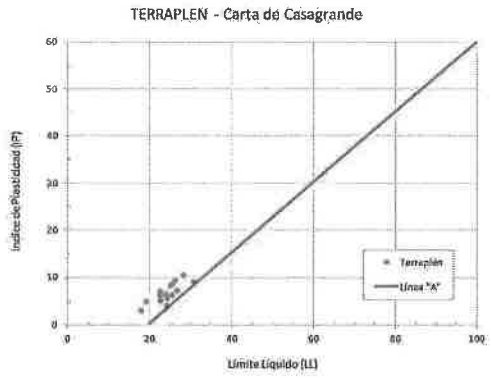
Consorcio Constructora
Asunción S.A. y Asociados / 32

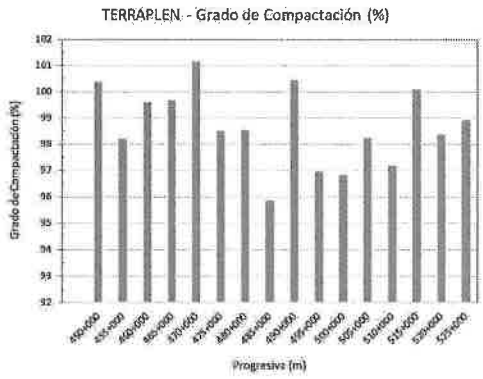
CONSTRUCTORA ASUNCIÓN S.A. Y ASOC./32
Arq. José M. Díaz Benza
Representante Legal

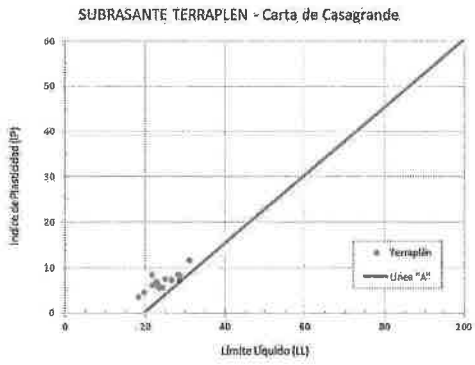
JOSÉ PAVÓN
& Asociados

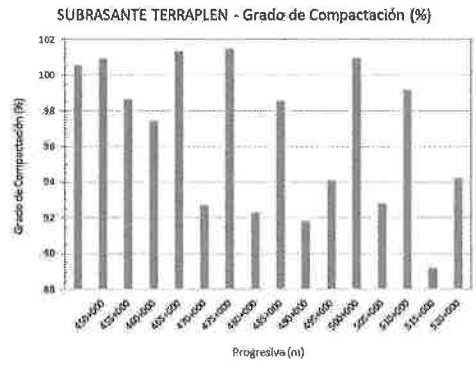
Esmeralda 1372 casi Mbocayaty, Lambaré
Tel. +595 (982) 543636
jose.pavonm@gmail.com

En base a estos lineamientos, se han realizado Calicatas en el Terraplén a diferentes profundidades, buscando que las muestras sean representativas, y por este motivo se escogió la última capa de asiento correspondiente a la Subrasante del Terraplén, como así también una capa del cuerpo del Terraplén propiamente dicho, a fin de lograr mayor información respecto de la condición actual.









Como mencionado anteriormente, densidad in situ y DCP fueron igualmente realizados. Se presenta a continuación En un resumen el cuadro de resultados de los estudios de laboratorio:

CONSORCIO SIG
SERVIL C | HYISA | GEOLATINA

Consorcio Constructora
Asunción S.A. y Asociados / 32

CONSTRUCTORA ASUNCIÓN S.A. Y ASOC./32
Arq. José M. Díaz Benza
Representante Legal

JOSÉ PAVÓN & Asociados

Esmeralda 1372 casi Mbocayaty, Lambaré
Tel. +595 (982) 543636
jose.pavonm@gmail.com

RUTA TRANSCHACO - TRAMO 4 - LOTE 7, Km 450 Desvío Neuland - Km 525 M.cal. Estigarribia

