

**APROVECHAMIENTO DE MATERIALES LOCALES
EN LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTOS
URBANOS ECONOMICOS**

Ing. Duilio D. Massaccesi

Agr. Hugo A. Langard

M. M. de Obras Eduardo D. Agosti

Tco. Qco. Omar A. Iosco

CONSIDERACIONES GENERALES

Existen suficientes antecedentes que permiten aseverar sin temor a equivocación que muchos de los diseños actuales de pavimentos urbanos se mantienen dentro de normas clásicas, o mejor dicho obedecen a criterios tradicionales en materia de proyecto o especificación técnica, prestándose una atención secundaria a la posibilidad de aprovechar materiales existentes en la zona donde se llevará a cabo dicho proyecto.

El uso de uno o varios materiales locales, en alguna de las capas de base o rodamiento, evidentemente puede reportar un significativo beneficio económico para la obra, ya que es perfectamente conocida la forma en que el costo del transporte del material incide en el monto total de los trabajos. En la mayoría de los casos el valor del transporte de agregados pétreos, supera notablemente el costo del material en sí.

En nuestro medio, los yacimientos y canteras de los diferentes tipos de rocas empleadas en la construcción, como granitos, cuarcitas, areniscas, etc., se encuentran ubicados entre la zona central y el sur de la provincia de Buenos Aires, y a su vera se hallan los principales centros de producción de agregados pétreos para uso vial, que son los que abastecen a casi toda la provincia.

Esto nos lleva a deducir que, cuando un pavimento a construir se encuentre ubicado desde esta zona central hacia el norte o N.O. de la provincia, su costo puede llegar a incrementarse notablemente, debido a la incidencia del transporte de agregados pétreos, desde estos centros de producción hasta la obra.

Algo semejante, pero en sentido inverso, ocurre con la arena silícea del río Paraná, parte de cuyas fuentes de provisión se encuentran en el límite norte de la Provincia, y la cual se encarece sensiblemente cuando hay que transportarla hacia el sur.

El estudio que se ha encarado, tiene como finalidad principal, analizar la posibilidad de emplear en algunas de las estructuras del perfil de un pavimento urbano, materiales existentes en la zona de construcción, tratando en esa forma de reducir su costo y si fuera posible, de mejorar las características técnicas del pavimento.

La zona elegida para este trabajo, está situada dentro del partido de 25 de Mayo. En la misma se constató la presencia, hasta profundidades aproximadas de 1 metro, de un suelo natural clasificado según H.R.B. como A.4, cuyas características se indican más adelante, y que en principio se consideró apropiado para ser estabilizado por ligantes tipo bituminosos, a los efectos de integrar estructuras de sub-base o base de pavimentos.

De este suelo se extrajeron muestras representativas en suficiente cantidad como para encarar la totalidad de los estudios programados.

Asimismo, por debajo de la profundidad señalada se encontró una arena natural, fina, tipo médano, que podría llegar a emplearse como integrante de la mezcla asfáltica a ejecutar como capa de rodamiento, sea ésta un concreto asfáltico en caliente o en frío.

Antes de comentar el segundo objetivo perseguido en el trabajo, es conveniente hacer algunas consideraciones respecto a las posibilidades de estabilización que admite este suelo para su utilización como sub-base o base, ya que naturalmente constituye un excelente soporte de estas estructuras, trabajando como subrasante.

Desde hace bastante tiempo ha tenido gran difusión la estabilización de capas inferiores de pavimentos, mediante cemento portland incorporado al suelo. Este procedimiento que en general es preferido por los proyectistas por su comodidad, simpleza constructiva y por haber brindado resultados aceptables, se basa en la cohesión artificial que aporta el cemento a suelos finos, arenosos o limo-arenosos de nula o escasa plasticidad, para mejorar su capacidad portante.

Cuando se ha realizado una correcta determinación del porcentaje de cemento a incorporar, así como una buena homogeneización del suelo con el cemento durante el proceso cons-

tructivo y un eficiente curado, el resultado suele ser satisfactorio. Sin embargo hay que destacar que es frecuente observar ciertas anomalías en este método de estabilización, que consisten en la aparición de fisuras en la base, debidas a contracción por fragüe del cemento, que se reproducen en la carpeta de rodamiento. También se notan ciertos problemas de adherencia que ocurren cuando se emplean para el curado, asfaltos diluídos, cuyos solventes, al desalojar la humedad, alteran el proceso de fragüe del cemento portland.

Con el objeto de tratar se subsanar estas anomalías se pensó en la estabilización del suelo por medio de ligantes bituminosos, estimando que una base de naturaleza asfáltica podría tener mayor compatibilidad con una carpeta de rodamiento asfáltica.

En la estabilización por medio de emulsiones bituminosas deben distinguirse dos aspectos, según se trate de un suelo arenoso o un suelo cohesivo. En el primer caso, la emulsión aporta cohesión viscosa y permite en definitiva el desarrollo de los tres elementos que colaboran en la resistencia al corte de la mezcla, la cohesión real, la fricción y la cohesión viscosa.

