

**PAVIMENTO DE BAJO COSTO CON BASE DE SUELO CEMENTO –  
TRATAMIENTO SUPERFICIAL DOBLE EN CALZADA Y SIMPLE EN  
BANQUINAS CON EMULSIONES ASFÁLTICAS RR2C MODIFICADAS CON  
POLÍMEROS SBS**

**RUTA Nº 9 – TRANCHACO, TRAMO MCAL. ESTIGARRIBIA – Tte.  
OCHOA. LONGITUD 60 Km**

Ing. Felipe Barboza V. (\*)  
Ing. Oscar A. Cabañas I. (\*)  
Ing. Fabio Cáceres D. (\*)  
Sr. Andrés Riveros (\*\*)

ASISTENCIA INTEGRAL DE INGENIERÍA S.R.L.  
Alberdi Nº 2102 esq. Cerro León (Novena Proyectada)  
Email: [aiisrl@telesurf.com.py](mailto:aiisrl@telesurf.com.py)

Palabras Claves: All S.R.L.

**RESUMEN**

La presente investigación es demostrar la validez Técnica-Económica-Ambiental del suelo cemento como base de pavimento de bajo costo para bajo tránsito.

La experiencia indica que la mezcla entre el suelo arenoso del lugar con cemento pórtland con 5% como máximo obtiene una resistencia a la compresión simple a los 28 días mayor a  $21\text{Kg/cm}^2$ , suficiente y necesario para base de pavimento a un costo bajo, por lo que es denominado pavimento de bajo costo, ideal para las carreteras de la Región Occidental caracterizada por ausencia del material granular, bajo tránsito y alta distancia de transporte, apta también para la Región Oriental como capa de subbase por el diferencial de costo respecto al material granular y mayor insensibilidad al agua, protegiendo a la subrasante de las aguas de lluvia y protegiendo la base granular impidiendo la ascensión capilar de aguas del subsuelo.

La elaboración del suelo cemento será siempre con aguas exentas de sales y sulfatos.

Se define como suelo cemento cuando la resistencia a la compresión simple a los siete días supera  $17,5\text{Kg/cm}^2$ , con resistencias menores a este valor se consideran suelos mejorados con cemento.

Las fisuraciones provenientes de las contracciones de la mezcla se controlan o se evitan con valores de resistencia a la compresión simple a los 28 días entre  $20\text{ Kg/cm}^2$  a  $25\text{ Kg/cm}^2$ .

(\*) Ingeniero Civil

(\*\*) Técnico Vial - Laboratorista

## 1. ANTECEDENTES

### Estudio de la agresividad de los Sulfatos presentes en el suelo y en el agua de profundidad del Chaco Paraguayo, utilizados en la estabilización de mezclas con cal y/o cemento.

Para aguas de profundidad, en los ensayos realizados en el tramo para la determinación de sulfatos, surgen valores promedios de 3,68 g. de sulfato por litro, mientras que la mayoría de las especificaciones técnicas estipulan que el agua a utilizar no debe contener más de 1 gramo de sulfato por cada litro.

Para los suelos, en los ensayos realizados se encontraron presencia de sulfatos en el orden de 0,02% a 0,16%, mientras que las normas admiten hasta 0,5%.

#### 1.1 Estabilizaciones de Suelos con Cal

Del Informe Final del Ing. Dante Nardelli se entresacan los siguientes conceptos:

Para los suelos arcillosos, los resultados que se han obtenido tienen comportamientos dispares en los ensayos de C.B.R. y compresión simple, luego de siete días de curado en cámara húmeda. No se aprecian diferencias sustanciales de los ensayos realizados con suelos sin sulfatos.

En cambio en el ensayo de durabilidad el comportamiento es claramente diferencial. Los suelos con sulfatos se desintegran, no soportan más de cinco ciclos consistentes en 5 horas de humedecimiento y 19 horas de secado en estufa a 60°C. Las normas indican que deben superar 12 ciclos con pérdida de peso no mayor a 6%.

Se ha comprobado que suelos del tipo A-4 y A-2-4 sin sulfato dan excelentes resultados de resistencia a la compresión simple del orden de 8Kg/cm<sup>2</sup> con 2% a 3% de cal.

#### 1.2 Estabilizaciones de Suelos con Cemento

Las estabilizaciones con cemento pórtland de suelos A-4 y A-2-4 sin sales, se comportan satisfactoriamente cuando son mezclados y embebidos con aguas también sin sal. Se comprobó que cuando son mezclados y embebidos con aguas salobres, se produce una apreciable pérdida de resistencia a la compresión simple luego de los 12 ciclos del ensayo de durabilidad sin pérdida de peso.