CUADRO DE RESUMEN DE ENSAYOS

SUBRASANTE TERRAPLEN

Datos Generales			Humedad Natural (%)	Límites de Atterberg			Granulometría				Proctor			CBR		Densidad In Situ				Clasificación	
Progresiva	Lado	Profundidad (m)		LL	LP	IP	#10	#40	#100	#200	Método	Densidad Máxima (Kg/m³)	Humedad Óptima (%)	CBR 95%	Expansión 95%	Densidad Seca (Kg/m³)	Humedad Natural (%)	Grado Compactación (%)	Diferencia Humedad (%)	IG	Clasif. HRB
450+000	Derecho	0,35 - 0,54	9	23	17	6	100	100	94	91	T-99	1,840	16,2	2,9	0,27	1,849	11,3	100	-4,9	8	A-4
455+000	Derecho	0,42 - 0,60	9	20	15	4	100	99	76	69	T-99	1,800	13	11,0	0,27	1,815	9,3	101	-3,4	7	A-4
460+000	Derecho	0,33 - 0,52	8	29	21	7	99	99	95	93	T-99	1,800	18	3,8	0,30	1,775	10,4	99	-7,8	8	A-4
465+000	Derecho	0,45 - 0,63	8	22	13	8	100	99	85	78	T-99	2,040	10	7,2	0,08	1,987	8,4	97	-1,4	8	A-4
470+000	Izquierdo	0,46 - 0,65	13	23	18	5	100	99	92	83	T-99	1,790	16	5,5	0,18	1,813	12,8	101	-2,8	8	A-4
475+000	Derecho	0,50 - 0,68	11	29	20	8	100	99	84	81	T-99	1,860	17	2,6	0,49	1,723	9,2	93	-7,3	8	A-4
480+000	Derecho	0,40 - 0,58	13	28	20	8	100	99	92	86	T-99	1,800	18	4,5	0,36	1,825	14,4	101	-3,3	8	A-4
485+000	Derecho	0,34 - 0,53	9	23	16	7	100	99	90	79	T-99	2,002	12	6,5	0,20	1,848	9,4	92	-2,4	8	A-4
490+000	Derecho	0,51 - 0,70	15	31	20	11	99	99	95	91	T-99	1,790	17	2,8	0,23	1,764	12,2	99	-5,0	9	A-6
495+000	Derecho	0,54 - 0,72	10	22	16	6	100	99	85	80	T-99	1,960	13	8,4	0,11	1,799	13,8	92	0,5	8	A-4
500+000	Izquierdo	0,42 - 0,60	12	NP	NP	NP	100	99	91	86	T-99	1,840	15	5,3	0,18	1,731	12,0	94	-3,2	8	A-4
505+000	Derecho	0,42 - 0,60	11	23	17	6	100	99	93	90	T-99	1,840	15	3,9	0,17	1,857	12,6	101	-1,9	8	A-4
510+000	Derecho	0,35 - 0,54	9	24	19	5	100	100	97	93	T-99	1,810	16	3,6	0,19	1,679	11,0	93	-5,2	8	A-4
515+000	Izquierdo	0,30 - 0,50	9	27	19	7	100	99	90	79	T-99	1,845	16	8,6	0,15	1,829	8,6	99	-7,2	8	A-4
520+000	Derecho	0,32 - 0,52	7	18	15	3	100	100	84	73	T-99	1,975	13	9,5	0,08	1,761	12,2	89	-0,3	8	A-4
525+000	Derecho	0,38 - 0,56	6	25	18	7	100	100	90	80	T-99	1,860	15	7,4	0,11	1,752	12,6	94	-2,6	8	A-4

Nótese que, tanto en las capas de Subrasante Terraplén como del Cuerpo del Terraplén, se constatan casos con CBR_{95} menores a los previstos en las Especificaciones Técnicas.