En el segundo caso, cuando se trata de un suelo cohesivo, lo que se pretende es impermeabilizar el suelo para anular la reversibilidad de la cohesión propia que desarrolla ese suelo.

Lógicamente, en este último caso, necesitaremos cantidades de betún mayores que en el primero.

El suelo empleado en este proyecto, se encuentra en una situación intermedia, con tendencia a este segundo estado. Por consiguiente una de las finalidades perseguidas en el trabajo es disminuir los efectos de la absorción de agua.

En consecuencia como esta condición se encuentra íntimamente vinculada con la mayor o menor homogeneidad con que la emulsión se distribuye en el suelo, se debe investigar qué condición de mezclado es necesaria para lograr la óptima impermeabilidad.

Asimismo, deben analizarse las condiciones de óptima compactación de la mezcla, la cual también ejerce influencia en el grado de permeabilidad.

También debe verificarse la variación de la estabilidad en función de la densidad y del porcentaje de emulsión, y por último deben vincularse todas estas determinaciones con el ensayo del Valor Soporte California, a los efectos de comprobar si se produce alguna correspondencia entre ambos métodos de medida de la resistencia al corte. Esto es sumamente importante y necesario, ya que el C.B.R. es el que permitirá el dimensionado de las distintas estructuras del pavimento.

CARACTERISTICAS FISICAS DEL SUELO EMPLEADO

Constantes físicas

Límite líquido	21,3
Límite plástico	17,1
Índice plástico	4,2
Pasa tamiz nº 200 (%)	36,8
Clasificación según H.R.B.	A ₄
Índice de grupo	0

Ensayo proctor normal de 25 golpes

Determinación	Humedad (%)	P.U.V.S. (kg/dm ³)
Primera	9,45	1,548
Segunda	10,9	1,593
Tercera	14,0	1,711
Cuarta	16,0	1,726
Quinta	18,2	1,681

Ensayo proctor de 35 golpes

Determinación	Humedad (%)	P.U.V.S. (kg/dm ³)
Primera	10,0	1,611
Segunda	11,7	1,681
Tercera	13,4	1,739
Cuarta	15,1	1,767
Quinta	17,2	1,714

Ensayo de valor soporte (método C.B.R.)

	Proctor normal	Proctor 35 golpes
Penetraciones, sin embeber:		
2,5 mm	30,9	60,8
5,0 mm	32,4	62,1
7,5 mm	34,0	66,9
10,0 mm	34,0	65,2
12,5 mm	36,5	64,0
Penetraciones, embebido:		
2,5 mm	15,3	23,2
5,0 mm	16,7	23,2
7,5 mm	16,2	23,8
10,0 mm	15,6	22,4
12,5 mm	12,1	19,8
Absorción de agua 0-1,5 cm (%)	19,8	18,3
Absorción de agua 1,5-3 cm (%)	18,2	17,4
Hinchamiento	0,95	1,16

CARACTERISTICAS DE LA EMULSION ANIONICA UTILIZADA

Sobre la emulsión asfáltica

Viscosidad Saybolt furol a 25°C, seg.	16
Contenido de betún y emulsivo, por 100 ...	61,0
Residuo sobre tamiz nº 20, por 100	0,0
Ruptura con cemento, por 100	0,0
Mezcla con agua, coagulación apreciable	
durante 2 horas	Ninguna
Asentamiento, 5 días	2
Ensayo de recubrimiento	Satisfac.

T A B L A I

SERIE I.- EMULSION ASFALTICA EBL₂: B 2

	Humedad de mezclado (%)														
	4	6			8			10			12				
Probeta nº	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
Peso inicial, g	202,6	200,6	201,4	204,2	202,9	198,2	201,4	201,9	200,5	203,4	202,8	203,6	203,3	208,6	203,7
Peso a los 5 días, g ...	188,3	188,2	188,9	192,3	186,9	186,5	186,2	186,6	185,3	183,7	183,2	183,9	181,6	186,3	183,6
Peso a los 7 días, g ...	188,2	188,2	188,7	192,2	186,8	186,4	186,1	186,5	185,2	183,7	183,1	183,8	181,6	186,2	183,5
Peso constante, g	187,7	187,7	188,4	191,7	186,5	186,1	185,7	186,2	184,7	183,3	182,7	183,4	181,2	185,7	183,2
Volumen (promedio), cm ³	107,4			106,6			104,4			103,1				106,0	
Peso de la unidad de volumen del suelo solo (promedio), g/cm ³	1,750			1,765			1,777			1,776				1,730	

