

“RP”

Método experimental para diseño de mezclas asfálticas abiertas

Ing. Héctor Rioja
Laboratorio Nacional de Vialidad
Chile

RESUMEN

Este trabajo describe el ensayo "RP", creado en Chile, que en forma resumida consiste en la medición del esfuerzo a la penetración a temperatura y velocidad controlada que presentan probetas de mezcla asfáltica abierta fabricadas con distintos contenidos de ligante, considerando que la mezcla óptima, es aquella que presenta el valor máximo de esfuerzo a la penetración. La influencia de la temperatura, características de los áridos y tipo de ligante escapan al alcance de este estudio. El método "RP" es de tipo paramétrico y de carácter empírico, encontrándose actualmente en una etapa exploratoria.

INTRODUCCIÓN

De acuerdo a las especificaciones chilenas, las mezclas asfálticas abiertas son aquellas cuyo porcentaje de aire (Va), es mayor a un 15%. Comúnmente, son usadas como capa de alivio de fisuras, ya que este tipo de mezclas impide o atenúa la inducción de grietas desde un pavimento antiguo a otro nuevo. La estructura típica para este tipo de aplicación es: pavimento agrietado, mezcla abierta, capa de ruedo. El procedimiento habitual para diseñar este tipo de mezclas es comúnmente conocido como "Método del Espesor de Película Asfáltica", que en Chile se encuentra reglamentado según la Especificación LNV 17, que es una adaptación de un antiguo método de diseño norteamericano (R. W. Smith et al, 1978). El procedimiento de diseño usado en Chile tiene algunas deficiencias, como por ejemplo: extrema sensibilidad en el cálculo del contenido de asfalto mínimo necesario para cumplir con el espesor de película mínimo y que habitualmente es de 25 micrones; originalmente el valor era de 30 micrones. Cambios de tan sólo un punto porcentual en el tamiz N° 200, pueden hacer variar el contenido de asfalto desde un 4,5% a un

6,2% (Rioja, 2000). Además, este método no determina propiedades mecánicas de la mezcla que permitan estimar cuáles serían sus verdaderas capacidades frente a cargas de tránsito. Respecto de esta última apreciación, estudios españoles generaron el ya conocido Método Cantabro que permite medir propiedades mecánicas de mezclas abiertas mediante un método científico. Bajo esta perspectiva la actual metodología de diseño usado en Chile es más bien una receta con recomendaciones y tanteos empíricos. Por esta razón, se procedió a idear una experiencia de laboratorio con la finalidad de crear un

ensayo basado en consideraciones impuestas, tales como: simplicidad, bajo costo y rapidez, que pudiese determinar la cantidad óptima de ligante para fabricación de una mezcla asfáltica Open Graded con las mejores características de funcionamiento. Considerando el conocimiento, la experiencia y pruebas previas, se creó el ensayo que ha sido denominado "RP" para el diseño de mezclas asfálticas abiertas. Es importante destacar que a pesar de que el método "RP" ha mostrado excelente correlación con una obra en particular, no se ha probado en forma más general, por tanto aún es

TABLA I
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS ÁRIDOS DEL POZO JUNCAL

Característica	Unidad	Materia 1 N° 1	Materia 1 N° 2	Mezcla de Áridos: 60 % Mat 1 - 40 % Mat 2	Especif. LNV
Densidad Real Seca	Kg/m ³	2711	2702	2707	68 y 69
Densidad Neta	Kg/m ³	2771	2772	2766	68 y 69
Densidad Aparente	Kg/m ³	1382	1364	-	67
Densidad Efectiva	Kg/m ³	-	-	2716	12
Absorción de Agua	%	0,8	0,9	-	68 y 69
Partíc. Chancadas	%	97	97	97	3
Partículas Lajeadas	%	4	3	5	3
Índice de Plasticidad		NP	NP	NP	90
Desg. De los Ángeles	%	-	-	20	75
Desint. por Sulfato	%	-	-	5,4	74
Sales Sol. Totales	%	-	-	0,046	8
Equival. de Arena	%	-	-	64,8	71

TABLA II
CARACTERÍSTICAS DEL LIGANTE

Ensayo	Unidad	Valor	Especificación
Penetración (25 °C)	0,1 [mm]	66	LNV 34
Punto de Inflamación	°C	235	LNV 36
Pto. de ablandamiento	°C	68	LNV 48
Ductilidad a 25 °C	[cm]	138	LNV 35
Ductilidad a 5 °C	[cm]	52	LNV 35
Recup. Elástica a 13 °C	%	85	DIN 52013
Índice de Penetración		4,1	
Índice de Frass	°C	-19	NLT 182

prematureo juzgar cuál es su verdadero alcance y utilidad para el diseño de mezclas del tipo Open-Graded. También, no es menos cierto que los resultados obtenidos hasta ahora revelan que este método no está limitado sólo a mezclas abiertas de base, pues también puede usarse para el diseño de mezclas abiertas de superficie.