CONSORCIO SHG
SERVI C | HYTSA | GEOLATINA

Consorcio Constructora Asunción S.A. y Asociados / 32

CONSTRUCTORA ASUNCIÓN S.A. Y ASOC./32
Arq. José M. Díaz Benza
Representante Legal

JOSÉ PAVÓN & Asociados

Esmeralda 1372 casi Mbocayaty, Lambaré
Tel. +595 (982) 543636
jose.pavonm@gmail.com

Igual condición se registra con el Grado de Compactación (GC>95%), aunque en varios casos el tenor de humedad está por debajo de la humedad óptima (seco):

RUTA TRANSCHACO - TRAMO 4 - LOTE 7, Km 450 Desvío Neuland - Km 525 Mcal. Estigarribia

CUADRO DE RESUMEN DE ENSAYOS — TERRAPLEN

Datos Generales			Humedad Natural (%)	Límites de Atterberg			Granulometría				Proctor			CBR		Densidad In Situ				Clasificación	
Progresiva	Lado	Profundidad (m)		LL	LP	IP	#10	#40	#100	#200	Método	Densidad Máxima (Kg/m³)	Humedad Óptima (%)	CBR 95%	Expansión 95%	Densidad Seca (Kg/m³)	Humedad Natural (%)	Grado Compactación (%)	Diferencia Humedad (%)	IG	Clasif. HRB
450+000	Derecho	0,54 - 0,73	8	23	17	6	100	99	93	91	T-99	1,840	14,2	4,4	0,21	1,847	9,0	100	-5,2	8	A-4
455+000	Derecho	0,60 - 0,77	8	18	15	3	100	99	70	61	T-99	1,830	12	4,6	0,13	1,797	8,0	98	-4,4	5	A-4
460+000	Derecho	0,52 - 0,70	9	23	18	5	100	99	90	86	T-99	1,680	15	3,5	0,25	1,672	8,0	100	-7,2	8	A-4
465+000	Derecho	0,63 - 0,81	10	27	20	7	100	99	95	92	T-99	1,788	17	3,9	0,30	1,782	8,7	100	-8,3	8	A-4
470+000	Izquierdo	0,65 - 0,83	17	28	18	10	100	99	95	89	T-99	1,841	15	3,8	0,28	1,861	16,6	101	1,4	8	A-4
475+000	Derecho	0,68 - 0,86	13	31	22	9	99	99	90	86	T-99	1,733	19	3,6	0,30	1,707	10,4	98	-8,2	8	A-4
480+000	Derecho	0,58 - 0,77	11	26	17	8	100	99	94	88	T-99	1,885	15	9,6	0,10	1,857	11,6	99	-3,2	8	A-4
485+000	Derecho	0,53 - 0,72	11	24	19	6	100	100	89	77	T-99	1,902	16	7,6	0,14	1,823	10,6	96	-5,6	8	A-4
490+000	Derecho	0,70 - 0,88	12	24	18	6	100	99	95	86	T-99	1,718	20	2,6	0,30	1,725	11,8	100	-8,0	8	A-4
495+000	Derecho	0,72 - 0,90	4	NP	NP	NP	100	99	45	36	T-99	2,040	9	18,0	0,13	1,977	10,3	97	1,3	0	A-4
500+000	Izquierdo	0,33 - 0,52	13	24	20	4	99	98	93	90	T-99	1,770	17	4,0	0,84	1,713	12,9	97	-4,1	8	A-4
505+000	Derecho	0,60 - 0,78	12	23	16	7	100	99	93	89	T-99	1,908	13	5,4	0,11	1,874	7,2	98	-6,0	8	A-4
510+000	Derecho	0,54 - 0,73	10	26	19	6	100	100	97	93	T-99	1,810	16	4,1	0,29	1,758	11,0	97	-5,3	8	A-4
515+000	Derecho	0,50 - 0,68	11	26	17	9	100	100	95	92	T-99	1,845	15	5,6	0,35	1,846	10,8	100	-4,0	8	A-4
520+000	Derecho	0,59 - 0,69	6	19	14	5	100	100	83	72	T-99	1,920	12	6,8	0,07	1,888	8,7	98	-3,3	7	A-4
525+000	Derecho	0,56 - 0,78	10	25	17	8	100	100	95	93	T-99	1,830	15	4,2	0,22	1,810	12,4	99	-2,4	8	A-4