T A B L A II

SERIE II.- EMULSION ASFALTICA EBL₂ 10 2

	Humedad de mezclado (%)														
	4			6			8			10			12		
Probeta nº	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Peso inicial, g	204,1	204,1	204,4	204,0	204,1	202,8	203,2	204,4	203,7	200,8	210,5	206,6	201,8	207,8	206,7
Peso a los 5 días, g	189,3	189,3	189,6	190,1	190,1	189,0	185,6	186,5	186,2	180,7	189,3	185,8	180,5	185,2	184,2
Peso a los 7 días, g	189,2	189,2	189,3	190,0	190,0	189,0	185,5	186,5	186,2	180,7	189,3	185,8	180,4	185,1	184,1
Peso constante, g	188,8	188,8	189,1	189,6	189,6	188,5	185,2	186,2	185,7	180,4	189,0	185,5	180,2	184,7	183,7
Velumen (promedio), cm ³	107,9		109,1		109,1		108,5				109,3			109,9	
Peso de la unidad de volumen del suelo solo (promedio), g/cm ³	1,751			1,735		1,712				1,693				1,664	

Sobre el residuo bituminoso

Penetración a 25°C (100 g, 5 seg.)	155
Ductilidad a 25°C, cm	+150

ENSAYOS PARA ANALIZAR EL COMPORTAMIENTO DEL
SUELO CON EMULSION ASFALTICA EBL₂

Como se dijo anteriormente, se pretende estabilizar el suelo local con una emulsión adfáltica superestable (EBL₂), a los efectos de conseguir una estructura adecuada para actuar como sub-base o base de pavimento flexible.

Una emulsión bituminosa, normalmente posee dos fases inmiscibles, una constituida por agua, que es el medio de suspensión, y otra discontinua formada por el asfalto en forma de pequeñísimas esferas, que se encuentran dispersadas en la fase acuosa.

Estas partículas de betún, merced a la acción del agua que actúa como vehículo, se depositan sobre los áridos formando una película más o menos uniforme cuando aquélla se evapora. Es decir las partículas de asfalto se unen constituyendo una película de asfalto puro; esto es lo que comunmente se denomina el "corte" o "rotura" de la emulsión.

Cuando el contenido de agua sobre los áridos es excesivo, una emulsión aniónica, de las características de la que se está empleando, puede llegar a diluirse y demorar seriamente su "rotura".

Por otra parte puede suceder que, ante una falta de humedad para el mezclado, la emulsión rompa demasiado rápido, trayendo aparejada una distribución no uniforme del asfalto en la mezcla.

En la primera etapa del trabajo se trató de investigar la influencia que tiene en las características físico-mecánicas de las mezclas, la humedad empleada en la elaboración y compactación de las mismas. Esto se estudió para diferentes cantidades de ligante bituminoso.