Como resultados de la presencia de sales y sulfatos en el Chaco Paraguayo, es conveniente definir con la mayor precisión posible las zonas de suelos que contengan sulfatos, como así también de un relevamiento del agua subterránea disponible con determinación del contenido de sulfatos.

## 2. DISEÑO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO

### 2.1 Proyectoado

El estudio de tránsito realizado en el año 1999 para 10 años de vida útil, se indica a continuación:

Vehículo	TMDA	Factor carga	Factor crecim.	N <sub>8,2</sub>
Livianos	30	0,02	12,3	1.346,85
Ómnibus	7	0,28	12,3	4.399,71
Camiones	18	1,50	12,3	60.608,25
Total	55			66.354,81

Para este tránsito se dimensionó el siguiente paquete estructural de pavimento:

T.S.D.

Base de suelo cemento ( $R \geq 15 \text{ Kg/cm}^2$ ) = 17cm

Sub base de suelo cal ( $\text{CBR} \geq 25$ ) = 17cm

Sub base de suelo cal ( $\text{CBR} \geq 7$ ) = 10cm

Subrasante con  $\text{CBR} \geq 3$

El número estructural proyectado del paquete es:

T.S.D.	0,12	-----	0,12
Base SC - >15K/cm <sup>2</sup>	0,06	17cm	1,02
Subbase suelo cal 3,5%	0,045	17cm	0,76
Subr. mejorada de suelo cal 1,5%	0,026	10cm	0,26
Subr. terraplén $\text{CBR} > 3\%$			
<b>SN Resultante</b>			<b>2,16</b>
<b>SN Proyectoado</b>			<b>2,23</b>

### 2.2 Proyectoado - Modificado

Este proyecto fue modificado por los conceptos indicados en el punto 1.1 Estabilizaciones de Suelos con Cal y fue reemplazado por el siguiente paquete estructural

T.S.D.

Base de suelo cemento ( $R \geq 15 \text{ Kg/cm}^2$ ) = 17cm

Subbase de suelo seleccionado ( $\text{CBR} \geq 25$ ) = 17cm

Subrasante de suelo selecc. ( $\text{CBR} \geq 10$ ) = 15cm

El número estructural proyectado del paquete es:

T.S.D.	0,12	-----	0,12
Base SC - >15K/cm <sup>2</sup>	0,06	17cm	1,02
Subbase suelo seleccionado ( $\text{CBR} > 25$ )	0,045	17cm	0,76
Subr. mejorada de suelo seleccionado ( $\text{CBR} > 10$ )	0,035	15cm	0,52
<b>SN Resultante</b>			<b>2,42</b>
<b>SN Modificado - Proyectoado</b>			<b>2,23</b>

### 2.3 Proyectoado - Ejecutado

El número estructural del pavimento ejecutado es:

T.S.D.	0,12	-----	0,12
Base SC – >21K/cm <sup>2</sup>	0,06	17cm	1,02
Subbase suelo seleccionado (CBR>40)	0,045	17cm	0,76
Subr. mejorada de suelo seleccionado (CBR>20)	0,035	15cm	0,52
Subr. de terraplén (CBR>7)			
<b>SN Resultante</b>			<b>2.42</b>
<b>SN Modificado – Proyecto Necesario</b>			<b>1,61</b>

**Observación:** el incremento del SN resultante o ejecutado respecto al SN necesario, indica que la durabilidad del pavimento será mayor que la expectativa para 66.000 repeticiones de tránsito para los próximos 10 años con carga N<sub>8,2</sub> toneladas. Esa durabilidad será siempre y cuando la adherencia del suelo cemento con el tratamiento superficial asfáltico sea tan eficiente como la que existe entre una base granular estabilizada y el tratamiento superficial asfáltico, comprobado en el Paraguay.

2.3 Posibles causas de fallas de adherencia del suelo cemento con el Tratamiento Superficial Asfáltico.

- La resistencia a la compresión simple del suelo cemento debe ser mayor a 21 Kg/cm<sup>2</sup> uniforme en todo el espesor. Pues, una resistencia menor en la superficie provocará rotura por aplastamiento y consecuentemente el desprendimiento del tratamiento superficial.
- La penetración superficial del asfalto en el suelo cemento es apenas de 2mm a 3mm, mientras que en el estabilizado granulométrico esta penetración es de 12mm a 18mm. La exigua penetración en el suelo cemento puede repercutir en una disminución de repetición de carga durante la vida útil del pavimento, consecuentemente no se obtendrá la expectativa de llegar a las 66.000 repeticiones correspondiente a la vida útil del pavimento.
- La compactación también debe ser uniforme en todo el espesor con grado de compactación mínima de 95% del T-180. La compactación se realiza con equipos combinados de pata de Cabra Vibratorio y Neumáticos, cuidando que en los últimos 5cm no aparezcan deficiencias de densidad o excesos de densidad y de humedad, causales de inestabilidad en la vida útil del pavimento.