CONSORCIO SHG — SERVIC | HYTSA | GEOLATINA

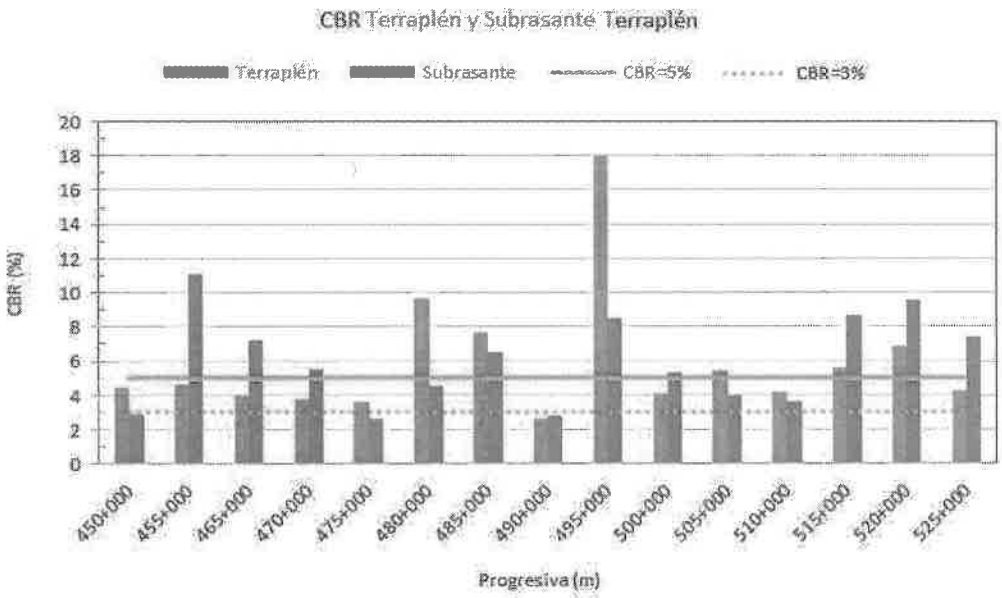
Consorcio Constructora Asunción S.A. y Asociados / 32

CONSTRUCTORA ASUNCIÓN S.A. Y ASOC./32
Arq. José M. Díaz Benza
Representante Legal

JOSÉ PAVÓN & Asociados

Esmeralda 1372 casi Mbocayaty, Lambaré
Tel. +595 (982) 543636
jose.pavonm@gmail.com

Se aclara que en todos los casos el valor del CBR_{95} se determina a partir del 95% de la densidad máxima de compactación, y no directamente del correspondiente a 56 golpes. En el gráfico que se muestra más abajo se indican los valores de CBR del Terraplén Existente (Subrasante y Cuerpo), conforme determinaciones ejecutadas. Nótese que los valores mínimos especificados para Subrasante (CBR=5%) y Cuerpo (CBR=3%) en algunos casos no se alcanza. Este hecho deberá ser llevado en cuenta en el dimensionamiento del Paquete Estructural y/o en la fuente de provisión de materiales.



Otro punto gravitante en el estudio de los terraplenes consistió en la verificación del grado de Dispersión de estos suelos. En cuanto a los ensayos físicos se distinguen el Crumb Test y el Pinhole Test. Ambos ensayos permiten una determinación preliminar cualitativa de la dispersión.
Los resultados alcanzados según las clasificaciones establecidas por las normas de aplicación se indican en la siguiente tabla:

TERRAPLEN & SUBRASANTE TERRAPLEN - SUELOS DISPERSIVOS																
Progresiva	450+000	455+000	460+000	465+000	470+000	475+000	480+000	485+000	490+000	495+000	500+000	505+000	510+000	515+000	520+000	525+000
Crumb Test	1	2	1	4	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3	1	2
Pinhole Test	ND3		D2	D2		D2	D2	D2	D2	D2		D2	D2		D2	