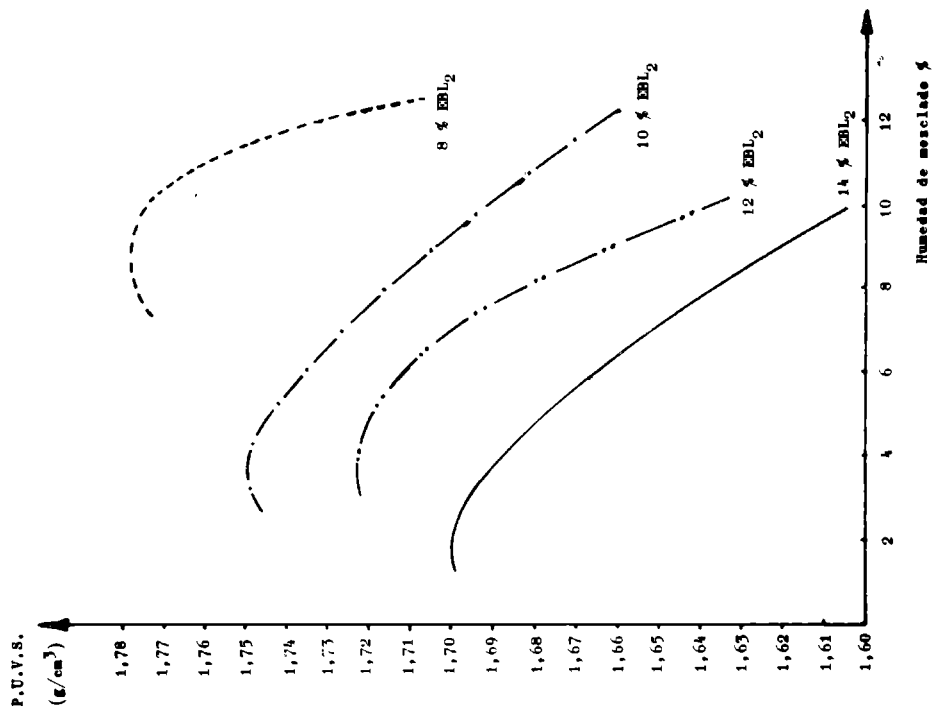


Figura 1

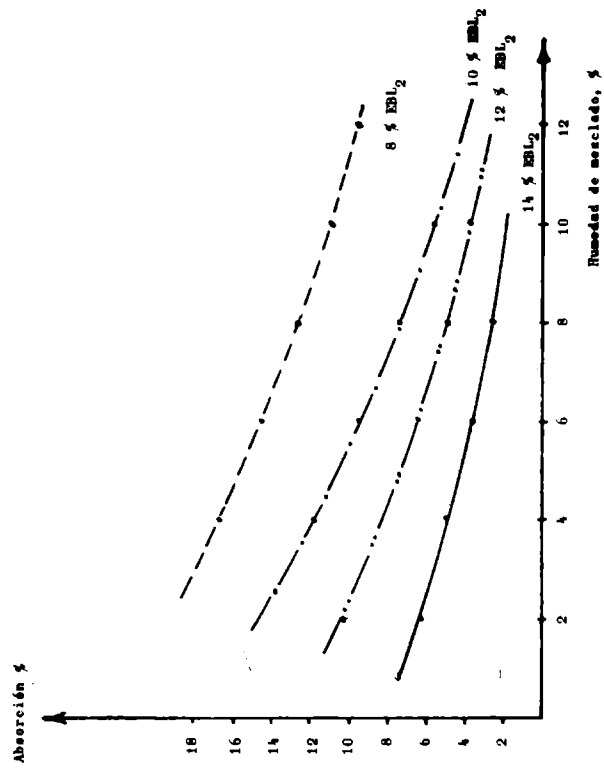


Figura 2

a) Influencia de la humedad de mezclado y del porcentaje de emulsión en la densidad, absorción y estabilidad de las mezclas.

Como paso previo se procedió a airear y pulverizar el suelo a los efectos de preparar diferentes mezclas con emulsión asfáltica super-estable tipo EBL₂.

Se moldearon series de probetas, cilíndricas de 50,8 mm de diámetro por 50,8 mm de altura, de suelo con diferentes porcentajes de emulsión y distintos porcentajes de agua de mezclado, partiendo de exprofeso de porcentajes de humedad inferiores a los necesarios para que la emulsión no rompa. En todos los casos se mantuvo constante el tiempo de mezclado que fue de 5 minutos al incorporar el agua y 5 minutos más al incorporar la emulsión. La compactación inicial de las mezclas se logró mediante 25 golpes de pisón de hoja, aplicando luego una carga estática de 6 000 libras a una velocidad de 25,4 mm por minuto. El tiempo en que esta carga se mantuvo aplicada fue siempre de dos minutos.

Una vez preparadas las probetas se pesaron y se colocaron en estufa a 60°C, hasta peso constante.

Los valores que se obtuvieron sobre las diferentes series son los que se indican en las tablas I, II, III y IV.

En la figura 1 se resumen los valores de las tablas anteriores, habiéndose volcado en ordenadas los pesos de la unidad de volumen del suelo solo (P.U.V.S.) y en abscisas los diferentes porcentajes de humedad de mezclado.

Se observa que, en general, en las cuatro series, el porcentaje de "líquido" necesario para lubricar correctamente a las partículas y permitir la correcta densificación de la mezcla durante el proceso de compactación, oscila entre 14 % y 16 %.

La serie de 14 % de emulsión bituminosa, requiere una cantidad de humedad de mezclado de 2 %, lo que hace un total de 16 %.

El mayor peso de la unidad de volumen del suelo solo, se logra con 8 % de humedad de mezclado y 8 % de emulsión.

T A B L A III
 SERIE III.- EMULSION ASFALTICA EBL₂: 12 %

	Humedad de mezclado (%)														
	2		4		6		8		10						
Prueba nº	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
Peso inicial, g	200,1	199,0	200,3	200,4	200,4	200,2	202,0	201,5	201,5	207,3	207,1	207,2	204,5	203,7	203,8
Peso a los 5 días, g ...	189,3	188,2	189,6	186,1	186,1	186,1	188,5	187,9	187,9	189,7	189,5	190,0	184,7	184,0	184,2
Peso a los 7 días, g ...	189,2	188,1	189,5	186,0	186,0	186,0	188,4	187,8	187,8	189,6	189,4	189,7	184,6	183,8	184,2
Peso constante, g	188,8	187,6	189,1	185,6	185,3	185,5	187,8	187,4	187,4	189,2	189,0	189,4	184,2	183,5	183,6
Volumen (promedio), cm ³ .	110,8			107,7			109,2			112,4			112,1		
Peso de la unidad de volumen del suelo solo (promedio), g/cm ³	1,701			1,723			1,710			1,684			1,639		

