

Innovación en Pavimentos de caminería rural Aplicación de nuevas tecnologías.

Prueba experimental de Paysandú.

INFORME FINAL

(Estado de Situación a Mayo 2019)

INDICE:

1) Introducción.

2) Descripción del Proyecto de prueba

- 2 -1) Diseño del tramo
- 2 -2) Etapa previa
- 2 -3) Etapa de ejecución.
- 2 -4) Etapa de operación.

3) Controles realizados por el Departamento de Geotécnica de la FING.

- 3.1) Ensayos previos a la aplicación de los aditivos.
- 3.2) Ensayos durante fase operativa (posteriores a la aplicación de los aditivos)
- 3.3) Análisis de resultados de los Ensayos

4) Análisis de costos y durabilidades obtenidas.

- 4.1) Cuadro general con detalle de costos y durabilidades para c/sub-tramo
- 4.2) Cuadro comparativo de costos (tramos estabilizados vs tramos testigos)

5) Conclusiones

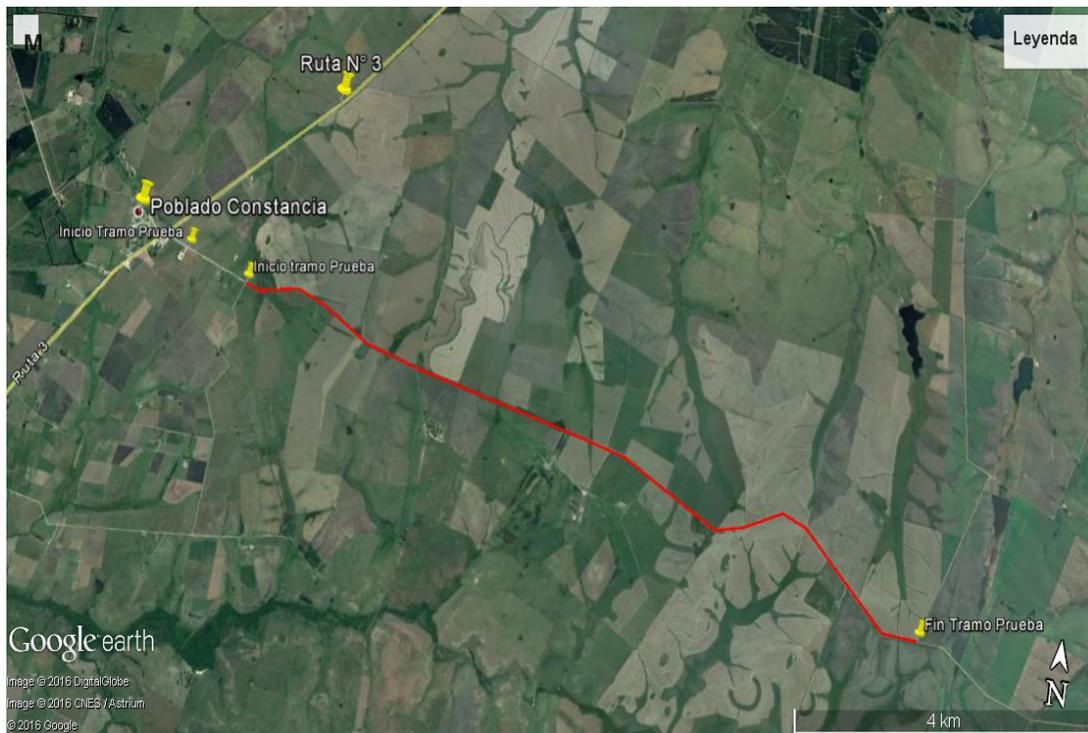
- Algunas conclusiones que surgen de la comparativa de costos
- Posibles situaciones que harían conveniente el uso de estabilizantes

6) Anexos:

- 6.1) Fotos
- 6.2) Cuadro resumen con detalles de las aplicaciones
- 6.3) Cuadro general con detalle de costos y durabilidades por sub tramo
- 6.4) Cuadro comparativo de costos (tramos estabilizados vs tramos testigo)
- 6.5) Protocolo de la Prueba

1 Introducción

El proyecto de prueba de Paysandú se realizó sobre un tramo con una extensión de 10.8 Km ubicado en el Camino de las Avenidas, sobre el Poblado Constanca, Departamento de Paysandú, el cual se extiende hacia el este, desde la Prog. 1Km 360m y finaliza en la Prog. 12km 200m (considerando que la Prog. 0Km 000 es el cruce de dicho camino con la Ruta N°3).



Dicho tramo, fue segmentado en 8 sub- tramos de 1; 1,5 y 2 Km sobre los cuales se realizaron 2 tramos testigo y 6 tramos con aplicaciones de productos estabilizantes de suelo, los cuales otorgan (por diferentes vías de acción) mayor durabilidad a la estructura de base.

El objetivo principal de esta prueba fue el de comprobar en campo, la performance y durabilidad que se logra con la aplicación de cada uno de estos productos. Realizar un análisis de costos asociados a estas tecnologías y compararlos con los costos habituales del mantenimiento tradicional de caminería rural.

En ese contexto se diseñó el tramo de prueba, sobre un camino rural de tosca sin capa de rodadura, subdividido en 8 sub tramos, 6 con aplicación de aditivos estabilizantes y 2 sin ningún tipo de aplicación, los cuales fueron denominados tramos testigo.

Dichos tramos testigo fueron considerados a efectos de tener un patrón de comparación real entre los tramos estabilizados y sin estabilizar y fueron dispuestos en ambos extremos, con longitudes de 1 Km aprox. en ambos casos.

Cabe mencionar que la prueba se ideó bajo la hipótesis que en todo el largo del tramo, incluyendo los tramos testigos, se mantuvieran constantes las principales variables que influyen en el estado del (flujo de tránsito, tipo y características de suelo, condiciones climáticas, etc.). Por estas razones se consideró un tramo de ruta subdividido, de forma que si bien hay condiciones muy puntuales específicas que pueden ser diferentes, los sub tramos estarán sometidos durante el tiempo de la prueba a las mismas condiciones externas.

A efectos de poder establecer los tiempos de duración (Vida útil) de cada tramo, se definió la “Condición mínima aceptable” como el estado de deterioro máximo admitido para cada sub tramo. *(Ver anexo, Protocolo Prueba Paysandú)*

Para cumplir con lo anterior, se consideró la condición de no realizar obras de ningún tipo sobre los tramos estabilizados (durante su etapa operativa). En cambio, sobre los tramos testigos, sí se consideró la realización de obras de mantenimiento de forma de mantener la condición mínima aceptable.

En base a este esquema la lógica de la prueba estableció, como uno de sus objetivos, hacer una comparación económica entre los costos que genera el mantenimiento de la caminería tradicional vs los costos que genera la caminería mejorada o estabilizada.

Es decir, por un lado se contabilizaron los costos de mantenimiento de los tramos testigo y por otro los costos generados por la estabilización de los tramos mejorados.

Está claro que el incluir aditivos estabilizadores aumenta los costos de inversión inicial y reduce los costos posteriores de mantenimiento. Por otra parte, la caminería tradicional propone inversiones iniciales de menor magnitud y gestiones de mantenimiento de alto costo.

El horizonte temporal de estudio se fijó en un período de observación de 2 años en primera instancia (informe actual) y posteriormente considerar para el Informe final el período de tiempo definido por la Vida útil del producto estabilizante que determine el final de la prueba (el de mayor durabilidad).