MEZCLAS ABIERTAS COMO CAPA DE ALIVIO DE FISURAS.

La experiencia chilena respecto del comportamiento de las mezclas abiertas como capa de alivio de fisuras, ha sido exitosa existiendo casos de pavimentos con tránsito pesado en una de las principales rutas de acceso a la capital, en los cuales un

índice inicial de 1,4 al cabo de 14 años de uso se ha aumentado a 1,6. Una experiencia más reciente es la repavimentación de la ruta 60 Ch. en el sector Juncal - Portillo Túnel Cristo Redentor con un TMDA cercano a 1300. Este camino es el acceso al paso fronterizo Los Libertadores y es el principal corredor de integración entre Chile y Argentina. Otras obras que han hecho uso de esta técnica de repavimentación son la rutas concesionadas "Santiago - Los Vilos", "Santiago - Talca" y "Los Vilos - La Serena", solo por mencionar algunas. Muchas veces por desconocimiento de la técnica de diseño de este tipo de mezclas, las empresas constructoras se ven enfrentadas a problemas de trabajabilidad y colocación en terreno. Con frecuencia también, y en forma errada reducen los contenidos de asfalto ante con objeto de evitar problemas de segregación y puesta en obra.

EL ORIGEN DEL MÉTODO "RP"

En Enero de 1998 se inicia la colocación de una mezcla abierta que actuaría como capa para alivio de fisuras en la obra "Juncal - Portillo - Túnel Cristo Redentor". El método inicialmente utilizado para el diseño de esta mezcla fue el de espesor de película. De acuerdo a este método, el contenido de asfalto óptimo fue 2,7% de asfalto referido al agregado seco determinado según LNV-17. Por otro lado, debido al bajo valor de área superficial de los áridos (4,92 ft²/lb) el contenido de asfalto mínimo para cumplir con la especificación de esta obra (25 [micrones]) fue sólo 2,5 % de asfalto ref.a.s. Las pruebas de terreno preliminares de esta mezcla fabricadas con un contenido de asfalto de 2,7 %, mostraron problemas de cohesión de la mezcla (Rioja, 2000). Por esta razón la empresa constructora

procedió a incrementar el contenido de ligante determinando empíricamente que con un porcentaje de bitumen de 3,3 % r.a.s., la mezcla mostraba mejor comportamiento de fabricación, colocación y particularmente de cohesión frente al tránsito. Las mezclas asfálticas abiertas, eran ya en esa época motivo de investigaciones realizadas por el Laboratorio Nacional de Vialidad de Chile y la oportunidad ofrecida por el proyecto "Portillo" fue aprovechada tomando

grandes cantidades de muestras de ligante y de los distintos agregados usados en su construcción. Paralelamente, se recopiló gran cantidad de información referente a la calidad de la mezcla utilizada. Una vez finalizada y puesta en servicio la obra "Portillo", se realizaron distintas pruebas de laboratorio con la finalidad de encontrar algún procedimiento que pudiese medir propiedades mecánicas del aglomerado asfáltico. Después de realizados gran cantidad de estudios, se encontró un

TABLA III:
CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA DE MATERIALES

Abertura US	Tamiz [mm]	Material 1	Material 2	Mezcla	Banda Especificada
1"	25				
3/4"	20	100		100	100
1/2"	12.5	44	100	66	60 - 80
3/8"	10	13	63	33	-
Nº4	5	2	3	2	2 - 35
Nº8	2.5	2	2	2	-
Nº10	2	2	2	2	0 - 6
Nº16	1.25	2	1	2	-
Nº30	0.63	1	1	1	-
Nº50	0.315	1	1	1	-
Nº100	0.16	1	1	1	-
Nº200	0.08	1	1	1	0 - 2