### 3. COSTOS COMPARATIVOS DEL PAVIMENTO

3.1 Alternativa de pavimento con base de suelo cemento ejecutado.

- Costo total final ejecutado de la obra expresado

en Dólares Americanos: US\$ 16.493.653,65 IVA Incluido, equivalente a 274.894,23 U\$S/Km.

- Costo del mantenimiento de pavimento: se estima que los desprendimientos de la carpeta de rodadura, tratamiento superficial doble, por insuficiencia o debilidad de la adherencia del suelo cemento al material asfáltico aplicado en su momento para el riego de curado, del orden de 2mm a 3 mm de penetración, seguirá siendo en un promedio anual del 1% del total de superficie, a un costo actualizado de US\$ 22,88 – IVA Incluido por metro cuadrado, necesiándose en concepto de mantenimiento US\$ 1.487,20 / Km – año.

Se estima que las 66.000 repeticiones de carga prevista para la vida útil del pavimento se completarán en el año 2.011, pues ya se dieron repeticiones de carga equivalente a 5 años de vida útil para la construcción del tramo La Patria – Infante Rivarola. Por lo tanto, el costo de mantenimiento en el periodo 2.007-2.011 será 5años x 60 Km x 1.487,20 U\$S/Km-año = 446.160,00 U\$S.

- Costo total de construcción y mantenimiento del tramo hasta el año 2.011 para la alternativa base de suelo cemento: US\$ 16.493.653,65 + US\$ 446.160,00 = US\$ 16.939.813,65

3.2 Alternativa de pavimento con base granular estabilizada

Al solo efecto comparativo de costo, de construirse un pavimento con paquete estructural equivalente, cambiar simplemente 17cm de base de suelo cemento por 17cm de base granular estabilizada, pues a ambos se asigna un aporte estructural de 0,06 por cada centímetro de espesor.

- El costo de la base granular con una DMT de 15Km es de 154.787 Gs/m<sup>3</sup> – IVA Incluido.
- El costo de la base granular con una DMT de 555Km es de 659.657 Gs/m<sup>3</sup> – IVA Incluido.
- Costo de la base granular por metro lineal es 10,66m x 0,17m x 1,00m x 659.657 Gs/m<sup>3</sup> = 1.195.430 Gs/ml, equivalente a 232,12 U\$S/ml. Consecuentemente para los 60Km del tramo el costo de la base ganular es: 13.927.200 U\$S.
- El costo de la base de suelo cemento para el tramo es de 30,16 U\$S/m<sup>3</sup> x 10,66m x 0,17m x 60.000m = 3.279.357 U\$S – IVA Incluido.
- Consecuentemente el sobre costo de haber ejecutado la base granular de piedra triturada hubiese sido de 10.647.843 U\$S. Es el ahorro por haber ejecutado la base de suelo cemento.

3.3 Costo de la rehabilitación con refuerzo estructural de concreto asfáltico e=8cm en calzada de 6,50m de ancho y 3cm en banquina de 1,80m de ancho:

- Costo actualizado de Concreto asfáltico por m<sup>3</sup> en el Chaco: US\$ 225,00.
- Costo total de carpeta de 8cm para los 60 Km: US\$ 7.020.000,00.
- Costo total de banquetas de 3cm para los 60 Km: US\$ 1.458.000,00.
- Costo Total de Recapado del Tramo Mcal. Estigarribia – Km 60 : US\$ 8.478.000,00.

3.4 Costo total de inversión:

	<b>COSTO EN U\$S</b>
Total de obras ejecutadas hasta el año 2.007	16.493.653,65
Costo total de mantenimiento en el periodo 2.007-2.011	446.160,00
Costo total del recapado en el año 2.011	8.478.000,00
<b>TOTAL INVERSIÓN HASTA EL AÑO 2.011</b>	<b>25.417.803,65</b>

Con este costo estaríamos proyectando hasta el año 2021 la vida útil de la vía en el tramo Mcal. Estigarribia – Km 60.

Con el procedimiento de ejecución por etapas, el país conseguiría un pavimento a un costo de 423.630 U\$S por kilómetro para una vida útil de 18 años, entre el 2.003 y 2.021.