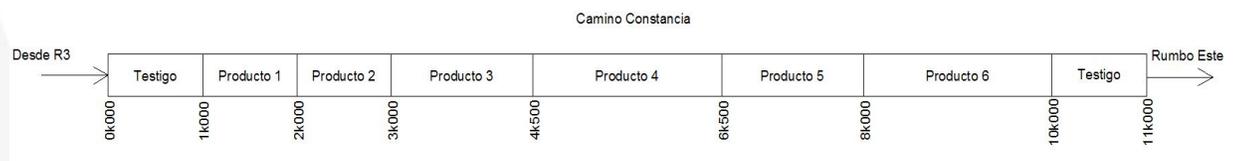
2 Descripción del proyecto de prueba

2.1 Diseño del tramo

Vista google del esquema de tramos



En la imagen se observa el tramo con las marcas delimitando cada uno de los sub - tramos, los estabilizados (en rojo) y los testigos en ambos extremos (en blanco).



Ubicación de los Tramos, Paysandú

Los productos aplicados en cada tramo fueron los siguientes:

Tramo	Producto	Largo (m)
Testigo inicial	sin producto	900
Tramo 1	Soil Plus	1000
Tramo 2	Tecofix	1000
Tramo 3	Cemento Portland	1500
Tramo 4	Roadfix	2000
Tramo 5	RMS 2500	1500
Tramo 6	Polyses	2000
Testigo final	sin producto	940

2.2 Etapa previa (idea y coordinación)

La idea de llevar adelante este proyecto experimental surge desde la OPP, en el marco del Programa de Caminería Rural, con la intención de buscar alternativas de bajo costo para extender la vida útil de los caminos rurales de tosca sin capa de rodadura.

Posteriormente, y en base al acuerdo y apoyo de la Intendencia de Paysandú, se logró concretar el Proyecto de prueba en el tramo de Constancia. A su vez, se acordó realizar el control de calidad y ensayos a través del Departamento de Ing. Geotécnica del Instituto de Estructuras y Transporte de la Facultad de Ingeniería.

El formato de este proyecto se ha desarrollado en base a un protocolo en el cuál se establecieron los criterios, condiciones y pautas previstas para el control y la evaluación de las distintas etapas.

El mencionado protocolo fue acordado y firmado por todos los involucrados en la iniciativa (Empresas representantes de los productos, Facultad de Ingeniería, Intendencia de Paysandú y Oficina de Planeamiento y presupuesto) en la reunión realizada en la Ciudad de Paysandú el 22/2/2017.

Además de acordar los criterios y pautas previstos tanto para la fase de ejecución como para la fase operativa, se definió el cronograma para la aplicación de cada uno de los productos.

2.3 Etapa de ejecución

Preparación del tramo:

Durante los meses de Octubre 2016 a Enero 2017 se realizaron obras de reacondicionamiento en todo el tramo de forma de asegurar las condiciones necesarias para la aplicación de los aditivos estabilizantes.

Las obras, ejecutadas por parte de la IDP, consistieron en la realización de un recargo continuo de 10 cm de espesor en todo el largo del tramo, además del mejoramiento de la componente hidráulica (reparación y construcción de alcantarillas y badenes).

De esta forma se brindaron las condiciones básicas necesarias para la aplicación de los distintos productos, además de conformar un tramo con iguales condiciones de material de base en toda su extensión.

Cabe aclarar que se consideró la condición exigida en todos los casos, para la aplicación de los productos estabilizantes, la cual refería al % de material fino (pasa # 200) de la capa de base menor al 20%.

Luego de realizadas las obras de recargo y preparación de la capa de base se cumplió con dicha condición. De acuerdo a lo que determinaron los ensayos correspondientes, el % de contenido de finos fue de ese orden en todos los casos. (*Ver pto 3 – Controles realizados por la FING.*)

Aplicación de los productos:

A partir del mes de Marzo 2017 y hasta fines del mes de Mayo de 2017, se realizaron las 6 aplicaciones de los diferentes productos y la puesta a punto de los 2 sub- tramos testigos. Tal lo previsto en el protocolo, la dirección de las obras de aplicación de cada producto (previa aceptación de las condiciones de cada sub - tramo) fue realizada por parte de los técnicos y encargados que cada empresa designó a tales efectos. De esta forma fueron garantizadas las condiciones y particularidades que cada producto exigió en su aplicación. (*Ver anexo, Protocolo de Prueba Paysandú- Pto. 3*).

La forma de aplicación de cada producto fue muy similar en la mayoría de los casos, salvo en el caso del cemento Pórtland.

En el caso de las soluciones líquidas (tramos 1, 2, 4, 5, 6) el procedimiento consistió en realizar un escarificado de 20 cm sobre la capa superior, luego se aplicaron los productos diluidos en agua mediante camión regador (tal cual lo que se realiza habitualmente para dotar de la humedad óptima al suelo), para después reconformar, compactar y perfilar.

En el caso del cemento Pórtland, la aplicación del cemento se realizó con la maquina recicladora de suelos, la cual incorporó la cantidad de cemento establecida de acuerdo a los ensayos realizados previamente. Luego se procedió a la compactación y perfilado de la superficie.

En el caso de los tramos testigos, los mismos fueron terminados con el mismo procedimiento que el resto de los demás tramos, aunque con agua sin ningún aditivo en el momento del riego.

En el siguiente cuadro se resumen los detalles de ejecución de cada producto.
(ver planilla ampliada en anexos).

Prueba experimental Camino de las Avenidas - Constancia, Paysandú

Cuadro resumen con detalle de las aplicaciones

Tramo	Producto	Largo sub-tramo (m)	Ancho sub-tramo (m)	Superficie real ejecutada (m2)	max ejecución x día (m2)	dosificación (prod/sup)	Relación de dilución (prod/agua)	Inicio de la ejecución	tiempo de ejecución	costo aditivo (\$/m2) iva inc
Testigo inicial	sin producto	900	6	5400				17/05/2017	2	
1	Soil Plus	1000	6	6000		0,014 a 0,030 lt / m2	1 / 100	11/05/2017	3	83,46
2	Tecofix	1000	6	6000	3000	1lt / 3m2		28/04/2017	3	181,46
3	Cementos	1500	5,5	8250	4510	17 kg / 1m2		19/04/2017	2	130
4	Roadfix	2000	5,5	11000	3575	1 lt / 3m2	1/3	30/03/2017	5	168
5	ISS 2500	1500	800m x 5m; 300m x 5,5m; 400m x 6m	8050	3150	0,04 lbs / 1m2		21/03/2017	3	168
6	Polyses	2000	5	10000	2500	0,165 lt / m2	1/1,5	15/03/2017	5	115,5
Testigo final	sin producto	940	6	5640				17/05/2017	2	

2.4 Etapa de operación

Una vez concluidas las obras de preparación del tramo y aplicación de los productos se dio inicio a la fase operativa del tramo de prueba, es decir, observar el desempeño ante la acción del tránsito y los agentes climáticos.

Durante esta fase, la intención fue realizar un monitoreo con recorridas mensuales en las que se realizaron ensayos por parte de los técnicos de la FING e inspecciones visuales por parte de los técnicos de OPP y la IDP.

Se definió al IRI (Índice de rugosidad) como el principal parámetro para determinar la condición mínima de aceptabilidad. A su vez, de acuerdo a lo que se pudo observar, los otros 3 aspectos a controlar (baches, huellas y estrías) fueron de difícil cuantificación y en definitiva, dado que dichas deficiencias están relacionadas con los valores de rugosidad,

se optó por definir al IRI como el principal parámetro para determinar la aptitud de cada tramo, y en base al mismo se realizó la fase de control.

De esta forma se realizó el control de cada sub- tramo estabilizado y de los 2 tramos testigos, con secuencia de medición a través de ensayos iniciales (línea de base) y luego, cada 2 meses.