TABLA IV
ESFUERZOS DE PENETRACIÓN PARA MEZCLAS MOG-1RP

Código de Mezcla	Pb [%]	Nº de Probeta	Densidad [Kg/m ³]	Carga Máx. [N]	Esf. Máx. [Mpa]
MOG 1 RP	2.5	1	1737	1459.3	0.2898
		2	1730	1135.3	0.2255
		3	1715	677.8	0.1346
	3.0	1	1737	1688.0	0.3352
		2	1735	1535.5	0.3050
		3	1733	1649.9	0.3277
	3.5	1	1746	1840.5	0.3655
		2	1706	1668.9	0.3314
		3	1773	1668.9	0.3314
	4.0	1	1735	1611.7	0.3201
		2	1755	1135.2	0.2179
		3	1737	1116.2	0.2217

TABLA V
ESFUERZOS A LA PENETRACIÓN MEZCLAS MOG-2RP

Código de Mezcla	Pb [%]	Nº de Probeta	Densidad [Kg/m ³]	Carga Máx. [N]	Esf. Máx. [Mpa]
MOG-2 RP	2.5	1	1752	1259	0.2501
		2	1742	1545	0.3069
		3	1753	1221	0.2425
		4	1732	1107	0.2198
		5	1739	2251	0.4471
	3.0	1	1745	1469	0.2918
		2	1728	1431	0.2842
		3	1717	1755	0.3486
		4	1706	1698	0.3372
		5	1740	2423	0.4812
	3.5	1	1725	1736	0.3448
		2	1723	1698	0.3372
		3	1749	1946	0.3865
		4	1749	1832	0.3638
		5	1705	1927	0.3827
	4.0	1	1728	1221	0.2425
		2	1718	1698	0.3372
		3	1703	1336	0.2652
		4	1698	1794	0.3562
		5	1769	1660	0.3297

método de ensayo que aplicado a los materiales provenientes del proyecto "Portillo", arrojaban como resultado un contenido óptimo de asfalto igual a 3,4% referido al agregado seco, valor coincidente con el contenido de ligante usado en faena y que había mostrado mejor comportamiento mecánico. A esta forma de ensayo se denominó "RP" que en forma resumida consiste en la medición del esfuerzo a la penetración a temperatura y velocidad controlada que presentan probetas de mezcla asfáltica abierta, fabricadas de acuerdo al método

Marshall con 45 golpes por cara y distintos contenidos de ligante, considerando que la mezcla óptima es aquella que presenta el valor máximo de esfuerzo a la penetración. Debe destacarse que este procedimiento de diseño es paramétrico y empírico. Esta metodología de ensayo fue utilizada posteriormente para un diseño de mezcla drenante usada en la zona Sur del país, que previamente se había dosificado según el método Cantabro. El resultado obtenido con los dos métodos fue el mismo. El método "RP"

debe su nombre a las iniciales de los apellidos de los creadores del método Héctor Rioja V. y su colaborador Gabriel Palma P., ambos Ingenieros especialistas en control de calidad de obras viales.

DESARROLLO DEL MÉTODO

Para estudiar el comportamiento mecánico de las mezclas abiertas y desarrollar un nuevo método de diseño, se usaron los materiales provenientes de la obra "Juncal - Portillo - Túnel Cristo Redentor". Los agregados pétreos fueron muestreados de los acopios del terreno. A su vez, el ligante asfáltico fue muestreado directamente de los estanques de la planta asfáltica usada para la fabricación de la mezcla. Los áridos usados en la ruta 60 C¹ fueron extraídos del pozo Juncal. Las características físicas e hídricas de los agregados determinados por el área de asfalto del Laboratorio Nacional de Vialidad se resumen en la **tabla I**.

El ligante usado en la obra "Portillo" fue un asfalto modificado elastomérico, cuyas características fueron informadas por el proveedor y se resumen en la **tabla II**.

La banda especificada en el proyecto fue la IX-20 (modificada) y las granulometrías de los materiales 1 y 2 se muestran en la **tabla III**.

Proporción de la Mezcla de Materiales:

Material 1 = 60 [%]
Material 2 = 40 [%]

El contenido de asfalto determinado según la especificación LNV 17 fue un 2,7% r.a.s., valor que cumple con las exigencias del proyecto.

Sin embargo, en la práctica este contenido de bitumen resultó insuficiente. Por otra parte, tal como están establecidas las actuales especificaciones, el rango de soluciones es amplio pues el contenido de ligante se controla considerando una tolerancia de -0.3 +1.0. Además, no se establecen parámetros de cohesión o resistencia, que son los que gobiernan el comportamiento de las mezclas abiertas bajo tránsito; por lo tanto, la elección del contenido de ligante que finalmente se usará en terreno, se hace bajo criterios no uniformados.