Conforme los valores determinados en laboratorio, se constata la presencia de suelos dispersivos en el Terraplén, debiendo tomarse los recaudos necesarios para salvaguardar su integridad. Como se desprende de la tabla, en algunas progresivas ensayadas los valores son significativos.
Al mismo tiempo se realizaron ensayos químicos, los cuales permiten cuantificar el grado de Dispersión. Observando el gráfico de Sherard se identifican como dispersivos

CONSORCIO SHG
SERVIPAC | HYTSA | GEOLATINA

Consorcio Constructora Asunción S.A. y Asociados / 32

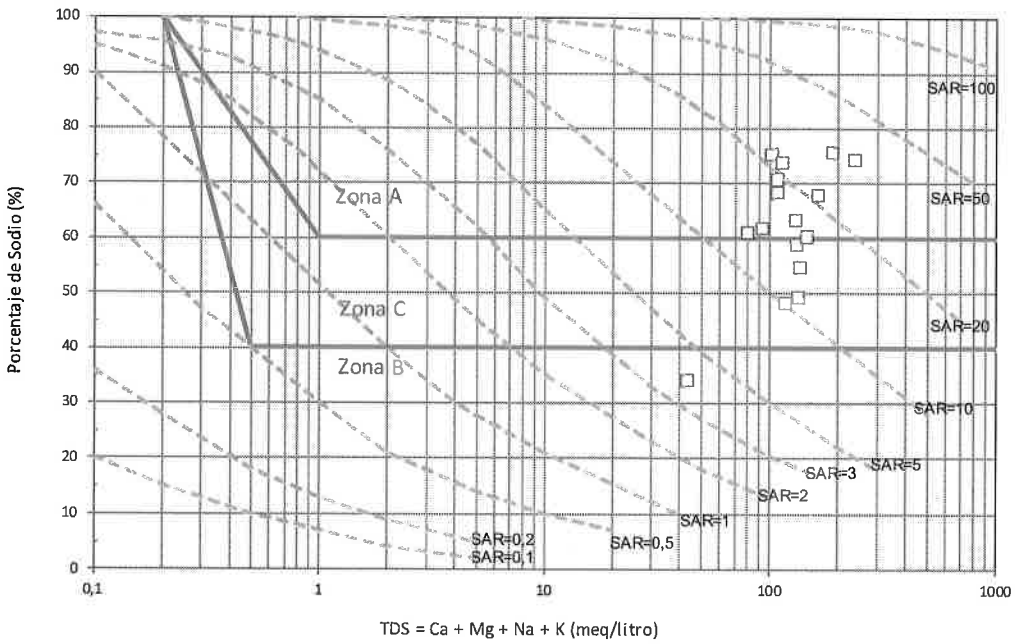
CONSTRUCTORA ASUNCIÓN S.A. Y ASOC.
Arq. José M. Díaz Benza
Representante Legal

JOSÉ PAVÓN & Asociados

Esmeralda 1372 casi Mbocayaty, Lambaré
Tel. +595 (982) 543636
jose.pavonm@gmail.com

aquellos suelos ubicados en la zona "A" y de transición o intermedios los localizados en la zona "C". A su vez los suelos con SAR>2 en la literatura técnica son considerados dispersivos. Con este escenario prácticamente todos los suelos pudieran ser dispersivos, en mayor o menor grado.

GRAFICO DE SHERARD - TERRAPLEN Y SUBRASANTE TERRAPLEN



En la traza también se constató la presencia de suelos sulfatos en zona de obra. Debido a que los suelos del Chaco contienen elevadas concentraciones de sulfato, que cuando reaccionan con el agua forman minerales expansivos que comprometen directamente su estabilidad volumétrica.
Cuando el suelo contiene sulfatos en solución es potencialmente expansivo al entrar en contacto con el agua, produciendo un efecto de hinchamiento que genera fuerzas de expansión, y se manifiestan a lo largo del tiempo (a posteriori).
Atendiendo a que se tienen restricciones en el uso de este tipo de suelos, cuando se verifique una cantidad mayor a 3000mg/Kg (3000ppm), su uso en pista no es recomendable.