Se incluyó también como información complementaria a dichas mediciones, los valores de precipitaciones caídas en cada mes de forma de poder ver la posible incidencia de éstas sobre el estado del camino.

Tal lo mencionado anteriormente, la lógica de la prueba pretendió hacer una comparación económica entre los costos que genera el mantenimiento de la caminería tradicional vs los costos que genera la caminería mejorada o estabilizada.

Por tal razón, durante la fase operativa, los tramos testigos presentaron un deterioro más rápido que los estabilizados, y fueron mantenidos (mediante obras de reperfilado y compactación) de forma que conservaran el estándar cumpliendo con la Condición mínima aceptable.

En función de lo que determinaron los ensayos, dichos tramos perdieron su condición en el mes de Abril de 2018 y fueron reacondicionados de forma de volverlos a su condición inicial. Dicha situación volvió a repetirse en el mes de Dic de 2018 y Febrero de 2019.

Las tareas realizadas consistieron en un escarificado leve, re perfilado y posterior compactación con rodillo liso en ambos testigos. Dichos trabajos fueron realizados sin aporte de material granular en algunos casos y con aporte de material granular en otros. Dicho aporte consistió en el tendido de una capa continua de material granular de 10 cm de espesor

Tal como se observa en el cuadro general de costos y durabilidades, los índices de IRI mejoraron en forma significativa una vez realizadas dichas obras. *(ver cuadro general de costos y durabilidades en anexos)*

A su vez, a efectos de poder realizar la comparativa, se realizó el cálculo del costo correspondiente a los trabajos de mantenimiento, el cual se detalla en anexos *(Ver Costos de mantenimiento de testigos)*.

3 Controles realizados por el Departamento de Ing. Geotécnica de la FING.

3.1 Ensayos previos a la aplicación de los aditivos.

Se realizaron ensayos de laboratorio y de campo.

Se extrajeron muestras retiradas de la capa de base ya compactada para realizar ensayos de laboratorio. Se extrajeron 11 muestras (1 muestras por km) para realizar clasificación de suelos, además de 7 muestras (1 por tramo) para la realización de ensayos Proctor y CBR.

Se realizaron controles de densidad en sitio en 11 puntos (1 por km); ensayos de carga con placa estática en 11 puntos (1 por km); y mediciones de deflexiones cada 25 m en ambos carriles.

En el Anexo se detallan las ubicaciones y nomenclaturas para cada tipo de muestra.

Muestra	Progresiva	Clasificación		Propiedades	
		AASHTO	SUCS	Pasante #200 (%)	LL - IP
G1	0k500	A-2-4	SM	26,0	NP
G2	1k500	A-1-b	SM	24,8	NP
G3	2k500	A-1-b	SM	20,9	NP
G4	3k500	A-2-4	SM	30,4	NP
G5	4k500	A-2-4	SM	23,4	NP
G6	5k500	A-1-b	SM	23,3	NP
G7	6k500	A-2-4	SM	35,0	NP
G8	7k500	A-2-4	SM	27,8	NP
G9	8k500	A-1-b	SM	24,3	NP
G10	9k500	A-2-4	SM	28,6	NP
G11	10k500	A-2-4	SM	26,0	NP

Tabla 1. Clasificación de suelos

Muestra	Progresiva	W (%)	PUS (g/cm ³)	G.C. (%)
C1	0k500	6,9	1,55	83
C2	1k500	8,3	1,52	82
C3	2k500	8,0	1,57	84
C4	3k500	7,6	1,47	79
C5	4k500	8,5	1,47	79
C6	5k500	7,3	1,51	81
C7	6k500	8,5	1,51	81
C8	7k500	7,9	1,60	86
C9	8k500	8,4	1,43	77
C10	9k500	9,0	1,50	80

Tabla 2. Densidades en sitio

Ensayo	Progresiva	Resultados		
		E_{v1}	E_{v2}	E_{v2}/E_{v1}
P1	0k500	89,0	141,4	1,6
P2	1k500	154,7	253,5	1,6
P3	2k500	132,4	205,3	1,6
P4	3k500	77,1	145,6	1,9
P5	4k500	77,3	143,2	1,9
P6	5k500	122,4	181,2	1,5
P7	6k400	154,3	235,8	1,5
P8	7k500	121,6	152,5	1,3
P9	8k450	110,7	170,9	1,5
P10	9k500	76,4	128,9	1,7
P11	10k500	131,1	174,2	1,3

Tabla 3. Ensayos de placa estática

Tramo	Progresiva	PUSM (g/cm ³)	Humedad óptima (%)
Testigo 1	0k500	1,86	12,1

Tabla 4. Ensayos de compactación

Tramo	Pasante #200 (%)	CV (%)	LL - IP (%)	E_{v2} (Mpa)	E_{v2}/E_{v1}
Todos	26,4	14,8	NP	175,7	1,6

Tabla 5. Promedio de resultados

Carril	D ₀ (micras)		S _{Neff}		C _{xMr} (Mpa)	
	Media	C.V. (%)	Media	C.V. (%)	Media	C.V. (%)
A+	905	23,7	0,6	35,0	48	24,9
A-	920	22,2	0,6	31,0	47	26,0

Tabla 6. Deflexiones y parámetros estructurales AASHTO

3.2 Ensayos durante fase operativa (posteriores a la aplicación de los aditivos)

En ésta etapa, luego de realizadas las aplicaciones de los diferentes productos, se controla el estado superficial de cada sub tramo estabilizado y de los 2 tramos testigo a través del ensayo de IRI.

En las siguientes tablas y gráficos se presentan los resultados de IRI medidos a lo largo de los años 2017, 2018 y 2019.

Año 2017												
	Febrero	Junio	Julio	Agosto			Septiembre			Noviembre		
Tramo	IRI (Km/m)	IRI (Km/m)	IRI (Km/m)	IRI (Km/m)	Desv. Est.	C. V.	IRI (Km/m)	Desv. Est.	C. V.	IRI (Km/m)	Desv. Est.	C. V.
Testigo	5,8	5,8	5,6	6,1	1,22	20%	6,5	1,12	17%	8,8	4,28	49%
1	7,2	4,3	4,1	6,0	1,12	19%	5,1	1,03	20%	7,0	2,82	40%
2	6,7	4,5	4,4	4,5	0,86	19%	5,2	0,91	18%	7,0	2,71	39%
3	8,4	5,0	5,1	4,9	0,90	18%	5,1	0,65	13%	6,2	2,34	38%
4	7,2	6,7	6,0	4,6	0,70	15%	5,8	0,58	10%	6,5	1,33	21%
5	6,5	8,1	6,7	5,8	1,30	22%	6,5	0,99	15%	6,1	2,25	37%
6	7,3	8,6	7,4	6,2	1,21	20%	6,3	0,80	13%	6,3	1,77	28%
Testigo	9,8	11,6	9,9	7,5	1,80	24%	8,6	2,64	31%	9,1	3,79	42%

Año 2018															
	Marzo			Junio			Agosto			Octubre			Noviembre		
Tramo	IRI (Km/m)	Desv. Est.	C. V.	IRI (Km/m)	Desv. Est.	C. V.	IRI (Km/m)	Desv. Est.	C. V.	IRI (Km/m)	Desv. Est.	C. V.	IRI (Km/m)	Desv. Est.	C. V.
Testigo	10,62	2,64	25%	6,59	1,60	24%	8,30	3,64	44%	11,73	4,36	37%	11,3	3,83	34%
1	7,81	0,43	5%	7,00	1,33	19%	9,13	3,77	41%	12,27	6,08	50%	9,4	2,32	25%
2	9,59	1,91	20%	10,87	3,41	31%	10,59	4,94	47%	12,70	4,85	38%	12,1	4,20	35%
3	7,23	1,01	14%	7,70	1,12	15%	7,91	3,48	44%	9,71	4,46	46%	8,5	1,79	21%
4	8,10	1,41	17%	6,54	1,24	19%	7,07	1,78	25%	8,25	1,84	22%	7,0	1,40	20%
5	7,26	1,25	17%	5,63	1,21	22%	6,91	1,96	28%	7,35	1,59	22%	6,2	1,63	26%
6	8,17	2,34	29%	6,41	1,13	18%	6,29	2,31	37%	6,94	2,42	35%	6,3	1,76	28%
Testigo	11,10	0,84	8%	6,35	1,25	20%	5,68	1,68	30%	6,79	2,63	39%	6,4	1,65	26%