TABLA VI
CARACTERÍSTICAS DE ÁRIDOS

Abertura US	Tamiz [mm]	Gravilla 3/4"	Integral 1/2"
1"	25		
3/4"	20	100	
1/2"	12.5	73	
3/8"	10	33	100
Nº4	5	3	94
Nº8	2.5	2	61
Nº10	2	0	45
Nº16	1.25	0	34
Nº30	0.63	0	25
Nº50	0.315	0	17
Nº100	0.16	0	12
Nº200	0.08	0	9

TABLA VII
GRANULOMETRÍAS DE POLVO DE ROCA

Abertura US	Tamiz [mm]	Material 1	Material 2	Material 3
1"	25			
3/4"	20			
1/2"	12.5	100	100	100
3/8"	10	94	81	57
Nº4	5	52	26	13
Nº8	2.5	33	18	8
Nº16	1.25	21	--	--
Nº30	0.63	15	8	4
Nº50	0.315	11	--	--
Nº100	0.16	7	--	--
Nº200	0.08	5	3	1

Exigencias del Proyecto y Resultados

Parámetro	Resultado	Especificación
Espesor de película [l]	27	> 25 [l]
Exceso de asfalto [%]	0	< 0.2 [%]
Cubrimiento [%]	100	90-100
Espesor de Cubrimiento	Medio	Medio a Grueso

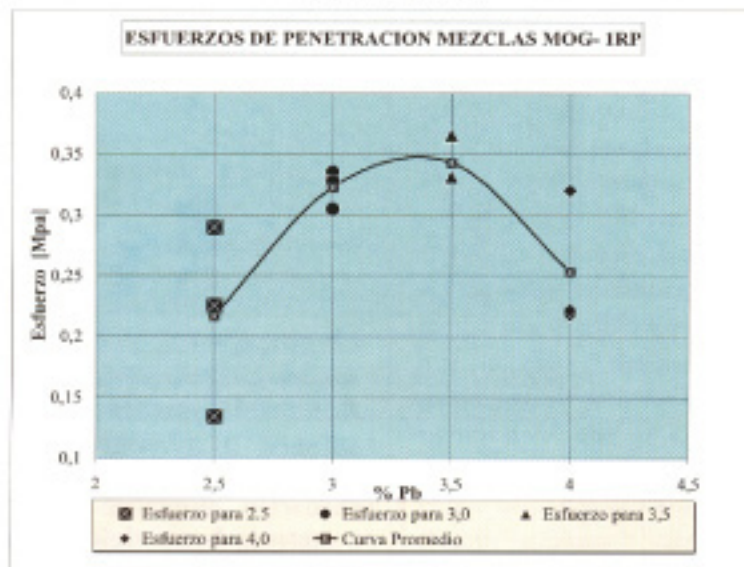
TABLA IX
MEZCLA DE MATERIALES Y ESTIMACIÓN DE VACÍOS DE AIRE

Mezcla N°	Grav. 3/4" [%]	Int. 1/2" [%]	Polvo de Roca		Va. Esperado [%]
			[%]	N°	
1	48	52	0	--	17-22
2	50	0	50	1	22-25
3	50		50	2	28-31
4	50		50	3	31-34

TABLA VIII
CARACTERÍSTICAS DEL LIGANTE

Ensayo	Unidad	Valor	Especificación
Penetración (25 °C)	0.1[mm]	66	LNV 34
Punto de Inflamación	°C	250	LNV 36
Pto. de ablandamiento	°C	68	LNV 48
Ductilidad a 25 °C	[cm]	150	LNV 35
Solubilidad en tricloroetileno	[%]	99	
Ensayo de la mancha	[%]	-20	
Índice de Pfeiffer (IP)		0.00	
DESPUES DE PELÍCULA DELGADA ROTATORIA			
Pérdida por calentamiento	[%]	0.17	
% de Penetración original	[%]	68	
Ductilidad a 25 °C	[cm]	150	
Índice de durabilidad (ID)	--	2.7	