T A B L A IV

SERIE IV.- EMULSION ASFALTICA ERL₁₀: 14 g

	Humedad de mezclado (%)														
	4		6		8		10		12						
Probeta nº	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
Peso inicial, g	200,5	200,4	200,4	203,8	203,4	202,7	203,4	203,1	203,1	204,0	204,1	204,6	198,5	203,4	199,2
Peso a los 5 días, g	187,9	188,2	188,4	188,5	188,2	187,6	188,9	188,5	188,6	185,9	186,2	186,7	178,6	182,6	179,5
Peso a los 7 días, g	187,3	187,3	187,5	187,8	187,5	186,9	188,2	187,7	187,8	185,4	185,5	185,9	178,2	182,2	179,1
Peso constante, g	187,3	187,3	187,5	187,8	187,5	186,9	188,2	187,7	187,8	185,4	185,5	185,9	178,2	182,2	179,1
Volumen (promedio), cm ³	110,2			111,0				112,6				113,7			112,0
Peso de la unidad de volumen del suelo solo (promedio), g/cm ³	1,701			1,689				1,668				1,632			1,606

T A B L A V

Mezcla	Emulsión EBL ₂ (%)	Agua de mezclado (%)	Estabilidad (kg)	Absorción (%)
A	10	12	1.550	3,8
B	12	10	1.600	3,8
C	14	6	1.520	3,6
D	14	8	1.650	2,9
E	14	10	1.800	1,9

No obstante debe aclararse que el logro de buenas densidades no es suficiente, en este tipo de estabilización, para garantizar un buen comportamiento de la mezcla, sino que es necesario relacionarlas con las características de impermeabilidad y resistencia, las cuales se indican en la tabla VI y en las figuras 2 y 3. En base a éstas, surge que la serie I, con 8 % de emulsión, debe descartarse por poseer elevados porcentajes de absorción y baja estabilidad.

Se observa asimismo, que la impermeabilidad y la estabilidad aumentan al incrementar el porcentaje de emulsión en esta serie de probetas, que permanecieron 7 días en cámara húmeda.

Considerando aceptables estabilidades del orden de 1 500 kilogramos, identificaremos a las mezclas de la tabla V, que cumplen con esta condición con las letras A, B, C, D y E; estas mezclas están elaboradas según se indica en la tabla V.

Comparando estas mezclas entre sí, no se observa un aumento importante de la estabilidad al aumentar el porcentaje de emulsión. Tampoco la absorción ha variado en forma sustancial en las mismas, al incrementarse el ligante.

Por consiguiente, en base a estos elementos de juicio se deduce la conveniencia, desde el punto de vista técnico-económico de emplear para la estabilización del suelo en estudio, la mezcla A, elaborada con 10 % de EBL₂ y 12 % de humedad de