Año 2019						
Febrero				Mayo		
Tramo	IRI (Km/m)	Desv. Est.	C. V.	IRI (Km/m)	Desv. Est.	C. V.
Testigo	8.67	1.88	22%	13.03	3.71	28%
1	13.12	2.81	21%	17.32	3.44	20%
2	17.32	6.45	37%	15.55	4.38	28%
3	9.46	2.64	28%	9.23	2.39	26%
4	7.19	1.76	24%	7.54	2.14	28%
5	7.47	3.07	41%	7.84	2.83	36%
6	6.88	2.64	38%	7.31	2.85	39%
Testigo	5.07	1.13	22%	6.87	1.60	23%

Tabla: Valores de IRI, Desviación Estándar y Coeficiente de Variación

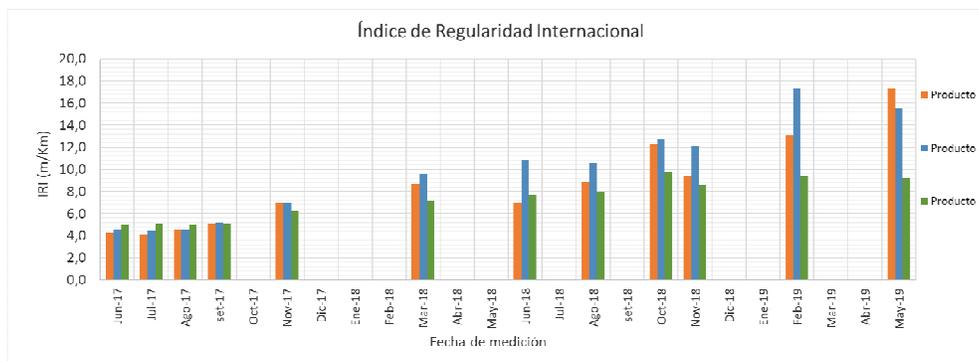


Gráfico 1: Valores de IRI, Productos 1, 2 y 3

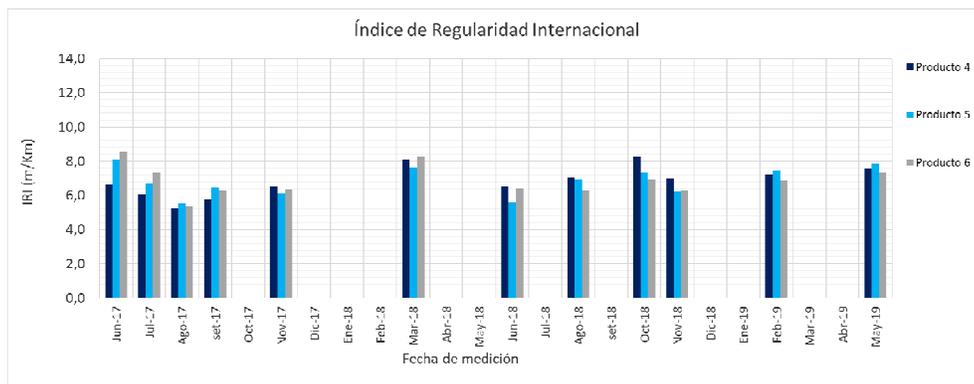


Gráfico 2: Valores de IRI, Productos 4, 5 y 6

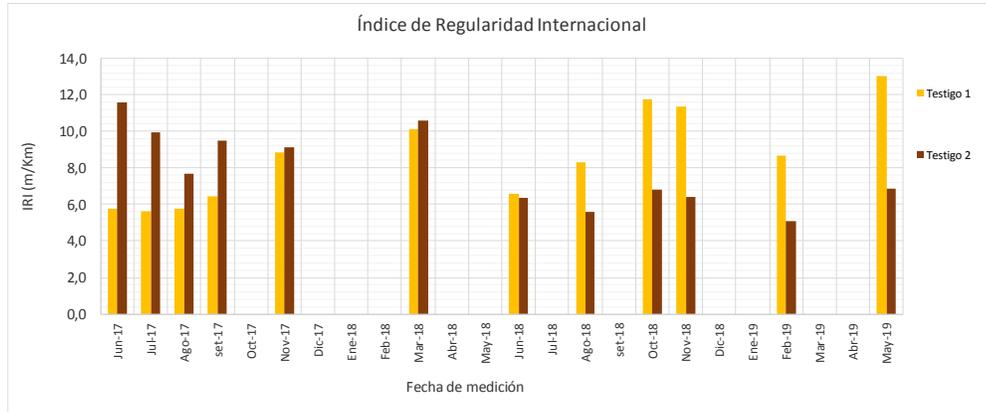
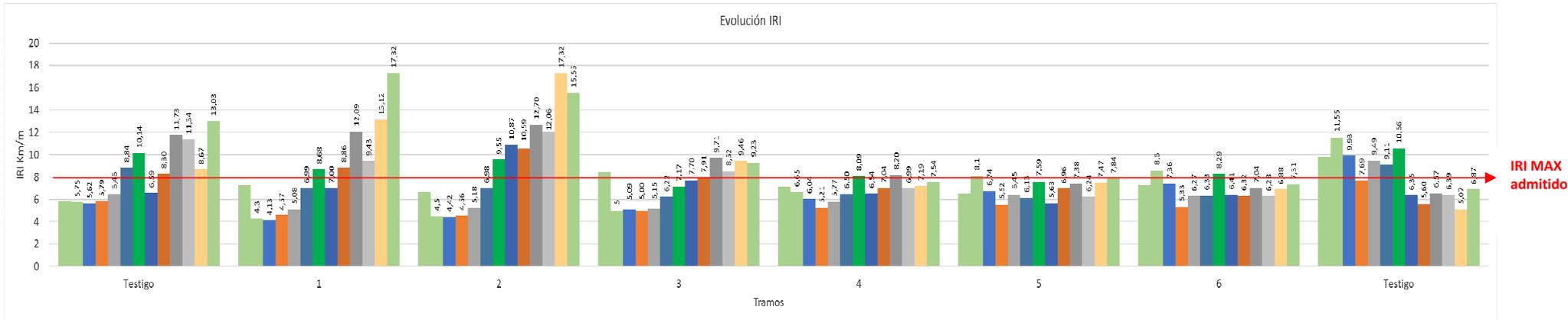