TERRAPLEN & SUBRASANTE TERRAPLEN - SUELOS SULFATADOS																
Progresiva	450+000	455+000	460+000	465+000	470+000	475+000	480+000	485+000	490+000	495+000	500+000	505+000	510+000	515+000	520+000	525+000
Sulfato	1387	1932	2417	4148	4667	12500	11667	3989	5278	4163	1748	2349	3104	1711	4656	1410
Conductividad	728	1000	1524	1964	260	465	460	1832	271	1979	1405	1420	1858	1537	2050	977

Estudios químicos realizados demuestran que el sulfato soluble obtenido presenta valores elevados en varias progresivas, a saber:

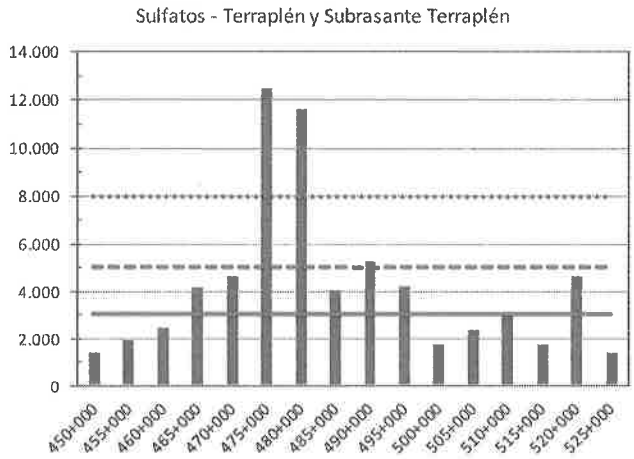
CONSORCIO SIG SERVIC | MYISA | GEOLATINA

Consorcio Constructora Asunción S.A. y Asociados / 32

CONSTRUCTORA ASUNCIÓN S.A. Y ASOC./32
Arq. José M. Díaz Benza
Representante Legal

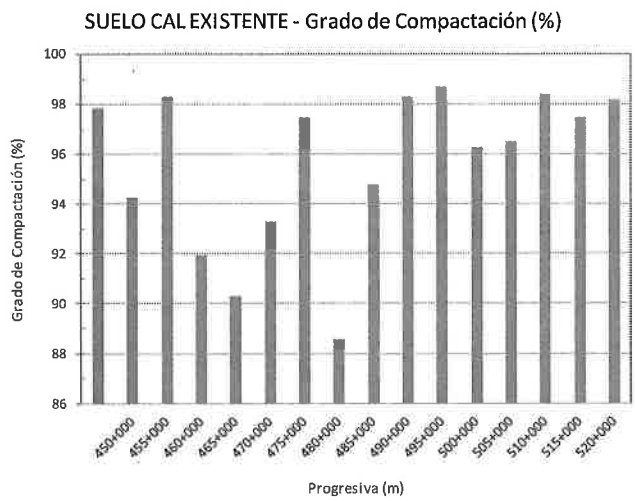
JOSÉ PAVÓN
& Asociados

Esmeralda 1372 casi Mbocayaty, Lambaré
Tel. +595 (982) 543636
jose.pavonm@gmail.com



4.2.2. SUELO – CAL EXISTENTE

El Paquete Estructural Existente cuenta actualmente con una capa de Suelo – Cal, la cual será removida al momento de efectuar el reciclado para el ensanche de la plataforma.
Para los efectos que hubiere lugar, en los mismos fueron realizados ensayos de caracterización, que arrojaron algunos resultados interesantes.
Se determinó una fracción de finos 65%<#200<95% con un IP<10, lo cual encuadra este suelo corregido por Cal en la clasificación como A-4. Sin embargo, se desconoce el tenor de Cal incorporado al suelo en la época de su ejecución.
También se verificó que la humedad del suelo se encontraba por debajo de la óptima en todos los casos, variando en un rango -12%<w<-2%. Al encontrarse el suelo en la rama seca de la curva de compactación se observó que un tercio de los mismos presentan un grado de compactación menor al requerido (GC<95%).