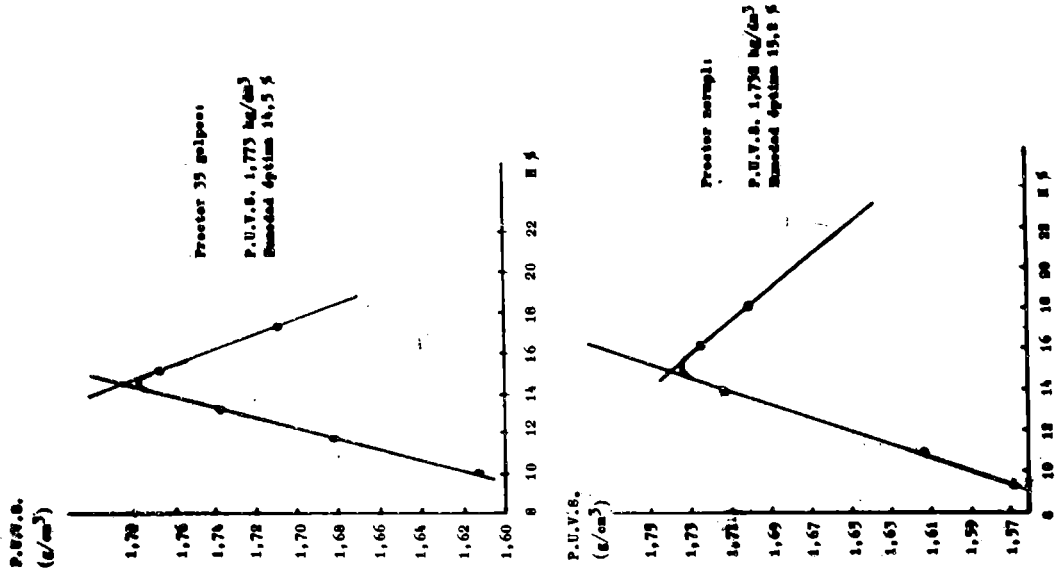


Figura 4

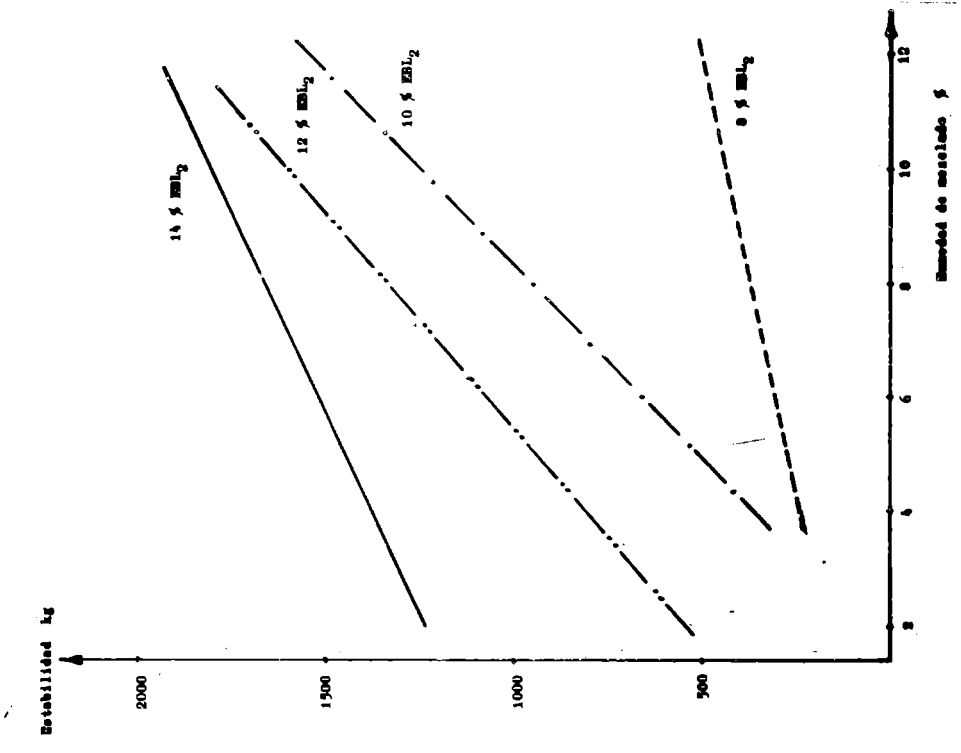


Figura 3

T A B L A VI

Humedad de mezclado (%)	Absorción luego de permanecer 7 días en cámara húmeda											
	Absorción (%)						Estabilidad (kg)					
	Serie I 8 % EBL ₂	Serie II 10 % EBL ₂	Serie III 12 % EBL ₂	Serie III 14 % EBL ₂	Serie IV 14 % EBL ₂	Serie IV 6,2	Serie I 8 % EBL ₂	Serie I 10 % EBL ₂	Serie II 10 % EBL ₂	Serie III 12 % EBL ₂	Serie III 14 % EBL ₂	Serie IV 14 % EBL ₂
2	-	-	10,0	6,2	-	-	-	-	550	1.250	-	-
4	16,4	11,9	8,3	5,0	250	372	800	1.370	-	-	-	-
6	14,7	9,6	6,6	3,6	300	660	1.070	1.520	-	-	-	-
8	12,8	7,8	4,8	2,9	360	950	1.330	1.650	-	-	-	-
10	10,9	6,0	3,8	1,9	438	1.250	1.600	1.800	-	-	-	-
12	9,7	3,8	-	-	510	1.550	-	-	-	-	-	-
Promedio					372	956	1.070	1.518				

mezclado, la cual es aproximadamente un 40 % más económica que las C, D y E, y un 20 % menor que la B, teniendo características técnicas semejantes.

No obstante debe aclararse que esta mezcla A debe trabajarse con sumo cuidado pues, como puede comprobarse en la tabla V, es más susceptible a la disminución de estabilidad y aumento de absorción, al reducirse el porcentaje de agua de mezclado, que cualquiera de las otras, sobre todo de la serie de 14 % de EBL₂.

La tabla VII resume las estabilidades promedio de probetas correspondientes a las series I, II, III y IV, no sometidas a cámara húmeda. Relacionando éstas, con las de la tabla VI, que fueron ensayadas luego de ser sometidas al ensayo de absorción durante 7 días, se observa que, cuanto mayor es el porcentaje de ligante se hace menor la diferencia de estabilidades promedio entre probetas secas y húmedas correspondientes.

Resumiendo, el porcentaje de emulsión que brinda una estabilización más efectiva, técnica y económicamente, surge después de analizar el "conjunto" de características físico-mecánicas que pueden obtenerse en las distintas mezclas.

De aquí que, aunque aparentemente la elaborada con 8 % de emulsión parecía ser la más apropiada por dar mayor densidad, posteriormente se descartó por exceso de absorción y baja estabilidad.

Esta mezcla que también posee alta estabilidad estando seca, sufre una caída brusca al ponerse en contacto con el agua.

Esta caída de estabilidad en condiciones húmedas, se va haciendo cada vez menor, cuanto mayor es el porcentaje de ligante.

El equilibrio técnico-económico lo da la mezcla con 10 % de emulsión y 12 % de humedad de mezclado (que a la vez fue también la humedad de compactación).