Gráfico 3: Valores de IRI, Tramos Testigos 1 y 2



3.3 Análisis de resultados de los Ensayos

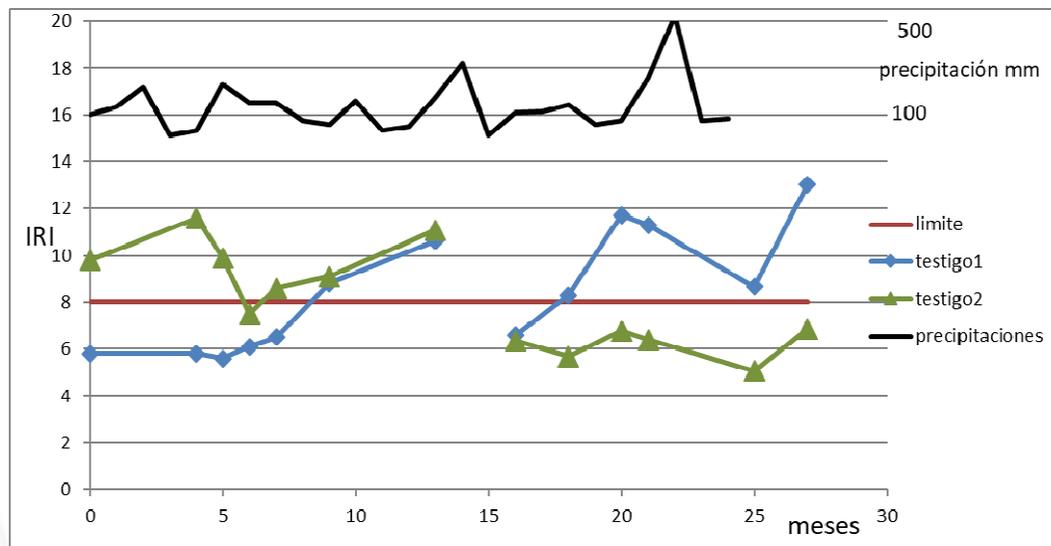
Tramos testigo

Los tramos testigo deberían tener un comportamiento similar y un estado inicial también muy parecido. A pesar de ello podemos ver que el valor de IRI inicial es en ambos tramos bastante diferente 5,8 para el tramo 1 y 9,8 para el 2. Este segundo tramo permanece en peor estado en todo el primer año (hasta marzo 2018). En el mes de Abril de 2018 se produce una conformación de ambos tramos testigo, observándose que el trabajo fue mejor ejecutado, al resultar un IRI inicial de 6,59 y 6,31 respectivamente. Al final del segundo año se tienen valores de IRI de 8,67 y 5,07 invirtiéndose la tendencia observada en el primer año.

Esto muestra que la puesta en obra es muy importante, lo cual puede resultar obvio, en la serviciabilidad del pavimento. Una mala puesta a punto inicial condiciona el comportamiento posterior.

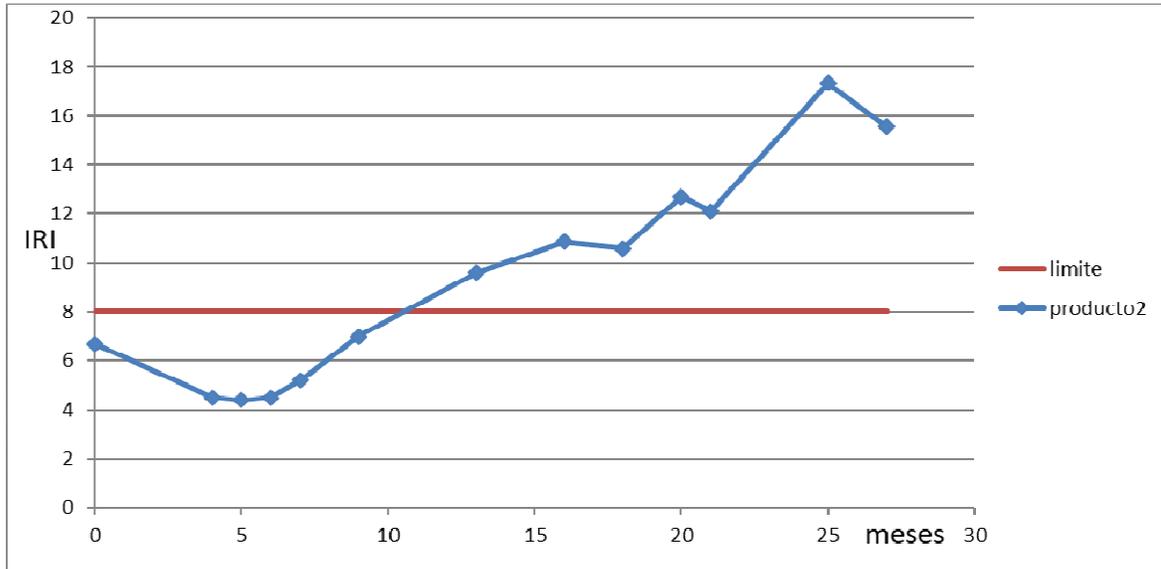
No podemos explicar porqué luego del reperfilado de abril de 2018 la evolución del IRI en ambos tramos es completamente diferente.

En forma conservadora, tomamos 6 meses como el período en que se puede trabajar antes de un reperfilado.