#### 4. PAVIMENTO EJECUTADO

El paquete estructural del pavimento ejecutado, según se detalla en el numeral 2.2 es como sigue:

- ❖ Tratamiento Superficial Doble en calzada, con emulsión asfáltica RR2C – con polímeros.
- ❖ Tratamiento Superficial Simple en banquetas, con emulsión asfáltica RR2C – con polímeros.
- ❖ Base de Suelo Cemento R > 21K/cm<sup>2</sup>.
- ❖ Subbase de suelo seleccionado (CBR > 40).
- ❖ Subrasante mejorada de suelo seleccionado (CBR>20).
- ❖ Subrasante de terraplén (CBR>7).

#### 5. EXPERIENCIA EN LA EJECUCIÓN DE LA BASE DE SUELO CEMENTO – PARÁMETROS TÉCNICOS.

##### 5.1 Tipos de suelos

Para la estabilización con cemento portland fueron utilizados los suelos del tipo A-4 con pasante en el tamiz N° 200 entre 75% a 95% - NP y los suelos del tipo A-2-4 con pasante en el tamiz N° 200 entre 16% a 32% - NP.

Se encontró mayor estabilidad en la mezcla de los

suelos mencionados precedentemente en la proporción 30-70 con el menor porcentaje de cemento portland, medidos a través de CBR, resistencia a la compresión simple, el ensayo de durabilidad y menor fisuración, en nuestro caso particular corresponde a una fisuración nula.

##### 5.2 Mezcla del suelo cemento

En el tramo se ejecutaron mezclas de suelo cemento “in situ” y en planta.

##### 5.2.1 Mezcla “in situ”

Se realizó entre el Km 559 a Km 578. La mezcla “in situ”, dependiendo del tipo de equipo mezclador utilizado, pulvimixer – rotomixer – motoniveladoras, se consigue la eficiencia de la homogenización dependiendo de las condiciones climáticas del día. En presencia de altas temperaturas y fuertes vientos característicos del chaco, los resultados de homogenización son bajos o dudosos.

La longitud de pista no es superior a 125m a fin de poder concluir en el tiempo máximo de 4 horas exigido por las especificaciones. Esto significa una junta transversal cada 125m.

##### 5.2.2 Mezcla en planta

Se realizó entre el Km 525 a Km 559 y entre el Km 578 a Km 585. La elaboración de la mezcla en planta permite la máxima homogenización del suelo con el cemento portland como así también de la humedad. Una vez colocada en pista se logra una homogenización en el espesor y principalmente conseguir todo el proceso de compactación concluido antes de las 4 horas indicada por las especificaciones. De esta forma se logra procesar pistas continuas en tramos de 60m en todo el ancho, pudiendo ejecutarse en el día en promedio una longitud de 250m. Esto significa una junta transversal cada 250m, ejecutada al final de la jornada.

##### 5.3 Compactación

##### 5.3.1 Trabajabilidad de la mezcla

La trabajabilidad de la mezcla consiste en la facilidad y rapidez de la compactación de la mezcla del suelo cemento, ante la energía aplicada en el menor tiempo posible. En la obra fue medida por el pasante Tamiz N° 200 en el rango comprendido entre 27% a 32%, la que fue comprobada en la pista de prueba definiéndose el espesor suelto, la humedad de compactación, número de pasadas del compactador vibro pata de cabra.

##### 5.3.2 Equipos de compactación

Se han realizado pistas de prueba con diferentes equipos de compactación, como ser: vibro pata de cabra y vibro liso, en ambos casos combinados con compactadores neumáticos estáticos, habiéndose constatado que la mejor combinación fue la del vibro pata de cabra con el compactador neumático.

La medición de la calidad de compactación fue determinada mediante ensayos de densidad por el método de cono de arena, verificando la totalidad del espesor y además los 10cm superiores más los 10cm inferiores.

5.3.3 Tiempo máximo de procesamiento y compactación con 2 vibro pata de cabra CA-25 o equivalente y con 2 compactadores neumáticos CP-27 o equivalente:

Para mezcla elaborada en planta.

Teniendo como tiempo máximo de 4 horas para el procesamiento del suelo cemento, que comprende: la mezcla – el transporte – la colocación – la compactación – topografía y corte, el tiempo asignado para cada componente para pista de 12m de ancho y 60m de longitud, es como sigue:

- Mezcla: 0,18 horas
- Transporte y colocación: 0,50 horas
- Compactación:  
(2x6x60x10 pasadas / 3.000)/0,90 = 2,67 horas
- Nivelación con estaqueo: 0,33 horas
- Corte: 0,17 horas

La planta se mantuvo con una D.M.T. de 15 Km.