GRÁFICO No 1



NUEVOS CRITERIOS DE DISEÑO

Basados en antiguas especificaciones Sudafricanas (National Institute of South Africa) y utilizando la mezcla de materiales de la **Tabla III**, se fabricaron probetas del tipo Marshall aplicando 45 golpes por cara con mezcla asfáltica abierta, considerando que la temperatura de mezclado debía ser la necesaria para obtener una viscosidad en el ligante de aproximadamente 500 cst y en la compactación suficiente para producir una viscosidad de 1500 cst. Se confeccionaron 3 probetas por cada contenido de bitumen usando los para la

siguientes valores: 2.5 - 3.0 - 3.5 - 4.0 % referido al agregado seco. El criterio para la elección de este rango de valores fue el valor de terreno, es decir, 3.3 %. Las probetas fueron dejadas a una temperatura de 20 °C para que se enfriaran y posteriormente se colocaron en forma vertical en una prensa Marshall especial donde a una velocidad de 1mm/mín fueron penetradas por un pistón de acero de 50 mm de diámetro y un largo de 105 mm que previamente se había adaptado al anillo de la prensa. Los resultados obtenidos se resumen en la

Tabla IV donde se incluye la codificación utilizada durante la investigación y que se explica a continuación:



Por definición del método, el cálculo de esfuerzo se realiza considerando el valor medio entre el área del pistón y el área de la base de la probeta. El análisis de los resultados de esfuerzos de penetración de las mezclas del tipo MOG - 1 RP se muestra en el **Gráfico N°1**. En él podemos apreciar que los valores de esfuerzo muestran una resistencia máxima que luego disminuye en forma gradual.

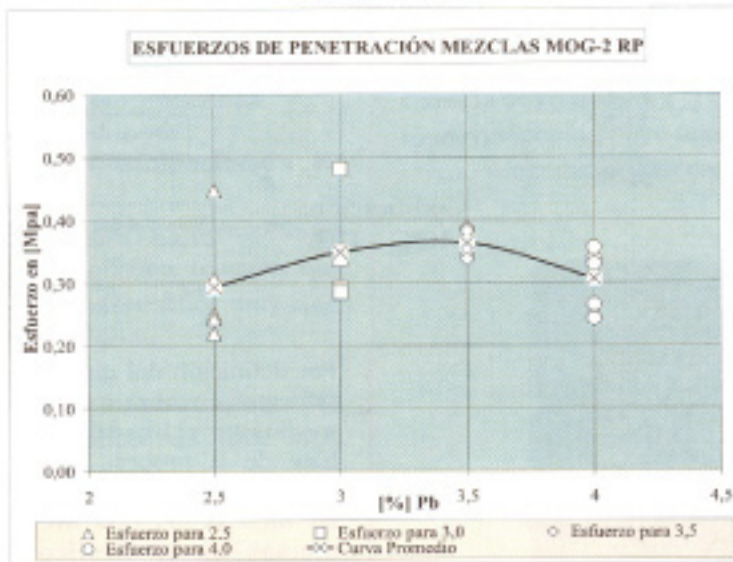
La curva de esfuerzos máximos para las mezclas MOG- 1RP, presentan máxima resistencia a la penetración para un contenido de asfalto de 3.4 %. Este valor se asemeja al valor usado en obra, que como ya se dijo fue de un 3,3 %. Por tal motivo, y considerando que estos resultados podrían ser sólo una coincidencia se procedió a repetir el ensayo cambiando la velocidad de penetración. Los resultados obtenidos se muestran en la **Tabla V y Gráfico N°2**.

La forma de la curva promedio de la gráfica esfuerzo v/s contenido de ligante para las mezclas MOG-2 RP, muestra una similitud con la curva promedio de las mezclas MOG-1 RP pero con una disminución de la convexidad. El esfuerzo máximo de las mezclas MOG-2 RP se alcanza cuando las probetas ensayadas tienen un contenido de asfalto de 3,4% valor idéntico al obtenido ensayando las mezclas MOG-1 RP. Los resultados obtenidos aplicando el método "RP" a los materiales usados en la obra "Portillo", alentaron la posibilidad de aplicar esta metodología a materiales distintos a los ya usados. Para este objetivo, se recurrió al empleo de áridos provenientes de la zona central del país. El propósito de esta nueva experiencia fue estudiar las siguientes relaciones:

Influencia de la granulometría en la determinación del contenido de ligante óptimo obtenido mediante el método "RP"

Relación del esfuerzo "RP" versus

GRÁFICO No 2



asfalto óptimo para cada una de estas mezclas de materiales se obtienen los resultados mostrados en los **gráficos 3, 4, 5 y 6**.

La relación entre el esfuerzo máximo a la penetración mostrado por estas mezclas es directamente proporcional al contenido de ligante óptimo determinado de acuerdo al ensayo "RP". Esta correspondencia se muestra en el **gráfico N°8**, donde además se puede apreciar la rápida disminución del esfuerzo cuando disminuye la cantidad de ligante óptimo de la mezcla.