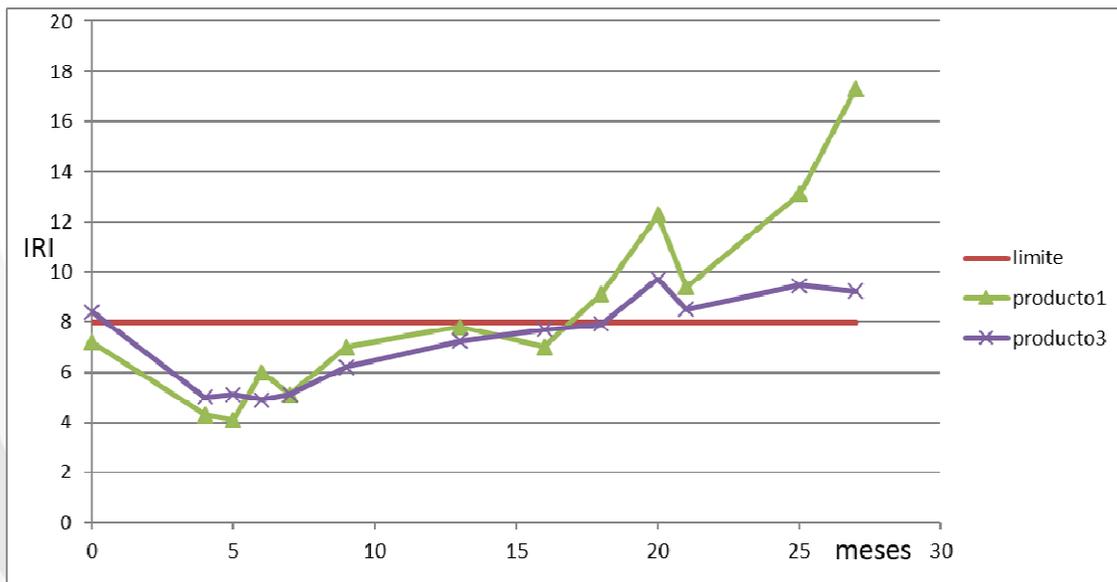


Tramos con aditivos

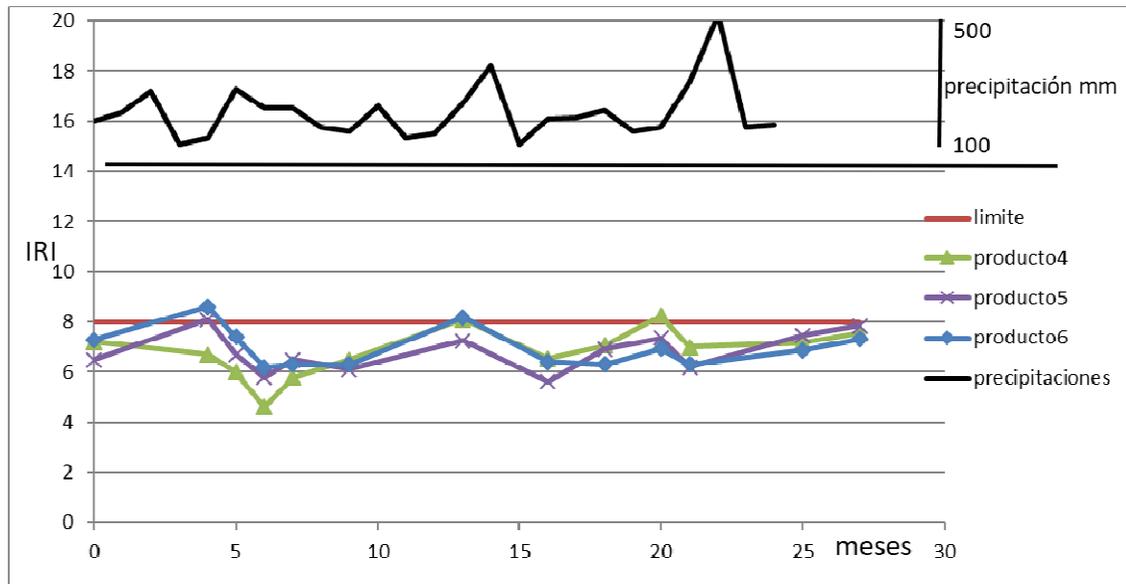
El tramo 2 puede considerarse que tuvo un comportamiento adecuado ($IRI < 8$) hasta los 10 meses luego de la aplicación del producto. Luego, el mismo aumenta rápidamente el IRI, por lo que se puede suponer que el fin de la vida útil es a los 10 meses.



Los tramos 1 y 3 tienen un comportamiento en servicio adecuado hasta los primeros 18 meses. En el tramo 3, se pudo observar que existió un problema de tipo constructivo al compactarse con rodillo pata de cabra pesado, lo cual generó ahuellamientos iniciales que afectan negativamente al IRI, si bien se “maquilló” este problema en forma superficial, el ajuste no tuvo suficiente adherencia como para mantenerse a lo largo de los 2 años. Si se mejoran las condiciones operativas de la aplicación, este producto puede tener un mejor rendimiento y mayor vida útil. Cabe agregar que la estabilización con cemento es la única que mejora el poder soporte del pavimento granular.



Los tramos correspondientes a los productos 4, 5 y 6 tienen un comportamiento bastante similar entre ellos, quedando prácticamente todo el período con un IRI inferior a 8.



Se observa un comportamiento algo fluctuante con el tiempo, que tal vez esté asociado con las condiciones de humedad del terreno de base y del pavimento granular con aditivo. El comportamiento es de alguna forma más dúctil que en el caso de la aplicación de los otros aditivos. Se puede decir que la vida útil sin mantenimiento puede ser de 24 meses o más. Considerando que durante el período tienen un IRI constante, resulta que el producto 4 tiene un valor IRI medio de 6.75 (desvest=0.99), el producto 5, un IRI medio de 6.71 (desvest= 0.74) y el producto 6 un IRI medio de 6.92 (desvest=0.80). Prácticamente podemos decir que el comportamiento de los tres tramos con aditivos es equivalente.

4 Análisis de costos y durabilidades obtenidas.

4.1 Cuadro general con detalle de costos y durabilidades para c/sub-tramo

En el siguiente cuadro se detalla la secuencia de medición de IRI de cada uno de los sub - tramos a lo largo del período de prueba además del tiempo de duración en cada caso y los costos de cada uno de los productos y su relación con el costo de mantenimiento de los testigos. *(ver planilla ampliada en anexos).*

Cuadro 2 - Resumen general con detalle de IRI, durabilidades y costos por tramo

Datos generales				Valores de IRI, Datos de Precipitación														Durabilidad y Costos /m ²								
Tramo	Producto	ejecutado (m ²)	fin ejecución	fecha	feb-17	Jun17	Jul17	Ago17	Set17	Nov17	Mar18	abr-18	jun-18	ago-18	oct-18	nov-18	feb-19	mar-19	may-19	fin VU	Durabilidad	Costo base (US)	costo de aditivos (US)	perfilado/aplicación (US)	recargo en testigos (US)	
Testigo inicial	s/aditivo	5400	23/05/2017	Precip acumul (mm)		10	35	230	150	75	50	175	10	110	60	75	75	85								
				IRI	5,8	5,75	5,62	6,1	6,5	8,8	10,62		6,59	8,3	11,73	11,3		8,67	13,03		8-6	126		2,5	53	
1	Soil Plus	6000	17/05/2017		7,24	4,3	4,13	6	5,1	7	7,81			7	9,13	12,27	9,4		13,12	17,32	jun-18	12	126	83,46	2,5	0
2	Tecofix	6000	03/05/2017		6,67	4,5	4,42	4,5	5,2	7	9,59			10,87	10,59	12,7	12,1		17,32	15,55	ene-18	10	126	181,46	2,5	0
3	Cemento	8250	22/04/2017		8,43	5	5,09	4,9	5,1	6,2	7,23			7,7	7,91	9,71	8,5		9,46	9,23	sep-18	18	126	130	2,5	0
4	Roadfix	11000	07/04/2017		7,17	6,65	6,04	4,6	5,8	6,5	8,1			6,54	7,07	8,25	7		7,19	7,54	Abr-19	24	126	168	2,5	0
5	ISS 2500	8050	25/04/2017		6,52	8,1	6,74	5,8	6,5	6,1	7,26			5,63	6,91	7,35	6,2		7,47	7,84	Abr-19	24	126	168	2,5	0
6	Polyses	10000	22/03/2017		7,3	8,6	7,36	6,2	6,3	6,3	8,17			6,41	6,29	6,94	6,3		6,88	7,31	Abr-19	24	126	115,5	2,5	0
Testigo final	s/aditivo	5640	23/05/2017	9,79	11,55	9,93	7,5	8,6	9,1	11,1			6,35	5,68	6,79	6,4		5,07	6,87		0-12	126		2,5	53	

Obs: *Costo total (rec de 20 cm y obras de arte) (\$/m²): **126** (x administración)

*Costo perfilado y compactación sin aporte (\$/m²): **2,5** (x administración)

*Costo perfilado y compactación sin aporte (\$/m²): **15** (x contrato)

*Costo perfilado y comp con recargo de 10cm (\$/m²): **53** (x administración)

*Costo perfilado y comp con recargo de 10cm (\$/m²): **65** (x contrato)

*Tasa de interes semestral (%): **5**

Algunas consideraciones referidas al cuadro de costos y durabilidades:

- Los costos generados en el mantenimiento de los testigos se explicitan en el anexo. Los mismos surgen de considerar los trabajos realizados (escarificado, perfilado y compactación), los costos de ejecución (combustible y desgaste de equipos) y los costos de la mano de obra (jornales de los maquinistas y administración). Dichas intervenciones fueron realizadas para mantener el estándar del camino ($IRI > 8$) cuando el deterioro superó dicho valor.
De acuerdo al comportamiento que presentaron los tramos testigo se puede observar que los períodos de deterioro fueron del orden de los 6 meses (promedio) lo que determinó la realización de trabajos de perfilado y compactación sin recargo con esa frecuencia. En el 3º semestre se realizaron trabajos de perfilado y compactación pero con recargo en éste caso.
- A partir de los costos de perfilado y compactación sin aporte, se han considerado los costos de perfilado y compactación con aporte de material granular los cuales surgen de sumar al anterior el costo de dicho material por m² en una capa de 10 cm de espesor.
- Los costos de estabilización son los que surgen del costo del suministro de cada producto a los que se suman los costos de aplicación.
- Los costos de aplicación se consideran iguales a los costos de perfilado y compactación sin recargo.
Para el caso del tramo estabilizado con cemento Portland, los costos son diferentes pues en éste caso la aplicación se realizó en un esquema diferente, con maquinaria específica para el caso.
- El costo correspondiente a la preparación del tramo (costo base) es el costo que surge de considerar el total de las obras de preparación por m² (obras viales e hidráulicas). En el caso de los tramos testigo ese es el costo total en c/u mientras que en el caso de los tramos estabilizados se considera el costo de preparación, el suministro y la aplicación de los diferentes productos.