Para mezcla "in situ": ancho de pista 12m y longitud 100m.

- Tiempo de esparcido de cemento pórtland: 0,25 horas.
- Mezclado "in situ" con rotomixer:  
(6x100x2 pasadas / 5.000)/0,90 = 0,27 horas
- Compactación:  
(2x6x65x10 pasadas / 3.000)/0,90 = 2,88 horas
- Nivelación con estaqueo: 0,33 horas
- Corte: 0,17 horas

*Observación:* el componente tiempo de compactación es relativo inherente a cada constructor y está en función del tipo de equipo utilizado y la trabajabilidad de la mezcla, por lo que es recomendable definir en pista de prueba antes del inicio del suelo cemento.

5.3.4 Protección de pérdida de humedad con sobreespesor de 2cm.

Durante el proceso de compactación existe pérdida de humedad por evaporación se hace necesario la incorporación permanente de agua para restituir esa pérdida. Se ha comprobado que eso afecta a los 2cm superiores del macizo compactado. Por esta razón es conveniente proteger la humedad de todo el espesor teórico contractual adicionando un sobreespesor de 2cm que será desechado en el corte final por estaca.

5.3.5 Energía de compactación

La energía de compactación especificada corresponde a la AASHTO T-180, 5 capas, 56 golpes, molde grande, pisón grande. El grado de compactación mínimo es de 96% del T-180.

Se constató la obtención del grado de compactación debido a la facilidad por la trabajabilidad de la mezcla.

La energía de compactación se define en función del tipo de suelo a estabilizar:

- Para suelos arenosos del tipo A-1; A-2 y A-3 de la AASHTO, la energía de compactación es T-180
- Para suelos finos A-4 y A-5 (limosos); A-6 y A-7 (arcillosos), la energía de compactación es el equivalente al Proctor Intermedio entre el T-99 y el T-180 indicada por la Vialidad Nacional Argentina de 3 capas, 35 golpes, molde chico, pisón chico. El grado de compactación mínimo exigido deberá ser 98%.

5.4 Control Tecnológico

5.4.1 Densidad "in situ"

La densidad se verifica por el método del cono de arena, normalmente como si fuera cualquier suelo compactado, con idéntico procedimiento establecido. Es importante la homogenización del grado de compactación en todo el espesor, se comprueba eso dividiendo el espesor total ensayando los 10cm inferiores en un pozo y los 10cm superiores en otro pozo, independientemente y se compara con el grado de compactación del espesor total teórico.

5.4.2 Resistencia a la compresión simple

La resistencia a la compresión simple especificada fue de 12Kg/cm<sup>2</sup> a los 7 días. Se obtuvo un promedio igual a 18Kg/cm<sup>2</sup> a los 7 días y a los 28 días una resistencia a la compresión simple mayor a 21Kg/cm<sup>2</sup>, que es la resistencia exigida por las normas para bases de suelo cemento.

Es de vital importancia que la resistencia a la compresión simple sea uniforme en todo el espesor del suelo cemento, pues de ello dependerá la durabilidad y la estabilidad permanente de la adherencia entre la base de suelo cemento y la carpeta de rodadura, que en este caso es de T.S.D., evitándose roturas superficiales por aplastamiento durante la vida útil del pavimento. La resistencia a la compresión simple es función al grado de compactación y de la humedad necesaria y suficiente para la hidratación durante el periodo de curado, en la franja de tolerancia especificada a mayor compactación mayor resistencia a la compresión simple, para el mismo porcentaje de cemento pórtland. A mayor humedad, mejores condiciones de curado por el control del calor de hidratación, consecuentemente mayor resistencia.

Por otra parte en un estudio sobre la influencia que tienen la densidad y humedad de compactación en el comportamiento de la mezcla de suelo cemento, quedó comprobado que a mayor densidad de compactación, la resistencia es superior, tanto en el ensayo de compresión inconfiada como en los de mojado y secado, pero existe el peligro de que si se usa una humedad de compactación baja con el objeto de utilizar equipos bastante pesados, se corre el riesgo de obtener una mezcla de baja resistencia.

5.5 Curado con emulsión asfáltica RR1C y adherencia del asfalto al suelo cemento.

El curado es de vital importancia en las condiciones precedentemente mencionadas anteriormente de densidad y humedad de compactación, con el propósito de obtener la mayor resistencia a la compresión simple.

Para el curado se ha utilizado emulsión asfáltica de curado rápido RR1C con una tasa de 0,80 litros por metro cuadrado, aplicado luego del corte final a cota de proyecto, previo riego ligero superficial con agua de tal forma de obtenerse la condición de saturado a superficie seca. Este material asfáltico sirvió también de adherencia del asfalto al suelo cemento con una penetración comprobada de 2mm a 3mm.