Queda por investigar la forma como influye en las características de absorción y estabilidad, la mejor distribución del asfalto en el seno de las mezclas. Esta homogeneidad es-

T A B L A VII

PROBETAS NO SOMETIDAS A ABSORCION

	Serie I 8 % EBL ₂	Serie II 10 % EBL ₂	Serie III 12 % EBL ₂	Serie IV 14 % EBL ₂
Estabilidad promedio, kg	3.050	2.790	2.746	2.460
Diferencias de estabildades respecto a las probetas so- metidas a absorción, kg	2.678	1.834	1.676	942

té íntimamente vinculada con la humedad incorporada al suelo para efectuar el mezclado con la emulsión. En general se estima que cuanto mayor es esta humedad, se logra una mejor distribución del ligante en el seno de la mezcla, es decir que las partículas del árido se recubren mejor, pues existe humedad suficiente que actúa como vehículo para distribuir las pequeñas esferas de asfalto emulsionado.

INFLUENCIA DEL AUMENTO DE HUMEDAD DE MEZCLADO

Se estudia a continuación la influencia de una mejor distribución del asfalto en la mezcla. El mejor recubrimiento de las partículas de suelo por el ligante, se logra con un aumento de la humedad de mezclado.

Lo que se quiere poner en evidencia es cómo influye una distribución más homogénea aún de la emulsión, en la estabilidad y absorción de las probetas.

Todo esto se ha estudiado para tres porcentajes distintos de emulsión: 10 %, 12 % y 14 % y para diferente humedad de compactación (8 %, 10 % y 12 %).

Las series de probetas empleadas en estas determinaciones se moldearon con la técnica general indicada anteriormente, y los valores obtenidos se han volcado en la tabla VIII.

De esta tabla pueden deducirse varias conclusiones. En primer término se aprovechó la disponibilidad de gran número de probetas moldeadas y se verificó como se iba produciendo el secado de la mezcla. Así pudo comprobarse que en términos generales, a las 48 horas de moldeadas, y luego de haber permanecido a temperatura ambiente, las probetas perdieron aproximadamente el 52 % de la humedad total que poseían, y a las 96 horas, la pérdida fue en promedio del 70 %. El peso constante, o sea la pérdida total de la humedad, se alcanzó luego de haber permanecido las probetas 10 días en estufa a 60°C.

Otra característica general observada fue que la estabilidad de las probetas con diferentes contenidos de humedad, va aumentando a medida que se produce el secado de las mis-

TABLE VIII

Humedad de mostrado	Humedad de compactación	Pérdida de humedad a las 48 h		Estabilidad a las 48 h		Pérdida de humedad a las 96 h		Estabilidad a las 96 h		Pérdida de humedad (pe- se constante)	Estabilidad (peso con- stante)	Absorción 7 días	Estabilidad luego de absorción
		(%)	(% del total)	(kg)	(% del total)	(kg)	(% del total)	(kg)	(% del total)				
15	12	56	1183	73	1929	100	1950	3,7	1565				
	10	56	1202	73	1759	100	1975	3,7	1580				
	8	50	1726	69	2328	100	2350	3,6	1982				
	6	50	1427	69	1497	100	2050	2,3	1886				
10	12	46	1840	65	2086	100	2158	2,1	2138				
	10	46	1427	65	1657	100	2158	2,1	2138				
	8	50	1840	65	2086	100	2170	2,2	2147				
	6	50	1427	65	1657	100	2170	2,2	2147				
15	12	59	1051	72	1405	100	1450	3,4	1506				
	10	59	1161	72	1317	100	1630	2,9	1534				
	8	50	1427	69	1543	100	1950	2,3	1874				
	6	50	941	69	1543	100	1970	2,4	1600				
10	12	50	1205	65	1907	100	2108	2,7	1862				
	10	50	1205	65	1907	100	2108	2,7	1862				
	8	50	1588	65	2218	100	2290	2,2	2075				
	6	50	1588	65	2218	100	2290	2,2	2075				
15	12	55	459	70	853	100	1300	2,1	1262				
	10	55	678	70	1051	100	1543	2,0	1550				
	8	46	897	65	1227	100	1840	2,1	1794				
	6	46	612	65	1272	100	1850	2,6	1518				
10	12	46	855	65	1497	100	1862	2,0	1611				
	10	46	855	65	1497	100	1862	2,0	1611				
	8	50	919	65	1771	100	1930	2,0	1748				
	6	50	919	65	1771	100	1930	2,0	1748				

mas.

Sin embargo no se nota un aumento muy significativo de las estabilidades (secas) luego de peso constante, frente a las estabilidades promedio que poseían mezclas semejantes con menor contenido de agua de mezclado. Características similares se observan en las determinaciones de estabilidad luego de absorción, en las cuales las mejores homogeneidades de las mezclas debidas al aumento del agua de mezclado no se traduce en incrementos notables en las estabilidades.

Tampoco se observa una mejora sustancial de las características de impermeabilidad, ya que la absorción se mantiene en general dentro de los valores obtenidos en la primera parte del trabajo, con menores contenidos de humedad de mezclado.