4.2 Cuadro comparativo de costos

Tal lo mencionado, el objetivo de esta prueba pretende realizar una comparativa económica entre los costos que genera el mantenimiento de la caminería tradicional vs los costos que genera la caminería mejorada o estabilizada.

En el siguiente cuadro se realiza la comparativa de costos actualizados durante el periodo de tiempo comprendido desde el inicio de la etapa operativa (Jun 17) a la fecha del presente (Mayo 19). *(ver planilla ampliada en anexos).*

Cuadro 3 - Comparativa de costos (tramos estabilizados vs tramos testigos)

Comparativa económica a Junio 2019 (Camino mantenido x adm vs Camino estabilizado)															Valores totales actualizados (VAN)
Tramo	Producto	Costo x m2	Durabilidad (meses)	Inversión inicial	1º semestre	2º semestre	3º semestre	4º semestre	5º semestre	6º semestre	7º semestre	8º semestre	9º semestre	10º semestre	
					1	2	3	4							
Testigo inicial	sin producto	128,5		128,50	2,50	2,50	52,50	2,50							
				128,50	2,38	2,27	45,35	2,06						181	
1	Soil Plus	211,96	15	211,96	0,00	0,00	0,00	0,00							
				211,96	0,00	0,00	0,00	0,00						212	
2	Tecofix	309,96	13	309,96	0,00	0,00	0,00	0,00							
				309,96	0,00	0,00	0,00	0,00						310	
3	Cementos	258,5	18	258,50	0,00	0,00	0,00	0,00							
				258,50	0,00	0,00	0,00	0,00						259	
4	Roadfix	296,5		296,50	0,00	0,00	0,00	0,00							
				296,50	0,00	0,00	0,00	0,00						297	
5	ISS 2500	296,5		296,50	0,00	0,00	0,00	0,00							
				296,50	0,00	0,00	0,00	0,00						297	
6	Polyses	244		244,00	0,00	0,00	0,00	0,00							
				244,00	0,00	0,00	0,00	0,00						244	
Testigo final	sin producto	128,5		128,50	2,50	2,50	52,50	2,50							
				128,50	2,38	2,27	45,35	2,06						181	

Algunas consideraciones referidas al cuadro comparativo:

- La comparación económica de las distintas propuestas se realiza considerando valores actualizados netos con tasa de descuento del 10% anual (5% semestral).
- Los valores en rojo muestran los costos generados en cada tramo ya sea por obras de mantenimiento o por obras de estabilización (actualizados a la fecha)
- Dado que en los tramos testigo se realizaron trabajos de mantenimiento, por tal razón se tienen costos de mantenimiento mientras que en los tramos estabilizados no.
- Los tramos 1, 2 y 3 ya finalizaron su vida útil y por lo tanto ya tienen definida su durabilidad mientras que los tramos 4, 5 y 6 aún se encuentran en fase operativa. y por lo tanto podrán alcanzar durabilidades mayores.
- En el caso de los tramos 1,2 y 3, la comparativa muestra una diferencia a favor de los tramos sin estabilizar en relación con los tramos estabilizados con dichos productos.
- Los tramos 4,5 y 6 se encuentran en etapa operativa y por lo tanto la comparativa se realizará una vez que se llegue al final de la vida útil en cada uno. Los valores que se observan el cuadro podrán variar sensiblemente y posiblemente se pueda acortar la diferencia actual, especialmente si las duraciones de dichos tramos estabilizados se mantienen dentro del estándar que han presentado hasta la fecha actual. De esa forma los costos de mantenimiento se contabilizarán sobre mayores períodos de tiempo y por lo tanto los mismos serán mayores que los actuales.
- La comparativa de costos presentada considera costos de ejecución por administración, es decir no incluyen impuestos, LLSS ni beneficio asociado a la ejecución que serían considerados en el caso de realizar dicha ejecución mediante la modalidad de contrato.

5 Conclusiones.

De acuerdo a las mediciones realizadas a Junio de 2019, 3 de los 6 tramos estabilizados superan el valor máximo de IRI considerado como aceptable (tramos 1, 2, 3). Los tramos 4, 5 y 6 se mantienen dentro de lo aceptable (IRI < 8).

En función de lo anterior, el presente informe constituye un análisis primario del Proyecto de prueba que será complementado una vez que se dé por finalizado el mismo.

Algunas conclusiones que surgen de la comparativa de costos:

- En todos los casos, los tramos con estabilizantes han tenido mayor durabilidad que los tramos sin estabilizar. Aún así, a la fecha del presente, las durabilidades alcanzadas no amortizan los costos de la estabilización.
- Los tramos 1, 2 y 3 han superado el estándar mínimo aceptable y por lo tanto para dichos tramos, se ha realizado la evaluación económica.
En efecto, el tramo 2 tuvo una durabilidad de 10 meses, mientras que el Tramo 1 alcanzó una durabilidad de 12 meses y el tramo 3 alcanzó los 18 meses.
En los 3 casos la comparativa de costos marca diferencias apreciables en favor del mantenimiento tradicional (costos derivados del mantenimiento de los testigos).

Cabe mencionar que en el tramo 3, se pudo observar que existió un problema de tipo constructivo al compactarse con rodillo pata de cabra pesado, lo cual generó marcas derivadas del mismo rodillo que afectaron negativamente al IRI, si bien se “maquilló” este problema en forma superficial, el ajuste no tuvo suficiente adherencia como para mantenerse a lo largo de los 2 años. Si se mejoran las condiciones operativas de la aplicación, este producto puede tener un mejor rendimiento y mayor vida útil. Cabe agregar que a pesar de la situación planteada la estructura se encuentra en buen estado, con el perfil transversal correcto y sin huellas, posiblemente como consecuencia que la estabilización con cemento es la única que mejora el poder soporte del pavimento granular.

- Por otra parte, los tramos 4, 5 y 6 mantienen luego de 24 meses un IRI inferior a 8. Su evaluación económica dependerá del comportamiento que presenten en los próximos meses.
De todas formas, es válido establecer algunas conclusiones generales referidas a la conveniencia del uso de éstos productos estabilizantes.

Posibles situaciones que harían conveniente el uso de productos estabilizantes de base:

1) *Precios de venta de los productos estabilizantes.*

La presente evaluación económica se realiza con los precios de venta que cada producto estableció al mes de Febrero de 2017.

Si se bajan dichos precios, la evaluación realizada podría modificarse a favor de la modalidad de estabilización, es decir que se puedan “acortar” las diferencias que se presentan actualmente en todos los casos.

2) *Grandes distancias de traslados hasta el lugar de obras.*

En el caso de obras por administración, ésta situación puede influir en la evaluación económica teniendo en cuenta que los costos de traslado de maquinarias y personal son determinantes en los costos de las obras.

En la medida que dichas distancias sean importantes, los costos de traslado aumentan significativamente pues los mismos deben realizarse mediante equipo de traslado especial (chatas). Además los costos de mano de obra aumentan pues deben contemplarse pago de viáticos, hospedaje, etc. Por tal razón quizás sea más conveniente la aplicación de estabilizantes de forma de reducir las obras de mantenimiento y los costos asociados al traslado.