El **gráfico 9**, relaciona el esfuerzo máximo a la penetración alcanzado por las mezclas con el porcentaje de aire de las mismas, de acuerdo a lo esperado la resistencia a la

porcentaje de vacíos de aire.

Relación del esfuerzo "RP" versus porcentaje de ligante óptimo.

La primera etapa de este estudio consistió en la confección de cuatro mezclas abiertas con distintos porcentajes de vacíos. Para este efecto, se trabajó con tres materiales cuyas granulometrías se muestran en la **Tabla VI y Tabla VII**.

El ligante utilizado fue un cemento asfáltico 60/80 tradicional; las características de este asfalto se muestran en la **Tabla VIII**.

Los materiales fueron mezclados de acuerdo a las proporciones indicadas en la **tabla IX**, donde es posible ver el porcentaje de huecos esperados en la mezcla.

Usando el método "RP" para determinar el porcentaje de

GRÁFICO No 3

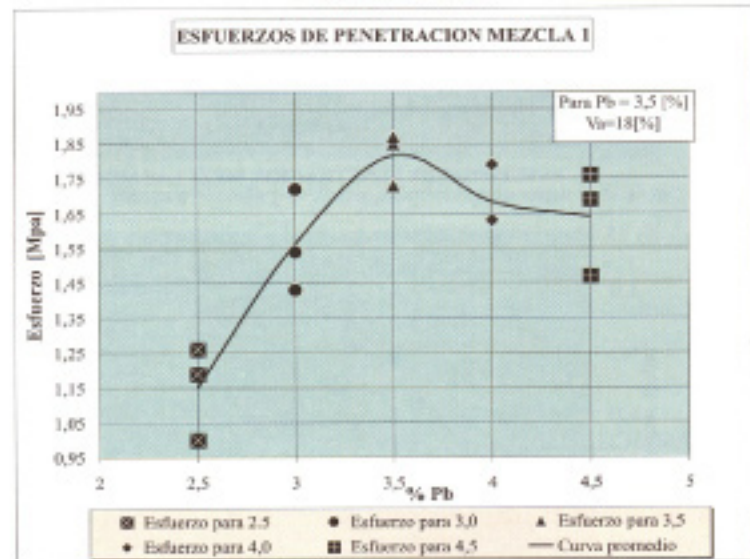
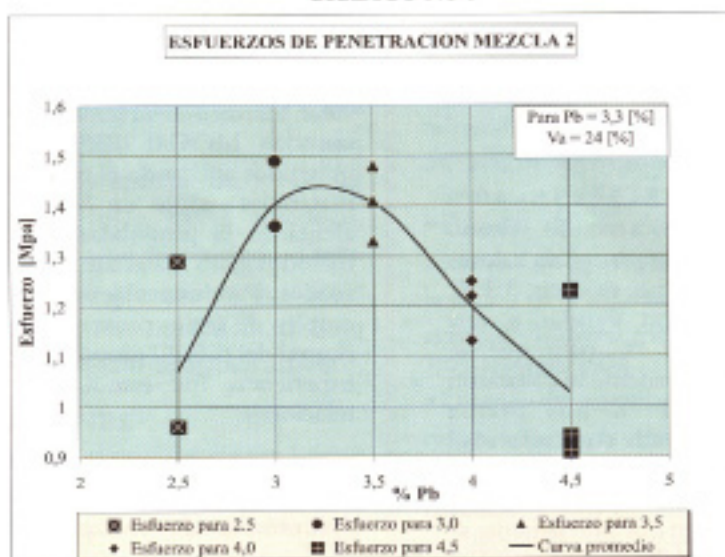