CONSORCIO SHG | HYTSA | GEOLATINA

Consorcio Constructora Asunción S.A. y Asociados / 32

CONSTRUCTORA ASUNCIÓN S.A. Y ASOC./32
Arq. José M. Díaz Benza
Representante Legal

JOSÉ PAVÓN & Asociados

Esmeralda 1372 casi Mbocayaty, Lambaré
Tel. +595 (982) 543636
jose.pavonm@gmail.com

RUTA TRANSCHACO - TRAMO 4 - LOTE 7, Km 450 Desvío Neuland - Km 525 Mcal. Estigarribia

CUADRO DE RESUMEN DE ENSAYOS **SUELO - CAL**

Datos Generales			Humedad Natural (%)	Límites de Atterberg			Granulometría				Proctor			Densidad In Situ				Clasificación	
Progresiva	Lado	Profundidad (m)		LL	LP	IP	#10	#40	#100	#200	Método	Densidad Máxima (Kg/m³)	Humedad Óptima (%)	Densidad Seca (Kg/m³)	Humedad Natural (%)	Grado Compactación (%)	Diferencia Humedad (%)	IG	Clasif. HRB
450+000	Derecho	0,10 - 0,35	8	20	15	5	100	100	94	90	T-99	1,770	12,70	1,731	7,8	98	-4,9	8	A-4
455+000	Derecho	0,12 - 0,42	9	20	16	4	100	99	79	68	T-99	1,820	13,40	1,716	18,9	94	-4,0	7	A-4
460+000	Derecho	0,11 - 0,33	8	22	19	3	100	100	88	84	T-99	1,780	17,20	1,750	10,6	98	-6,6	8	A-4
465+000	Derecho	0,12 - 0,45	8	24	17	7	100	99	82	73	T-99	1,815	13,60	1,669	10,6	92	-3,9	8	A-4
470+000	Izquierdo	0,10 - 0,46	11	25	17	9	100	99	95	88	T-99	1,790	13,80	1,616	7,0	90	-6,8	8	A-4
475+000	Derecho	0,15 - 0,50	11	28	21	7	99	99	82	78	T-99	1,770	18,80	1,651	8,5	93	-10,3	8	A-4
480+000	Derecho	0,10 - 0,40	8	27	19	8	99	99	91	84	T-99	1,810	15,60	1,765	9,5	98	-6,1	8	A-4
485+000	Derecho	0,13 - 0,34	9	23	17	7	100	99	90	78	T-99	1,760	13,60	1,559	9,0	89	-4,6	8	A-4
490+000	Derecho	0,16 - 0,51	10	24	16	8	98	97	87	78	T-99	1,810	13,40	1,716	7,9	95	-5,5	8	A-4
495+000	Derecho	0,18 - 0,54	9	22	15	7	100	99	85	79	T-99	1,800	11,70	1,769	7,1	98	-4,6	8	A-4
500+000	Izquierdo	0,14 - 0,32	10	23	19	4	100	99	90	84	T-99	1,750	15,90	1,788	9,8	102	-6,1	8	A-4
505+000	Derecho	0,13 - 0,42	8	23	17	6	100	99	92	85	T-99	1,780	13,50	1,713	11,6	96	-1,9	8	A-4
510+000	Derecho	0,13 - 0,35	13	30	21	10	100	99	95	94	T-99	1,760	19,00	1,763	7,9	100	-11,1	8	A-4
515+000	Derecho	0,09 - 0,30	9	23	21	2	100	99	88	77	T-99	1,750	17,80	1,782	7,0	102	-10,8	8	A-4
520+000	Derecho	0,14 - 0,32	6	18	15	4	100	100	84	72	T-99	1,820	11,40	1,839	7,9	101	-3,5	7	A-4
525+000	Derecho	0,14 - 0,38	9	30	24	6	100	99	96	93	T-99	1,700	21,20	1,669	8,6	98	-12,6	8	A-4

Consorcio SERVIPCI | HYTSA | GEOLATINA

Consorcio Constructora Asunción S.A. y Asociados / 32

CONSTRUCTORA ASUNCIÓN S.A. Y ASOC./32
Arq. José M. Díaz Benza
Representante Legal