3) *Grandes distancias de la cantera al lugar de las obras.*

En estos casos, el costo de los mantenimientos con aporte de material puede incrementarse en forma significativa. En éstos casos, en el mismo sentido que el caso anterior, la aplicación de aditivos estabilizantes reduce las intervenciones de mantenimiento y por lo tanto los costos de traslado de balastro.

Por tal razón, se deberá evaluar en cada caso la distancia a la cantera y el costo respectivo del traslado de material.

4) *Contrato de Mantenimiento por estándares.*

Se podrán considerar contratos asociados a períodos de mantenimiento de los tramos. Bajo ésta modalidad los contratos deben incluir la ejecución de las obras iniciales de puesta a punto del pavimento y el respectivo mantenimiento de las mismas dentro de un determinado período de garantía de forma de mantener el estándar del camino de acuerdo a ciertos parámetros mínimos aceptables, con una lógica similar a la de la presente prueba.

En ese contexto, la utilización de los estabilizantes reducirá los costos de mantenimiento durante el período de contrato y estará sujeto al estudio de costos que cada Empresa interesada realice al respecto.

En ésta lógica, la aplicación de los productos estabilizantes estaría asociada a la gestión de mantenimiento durante determinado plazo.

5) Utilización de estabilizantes de base en pavimentos con capa de rodadura.

Sin bien no fue el objeto de la presente prueba, es de esperar que la estabilización sobre bases con capa de rodadura aplicada pueda tener resultados que hagan redituable la aplicación de los mismos.

De ésta forma, queda abierta la posibilidad que en ese contexto los resultados que se obtengan sean significativamente diferentes a los obtenidos en la presente.

6) Anexos:

- 6.1) Fotos
- 6.2) Cuadro resumen con detalles de las aplicaciones
- 6.3) Cuadro general con detalle de costos y durabilidades por sub tramo
- 6.4) Cuadro comparativo de costos (tramos estabilizados vs tramos testigo)
- 6.5) Protocolo de la Prueba

6.1) Fotos

Situación antes de las obras



Ejecución de las Obras



Obras finalizadas



6.2) Cuadro resumen con detalles de las aplicaciones

Prueba experimental Camino de las Avenidas - Constancia, Paysandú

Cuadro resumen con detalle de las aplicaciones

Tramo	Producto	Largo sub-tramo (m)	Ancho sub-tramo (m)	Superficie real ejecutada (m2)	max ejecución x día (m2)	dosificación (prod/sup)	Relación de dilución (prod/agua)	Inicio de la ejecución	tiempo de ejecución	costo aditivo (\$/m2) iva inc
Testigo inicial	sin producto	900	6	5400				17/05/2017	2	
1	Soil Plus	1000	6	6000		(0,014 a 0,030) lt / m2	1 / 100	11/05/2017	3	83,46
2	Tecofix	1000	6	6000	3000	1lt / 3m2		28/04/2017	3	181,46
3	Cementos	1500	5,5	8250	4510	17 kg / 1m2		19/04/2017	2	130
4	Roadfix	2000	5,5	11000	3575	1 lt / 3m2	1/3	30/03/2017	5	168
5	ISS 2500	1500	800m x 5m; 300m x 5,5m; 400m x 6m	8050	3150	0,04 lts / 1m2		21/03/2017	3	168
6	Polyses	2000	5	10000	2500	0,165 lt / m2	1/1,5	15/03/2017	5	115,5
Testigo final	sin producto	940	6	5640				17/05/2017	2	

6.3) Cuadro general con detalle de los costos y durabilidades por sub – tramo

Cuadro 2 - Resumen general con detalle de IRI, durabilidades y costos por tramo

Datos generales				Valores de IRI, Datos de Precipitación														Durabilidad y Costos/m ²						
Tramo	Producto	ejecutado (m2)	fin ejecución	fecha	Jun17	Jul17	Ago17	Set17	Nov17	Mar18	abr-18	jun-18	ago-18	oct-18	nov-18	feb-19	mar-19	may-19	fin VU	Durabilidad	Costo base (US)	costo de aditivos (US)	perfilado/aplicación (US)	recargo en testigos (US)
				Precip acumul (mm)	10	35	230	150	75	50	175	10	110	60	75	75	85							
Testigo inicial	s/aditivo	5400	23/05/2017	IRI	5,75	5,62	6,1	6,5	8,8	10,62		6,59	8,3	11,73	11,3		8,67	13,03		8-6	126		2,5	53
1	Soil Plus	6000	17/05/2017		4,3	4,13	6	5,1	7	7,81		7	9,13	12,27	9,4		13,12	17,32	jun-18	12	126	83,46	2,5	0
2	Tecofix	6000	03/05/2017		4,5	4,42	4,5	5,2	7	9,59		10,87	10,59	12,7	12,1		17,32	15,55	ene-18	10	126	181,46	2,5	0
3	Cemento	8250	22/04/2017		5	5,09	4,9	5,1	6,2	7,23		7,7	7,91	9,71	8,5		9,46	9,23	sep-18	18	126	130	2,5	0
4	Roadfix	11000	07/04/2017		6,65	6,04	4,6	5,8	6,5	8,1		6,54	7,07	8,25	7		7,19	7,54	Abr-19	24	126	168	2,5	0
5	ISS 2500	8050	25/04/2017		8,1	6,74	5,8	6,5	6,1	7,26		5,63	6,91	7,35	6,2		7,47	7,84	Abr-19	24	126	168	2,5	0
6	Polyses	10000	22/03/2017		8,6	7,36	6,2	6,3	6,3	8,17		6,41	6,29	6,94	6,3		6,88	7,31	Abr-19	24	126	115,5	2,5	0
Testigo final	s/aditivo	5640	23/05/2017			11,55	9,93	7,5	8,6	9,1	11,1		6,35	5,68	6,79	6,4		5,07	6,87		0-12	126		2,5

- Obs: * Costo total (rec de 20 cm y obras de arte) (\$/m2): **126**
- * Costo perfilado y compactación sin aporte (\$/m2): **2,5**
- * Costo perfilado y compactación sin aporte (\$/m2): **15**
- * Costo perfilado y comp con recargo de 10cm (\$/m2): **53**
- * Costo perfilado y comp con recargo de 10cm (\$/m2): **65**
- * Tasa de interes semestral (%): **5**

6.4) Cuadro comparativo de costos (tramos estabilizados vs tramos testigo)

Cuadro 3 - Comparativa de costos (tramos estabilizados vs tramos testigos)

Comparativa económica a Junio 2019 (Camino mantenido x adm vs Camino estabilizado)														
Tramo	Producto	Costo x m2	Durabilidad (meses)	Inversión inicial	2º semestre	3º semestre	4º semestre	5º semestre	6º semestre	7º semestre	8º semestre	9º semestre	10º semestre	Valores totales actualizados (VAN)
Testigo inicial	sin producto	128,5		128,50	2,50	52,50	2,50							
				128,50	2,27	45,35	2,06							181
1	Soil Plus	211,96	15	211,96	0,00	0,00	0,00							
				211,96	0,00	0,00	0,00							212
2	Tecofix	309,96	13	309,96	0,00	0,00	0,00							
				309,96	0,00	0,00	0,00							310
3	Cementos	258,5	18	258,50	0,00	0,00	0,00							
				258,50	0,00	0,00	0,00							259
4	Roadfix	296,5		296,50	0,00	0,00	0,00							
				296,50	0,00	0,00	0,00							297
5	ISS 2500	296,5		296,50	0,00	0,00	0,00							
				296,50	0,00	0,00	0,00							297
6	Polyses	244		244,00	0,00	0,00	0,00							
				244,00	0,00	0,00	0,00							244
Testigo final	sin producto	128,5		128,50	2,50	52,50	2,50							
				128,50	2,27	45,35	2,06							181