GRÁFICO No 4

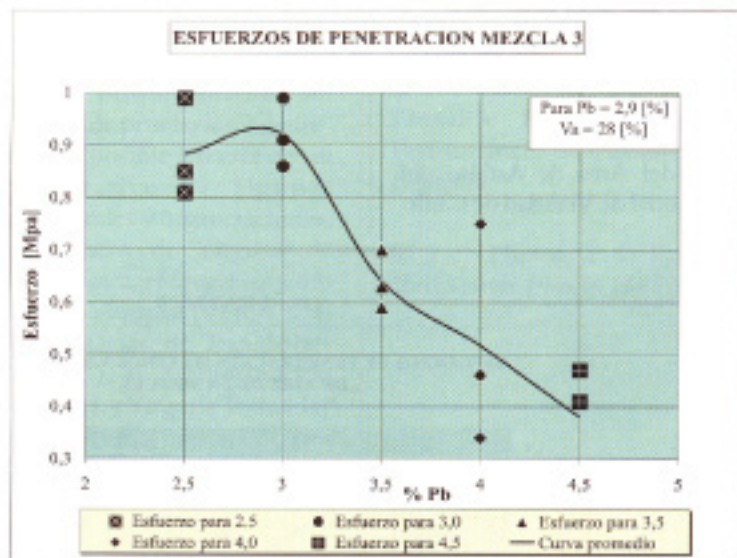


penetración disminuye a medida que aumentan los huecos de las mismas

COMENTARIOS GENERALES

El método "RP" permite determinar en forma práctica algunas propiedades mecánicas de una mezcla abierta. Futuras especificaciones basadas en este método de ensayo deberían fijar valores mínimos de esfuerzo y rango de vacíos de aire óptimos, para tener el mejor desempeño de este tipo de aglomerado asfáltico. El método "RP" se considera experimental, porque las pruebas realizadas con esta metodología sólo han tenido como meta explorar las fortalezas y posibles limitaciones o incoherencias de este procedimiento de ensayo. De acuerdo a esta última apreciación el uso de técnicas estadísticas a

GRÁFICO No 5



variable velocidad de penetración es un parámetro relevante en la convexidad de la curva de esfuerzo máximo versus contenido de ligante.

- El aumento de la velocidad de penetración desde 1mm/mín a 2 mm/mín genera una disminución de la convexidad de la curva de esfuerzo de penetración. Sin embargo, el máximo esfuerzo se obtiene con un contenido de ligante idéntico en ambos casos.

- La resistencia a la penetración que presenta una mezcla abierta es inversamente proporcional al porcentaje de aire de la misma.

- Para una misma calidad de agregados, el

traves de la aplicación de "Diseño de Experimentos" permitiría dar respaldo matemático a esta reciente metodología y de esta forma descartar o incorporar el método "RP" como un procedimiento de diseño válido. Por otra parte, los resultados obtenidos al aplicar esta técnica de diseño a una mezcla abierta de superficie (mezcla drenante colocada en la zona sur de Chile), mostraron ser idénticos a los arrojados por el método Cantabro con la ventaja de simplicidad y rapidez que ofrece el método "RP".

CONCLUSIONES

- El uso de una prensa de tipo Marshall o semejante capaz de alcanzar una velocidad de 1mm/mín, permite realizar un tipo de ensayo especial que se ha denominado "RP".

En los materiales analizados, los resultados indican que la

GRÁFICO No 6

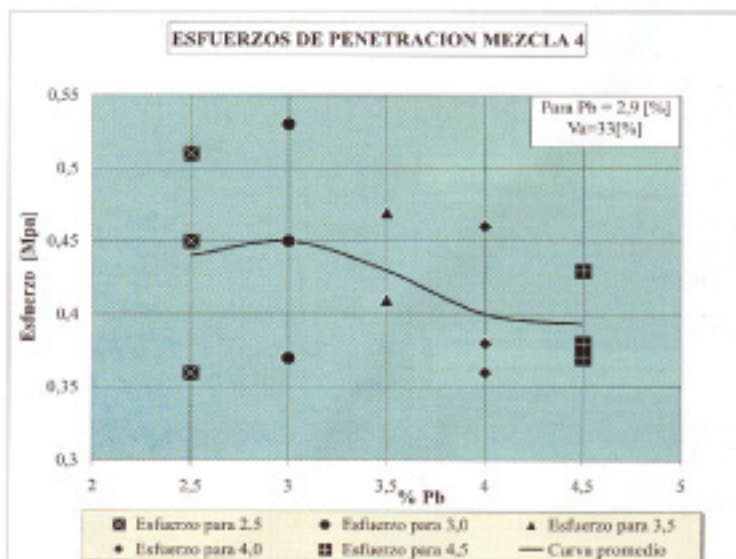
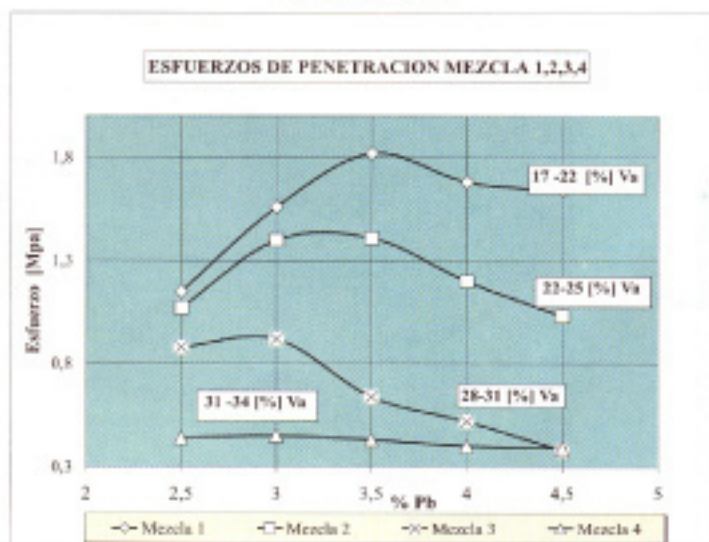