5.6 Habilitación al tránsito público

Luego de efectuar el riego de curado de la base de suelo cemento se deja en reposo durante 22 días, para posteriormente habilitar al tránsito público por el periodo de un mes.

El propósito de la habilitación es detectar eventuales fallas de la adherencia del asfalto al suelo cemento, motivados por los siguientes fundamentos:

- Que se haya aplicado el material asfáltico de curado sobre suelo suelto, producto de la conformación y corte final a cota de proyecto de la base en cinco puntos (eje, bordes de calzada y bordes de banquina). En ciertos puntos se detectan falta de material para llegar a la cota de proyecto, que son rellenados en la conformación final.
- Se detecta que la penetración del asfalto al suelo cemento fue mínima, entonces también se produce el desprendimiento.
- Que se observen roturas de la superficie de la base de suelo cemento por insuficiencia de la resistencia a la compresión simple superficial, con valores muy por debajo a los 21 Kg/cm<sup>2</sup>, que a su vez puedan atribuirse a dos factores:
  - El grado de compactación de los 5cm superiores estén muy por debajo de lo especificado.
  - La humedad de curado en los últimos 5cm

superficiales hayan sido insuficientes, muy por debajo a la humedad óptima. La ausencia de suficiente humedad en la superficie de la capa, una vez realizado el riego de curado, produce una deficiente hidratación del cemento que produce bajos valores de cohesión entre las partículas del suelo.

5.7 Saneamiento por desprendimiento superficial del suelo cemento.

Luego de la habilitación al tránsito público de la base de suelo cemento se observaron fallas superficiales del mismo, consistentes en la rotura de la adherencia del asfalto con el suelo cemento en un espesor promedio entre 2cm a 3cm.

Estos sectores fueron removidos y encuadrados para posteriormente ser reemplazados con mezclas asfálticas en frío elaboradas con emulsiones de rotura lenta y materiales granulares con pasante tamiz 3/8".

## **6. TRATAMIENTO SUPERFICIAL DOBLE CON EMULSIÓN ASFÁLTICA MODIFICADA CON POLÍMEROS.**

6.1 Materiales

La carpeta de rodadura consistió en un Tratamiento Superficial Asfáltico Doble, con la aplicación de dos riegos asfálticos seguidos de aplicaciones de agregados pétreos. El asfalto utilizado es una emulsión catiónica de rotura rápida RR2C modificada con polímero y el agregado pétreo es piedra triturada basáltica:

- En calzada, para la primera capa pasante 3/4" – retenido 3/8" y para la segunda capa pasante 3/8" – retenido 3/16".
- En banquetas, pasante 3/8" – retenido 3/16".

6.2 Dosaje y Procedimiento Constructivo

6.2.1 Dosaje

En calzada, con dos modalidades de aplicación de riego asfáltico:

- La primera modalidad con tres riegos asfálticos, primer riego 1,40 lt/m<sup>2</sup> seguido de 18 Kg/m<sup>2</sup> de piedra, segundo riego 1,40 lt/m<sup>2</sup> seguido de 12 Kg/m<sup>2</sup> de piedra y tercer riego llamado de sellado de 0,80 lt/m<sup>2</sup> (0,40 lt/m<sup>2</sup> de emulsión diluido en 0,40 lt/m<sup>2</sup> de agua).
- La segunda modalidad con dos riegos asfálticos, primer riego 1,70 lt/m<sup>2</sup> seguido de 18 Kg/m<sup>2</sup> de piedra, segundo riego 1,50 lt/m<sup>2</sup> seguido de 12 Kg/m<sup>2</sup> de piedra.

En banquina, igualmente con dos modalidades de aplicación de riego asfáltico:

La primera modalidad con dos riegos asfálticos, primer riego 1,40 lt/m<sup>2</sup> seguido de 12 Kg/m<sup>2</sup> de piedra, segundo riego llamado de sellado de 0,80

de agua).

- o La segunda modalidad es un solo riego de 1,80 lt/m<sup>2</sup> seguido de 12 Kg/m<sup>2</sup> de piedra.

De las dos modalidades se concluyó que la que corresponde a tres riegos en calzada y dos riegos en banquina presentaron mayor homogeneidad y uniformidad en la textura de la piedra, por efecto de menor desperdicio de la segunda capa. No obstante, ambas modalidades están hasta la fecha en buenas condiciones.