Cómo conclusión luego del análisis de los valores de la tabla VIII surge que mezclas más homogéneas, logradas con aumento del agua de mezclado no mejoran sus características de estabilidad e impermeabilidad en forma muy marcada, frente a las que poseían las mezclas A, B, C, D y E respectivas de la tabla V.

En la práctica, por el contrario, un aumento de la humedad de las mezclas complica el proceso constructivo y produce demoras para el ingreso del equipo de compactación, no justificables por las pequeñas mejoras de características que se obtienen.

Por lo tanto, la mezcla que resulta más aceptable desde el punto de vista técnico-económico, sigue siendo la elaborada con 10 % de emulsión EBL₂ y 12 % de humedad de mezclado referida al peso del suelo seco, con la cual pueden obtenerse (compactándola también con el 12 % de humedad) estabilidades del orden de 1 550 kilogramos y absorciones de 3,8 %.

Se estima que mezclas de este tipo pueden llegar a constituir sub-bases y bases aceptables, para pavimentos locales económicos, sustituyendo a otras estructuras más costosas y pudiendo competir ventajosamente con el suelo-cemento, desde el punto de vista técnico, ya que al ser de naturaleza bituminosa como la carpeta, contribuye a brindar la flexibilidad necesaria que debe tener este tipo de pavimento. Al mismo tiempo evita un problema que desde antaño se produce en las

bases de suelo-cemento, que es el de la fisuración por contracción de fragüe, problema que si bien es principalmente estético ya que las fisuras se transmiten a la carpeta, puede llegar a tornarse grave si el suelo-cemento ha sido mal dosificado.

SUELO-CEMENTO

A los efectos de realizar una comparación económica de mezclas de los suelos estudiados con emulsión bituminosa y con cemento, se ha procedido a dosificar también mezclas de suelo-cemento obteniéndose los resultados que se informan a continuación:

Compactación Proctor Normal

P.U.V.S. (kg/dm ³)	1,732					
Humedad óptima (%)	15,2					
Curado en	Cámara húmeda (7 días)			Cámara húmeda (7 días)		
	1 hora sumergida en agua					
Cemento (%)	6	8	10	6	8	10
Resistencia a						
compresión	12,8	17,0	21,5	11,4	14,3	18,5
(kg/cm ²)						

Compactación Proctor reforzado (35 golpes)

P.U.V.S. (kg/dm ³)	1,773
Humedad óptima (%)	14,5

Curado en:	Cámara húmeda (7 días)			Cámara húmeda (7 días) 1 hora sumergida en agua		
	6	8	10	6	8	10
Cemento (%)	6	8	10	6	8	10
Resistencia a compresión (kg/cm ²)	12,8	18,8	20,8	11,9	16,9	19,6

POSIBLES SOLUCIONES DE PAVIMENTO

Comparando los dos tipos de estructuras para base estudiadas, es decir la de suelo-cemento y la de suelo-emulsión, pueden hacerse las siguientes consideraciones para arribar a las posibles soluciones de pavimento para zonas próximas a la localidad de 25 de Mayo.

Considerando un valor portante promedio de la subrasante natural de Valor Soporte 15; y además las condiciones de tránsito, tipo de vehículos, clima, etc. y adoptando una carga por rueda de 5,450 kilogramos, surge de acuerdo con las curvas de California, un espesor combinado de base y carpeta de 23 centímetros.

Para el suelo-cemento se establece un perfil constituido por 18 centímetros de suelo cemento (con el 10 % de cemento) y 5 cm de carpeta asfáltica (concreto asfáltico en frío).

Para el suelo-emulsión adoptamos una sub-base de 10 centímetros de espesor con el 9 % de emulsión EBL₂, y una base también de 10 cm con el 11 % de emulsión EBL₂ (ambas con el 12 % de humedad de mezclado) sobre esta última una carpeta de concreto asfáltico en frío de 5 cm de espesor.

Desde el punto de vista del análisis de precios para la ejecución de 1 metro cuadrado de pavimento de 10 metros de ancho, en ambos casos consideramos que los perfiles propuestos se complementan con un cordón cuneta de cemento portland (0,125 m³/m

Considerando material, mano de obra y maquinarias, se comprueba que el costo del suelo-emulsión es aproximadamente,

un 6 % menor que el suelo-cemento.

CONCLUSION

Vemos en definitiva que existe una leve ventaja económica en favor de la base de suelo-emulsión respecto a la de suelo cemento; si a ello agregamos la conveniencia técnica que significa eliminar el fisuramiento por contracción, tan característico en el suelo-cemento, y una mayor compatibilidad de esta base bituminosa y flexible con la carpeta asfáltica, se deduce que resulta factible y ventajosa la ejecución de la infraestructura del pavimento con suelo natural del lugar y emulsión bituminosa superestable tipo EBL₂.