GRÁFICO No 7



- porcentaje de ligante óptimo determinado según el método "RP", es inversamente proporcional al porcentaje de huecos de la mezcla. Esta conclusión concuerda con lo esperado teóricamente.

- Para una misma calidad de agregados el contenido de ligante óptimo determinado según el método "RP", es directamente proporcional al esfuerzo máximo alcanzado por la mezcla.

REFERENCIAS

National Institute of South Africa, Technical Recommendations for Highways. February 1978/ South Africa.

Rioja, H., "Mezclas Asfálticas Open-Graded en Chile", Revista Obras Públicas, año 2000, Enero-Febrero-Marzo, N°25,

p.p. 10-17.

Smith, R, "Design of Open-Graded Asphalt Friction Courses", año 1978
Report N° FHWA-RD-74-2

AGRADECIMIENTOS

- Sr. Pedro Herrera P.

- Sr. Rodrigo Fortunato Z.

- Sra. Viviana Morales L.

- Laboratoristas del Área de Asfalto del
Laboratorio Nacional de Vialidad de Chile

GRÁFICO No 8

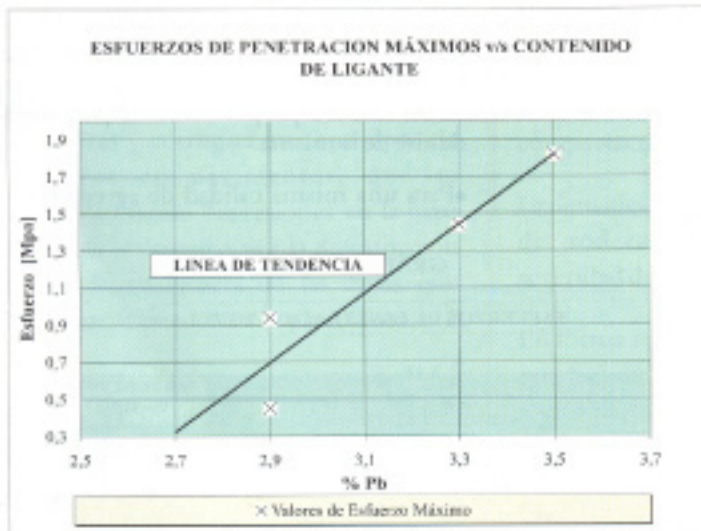
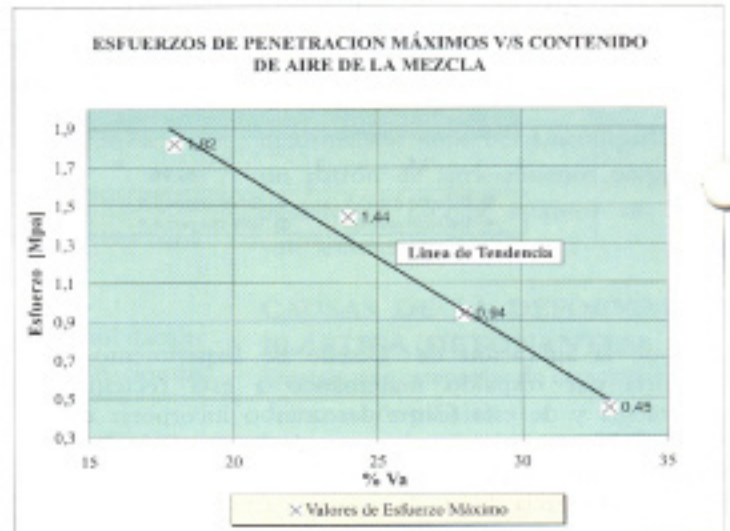


GRÁFICO No 9



Acabado final en capa de mezcla asfáltica de matriz de agregado grueso



Colocación de capa de matriz de agregado grueso