#### 6.2.2 Procedimiento constructivo

- o Reposición del desprendimiento superficial del suelo cemento, consecuencia de la habilitación al tránsito público, con mezcla fina asfáltica en frío.
- o Lavado de la pista con barredora sopladora, con agua del lugar.
- o Lavado de los áridos con agua dulce en volquetes, luego acopiadas y encarpadas en sitios provistos con pisos de suelo cemento.
- o Marcación topográfica de los ejes, bordes de calzadas y bordes de banquetas.
- o Aplicación del primer riego asfáltico en media calzada: ancho de proyecto, longitud de 400m.
- o Aplicación inmediata de la primera capa de piedra.
- o Compactación inmediata con compactadores neumáticos.
- o Regularización de la tasa de riego de piedra con cepillo de acero de arrastre para uniformar la distribución de la piedra.
- o Se repite el mismo procedimiento en la otra media calzada, completándose la ejecución de la primera capa del Tratamiento Superficial.
- o Aplicación del segundo riego y segunda capa de piedra, cubriendo media calzada seguido de la compactación inmediata con compactadores neumáticos.
- o Para la ejecución de las banquetas se aplica el riego asfáltico y piedra triturada correspondientes a la segunda capa del Tratamiento Superficial Doble de Calzada, con la inmediata compactación.
- o Al día siguiente de concluido el Tratamiento Superficial Asfáltico Doble se ejecuta un tercer riego asfáltico de sellado en todo el ancho de la plataforma, para lo cual se dividió en tres fajas de 3,40m de ancho y con 0,80 lt/m<sup>2</sup>. Este material de riego asfáltico es una mezcla en proporciones iguales de 0,40 lt/m<sup>2</sup> de emulsiones asfálticas RR2C modificadas con polímeros y 0,40 lt/m<sup>2</sup> agua dulce, previa pasadas de compactadores neumáticos. Este tercer riego asfáltico no se aplicó entre el Km 549 a Km 559.
- o Habilitación al tránsito público luego de 72 horas.

El control de las tasas de riego de piedra se efectuó con muestreos en bandejas de chapas y las tasas de riego de asfalto con lecturas inicial y

lt/m<sup>2</sup> (0,40 lt/m<sup>2</sup> de emulsión diluido en 0,40 lt/m<sup>2</sup> final del tanque distribuidor.

#### 6.3 Habilitación al tránsito público

Luego de las 72 horas de reposo del Tratamiento Asfáltico Superficial concluido se liberó al tránsito para todo uso.

#### 6.4 Saneamiento por desprendimiento superficial del T.S.D.

Una vez liberado al tránsito se siguió observando el comportamiento de la adherencia del Tratamiento a la base del suelo cemento, constatándose desprendimientos del Tratamiento con rotura superficial del suelo cemento, las que evaluadas luego de tres años de servicio entre Feb/2004 y Feb/2007, el balance de desprendimientos es como sigue:

- Km 525 a km 529: Desprendimiento de carpeta de rodadura 0%.
- Km 529 a Km 555: Desprendimiento de carpeta de rodadura, estimado 1%.
- Km 555 a Km 568: Desprendimiento de carpeta de rodadura, estimado 10%.
- Km 568 a Km 571: Desprendimiento de carpeta de rodadura, estimado 1%.
- Km 571 a Km 572: Desprendimiento de carpeta de rodadura, estimado 5%.
- Km 572 a Km 573: Desprendimiento de carpeta de rodadura, estimado 1%.
- Km 573 a Km 577: Desprendimiento de carpeta de rodadura, estimado 0%.
- Km 577 a Km 585: Desprendimiento de carpeta de rodadura, estimado 1%.

En promedio se tiene 3% de desprendimientos en los 60 Km.

Las causas de estos comportamientos aleatorios se mencionan a continuación:

- o Los tramos con desprendimientos del 0% demuestran que se han dado todas las situaciones favorables para la adherencia entre el suelo cemento, asfalto y carpeta de rodadura con tratamiento superficial doble. Se observa que el tramo comprendido entre el Km 525 y Km 529 corresponde a la zona urbana de Mcal. Estigarribia, con varias calles de acceso que se utilizan diariamente con camiones de todo tipo de carga.
- o Desprendimiento de los tramos con 1%, consideramos como normales, previsibles resultantes de variables indicado anteriormente que repercuten en el debilitamiento superficial del suelo cemento durante el proceso constructivo.
- o Desprendimiento del tramo con 5%, netamente atribuible a deficiencia en el proceso constructivo, que no consideran las variables enunciadas en el párrafo anterior, durante el proceso constructivo.
- o Desprendimiento del 10%, responde a una situación totalmente anormal, pues corresponde

a nivel de suelo cemento con aplicación de material asfáltico para curado, durante 10 meses (marzo a diciembre de 2004), por paralización de obra por falta de pago del MOPC al Contratista. En su momento la Fiscalización entendió recuperable con saneamientos superficiales de los sectores desprendidos, la realidad indica que la superficie de suelo cemento en estas condiciones no reúnen la suficiente resistencia superficial para mantener la capa de rodadura, firmemente adherida al suelo cemento.

- Mínima penetración asfáltica en el riego de curado al suelo cemento del orden de 2 a 3 mm, que podría repercutir en la efectividad y durabilidad de la adherencia a la carpeta de rodadura del tratamiento superficial doble.

#### 6.4.1 Procedimiento constructivo de saneamiento

Es el trabajo de mantenimiento mencionado en el numeral 3.1 y se refiere a la remoción y reparación del T.S. por falla de adherencia de la base de suelo cemento con el tratamiento superficial asfáltico doble, por las siguientes causas:

- Aplicación del material asfáltico sobre suelo suelto removido en el corte final.
- Exigua penetración del asfalto en el suelo cemento en el orden de 2mm a 3mm, que luego de una cantidad de repetición de carga rompe la adherencia.
- Fallas constructivas por deficiencia a la compactación y a la resistencia a la compresión simple en los últimos 5cm superiores del suelo cemento.

El trabajo consiste en la demarcación de las superficies a reparar, la remoción del material suelto de tratamiento superficial asfáltico y de la base de suelo cemento en un espesor mínimo de 5cm. Posteriormente se realiza la reposición con mezcla asfáltica en frío hasta la cota del suelo cemento, para posteriormente ejecutar el Tratamiento Superficial Asfáltico.

### **7. CONCLUSIÓN DE LA EXPERIENCIA DE EJECUCIÓN DE LA BASE DE SUELO CEMENTO CON CARPETA DE RODADURA CON T.S.D. CON EMULSIONES ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON POLÍMEROS.**

Luego de tres años de habilitado al tránsito público el tramo en cuestión de la Ruta N° 9, entre Mcal. Estigarribia y Tte. Ochoa entre el Km 525 al Km 585, se encuentra en condiciones de estabilidad y serviciabilidad para el tránsito local existente del orden de 20 camiones diarios de 8,2 toneladas por eje, siendo estimativamente a la fecha el tránsito acumulado del orden de 16.000 repeticiones.

Como la expectativa de tránsito en los próximos años, una vez concluido y habilitado el tramo total asfáltico entre Mcal. Estigarribia – Infante Rivarola (frontera con Bolivia) será de 50 camiones pesados

al tramo que estuvo habilitado al tránsito público por día, a partir del año 2.008, consecuentemente la vida útil de 66.000 repeticiones se estará dando en tres años más, es decir en el año 2.010, con mantenimientos rutinarios y periódicos propios de cualquier camino asfaltado.

Con la experiencia expuesta, podemos afirmar que mezclas de suelo cemento con suelos arenosos del tipo A-2-4 y/o mezcla de A-2-4 con A-4 y con porcentaje de cemento pórtland como máximo de 5%, se obtienen resistencia a la compresión simple a los veintiocho días superiores a 21 Kg/cm<sup>2</sup>, requisito indispensable para ser utilizado como base de pavimento.

Económicamente habíamos indicado que es lo más conveniente, pues su costo está en el orden de 25% de la base granular, habiendo satisfecho plenamente el Estudio Técnico – Económico – Ambiental, para el tránsito esperado del 2.000 al 2.010 y verificado a la fecha.

### **8. UTILIZACIÓN DE EMULSIÓN ASFÁLTICA CON POLÍMERO.**

Existen dos tipos de polímeros:

- SBS: se modifica previamente el asfalto con polímero SBS y posteriormente se elabora la emulsión asfáltica. Es muy costoso, pues se requiere de una planta especial para el tratamiento de la modificación del asfalto.
- RBS: se elabora la emulsión con asfaltos convencionales y a ésta se le incorpora el polímero RBS. Es un proceso más simple, pues a la emulsión asfáltica existente se le incorporan los polímeros para modificar las propiedades del asfalto.

Las propiedades que se obtienen con los polímeros son:

- Retardo del envejecimiento del asfalto por efectos de oxidación, menor susceptibilidad al agua, con lo que se obtiene mayor durabilidad de su vida útil.
- Mayor elasticidad, consecuentemente menor susceptibilidad por efecto de las variaciones de temperatura, mayor capacidad de recuperación al esfuerzo de carga.
- Mayor adherencia entre los áridos componentes del tratamiento superficial y entre el asfalto y la base de suelo cemento.

