



RECICLADO IN SITU DE PAVIMENTOS EN FRIO (CON CEMENTO O EMULSIONES ASFÁLTICAS), A DIFERENTES PROFUNDIDADES Y PARA DIVERSOS CAMPOS DE APLICACION

INTRODUCCIÓN A RECICLADO DE PAVIMENTOS EN FRIO

Realizando una *adaptación* a la definición de **recuperación a profundidad total** de la **Asphalt Recycling and Reclaiming Association (ARRA)**, podemos señalar que los reciclados de pavimentos son ... **técnicas de recuperación en donde se tritura, pulveriza y mezcla la sección del pavimento que es completamente flexible, con la posible incorporación de los materiales subyacentes y material de aporte virgen, resultando una capa de base estabilizada con el agregado de aditivos que permitan mejorar la calidad de la capa ...**

El reciclado en frío de pavimentos puede entonces realizarse a distintas profundidades y con distintos materiales ligantes. En el LEMaC hemos decidido, según las características de las técnicas utilizadas en el reciclado in situ de pavimentos en frío a diferentes profundidades, dividir su estudio en tres grupos diferenciables:

- Reciclado profundo de pavimentos con cemento
- Reciclado superficial de pavimentos con emulsión asfáltica
- Reciclado profundo de pavimentos con emulsión asfáltica

Se ha realizado esta división entre los reciclados con emulsión superficiales (solo utilización de capas asfálticas existentes y espesores de 6 a 12 cm) y profundos (reclamado de capas asfálticas y se base con espesores de 15 a 30 cm) debido a que consideramos que difieren significativamente en su comportamiento y por lo tanto su metodología de diseño no puede ser la misma.

Según nuestro entender el reciclado superficial se comporta de manera similar a un concreto asfáltico en frío y por lo tanto debe analizarse mediante el Marshall Modificado SF, que en experiencias realizadas por el LEMaC ha dado muy buenos resultados. Este método analiza características mecánicas de la mezcla, comparables con las de otras mezclas asfálticas de similares campos de aplicación.

Por otro lado el comportamiento del reciclado profundo con emulsión, por lo menos durante un importante lapso inicial de tiempo, se comporta, al igual que el reciclado profundo con cemento, como una base estabilizada (como podría ser un sueloarenaemulsión o un suelo cemento) y por lo tanto nos interesa su resistencia a la compresión.

Es común clasificar los reciclados en frío según la tabla del laboratorio de Ponts et Cahussées:

RECICLADO	LIGANTE	MAT. A RECICLAR
CLASE I	EMULSION DE ASFALTO BLANDO	3 a 4 cm de de capa asfáltica y capa de base
CLASE II	EMULSION DE ASFALTO BLANDO O REGENERANTE	4 a 8 cm de capa asf y capa de base
CLASE III	EMULSION DE ASFALTO REGENERANTE	solo capas asfálticas
CLASE IV	CONGLOMERANTE HIDRAULICO O MIXTO	toda la capa asfáltica y gran parte de la base

Esta nos parece una buena forma de diferenciar los diversos tipos de reciclados, ya que además es aceptada por la generalidad de la bibliografía consultada en el estudio. Uniéndonos a esta clasificación, a los efectos del siguiente análisis, para el LEMaC será:

- Reciclado profundo con emulsión (clase I)
- Reciclado superficial con emulsión (clase III)
- Reciclado profundo con cemento (clase IV)

El reciclado clase II es un producto intermedio entre el material que se comporta claramente como un estabilizado (clase I) y el que se asemeja a un concreto asfáltico (clase III), por lo tanto su comportamiento podrá tender más a uno o a otro caso. El proyectista deberá adoptar, fundamentado en su criterio, el método de diseño que responda mejor a las características puntuales del caso analizado en cuestión.

Por último diremos que el reciclado de ligante mixto a que se hace referencia en la clase IV no será analizado y que en caso de agregarse a un estabilizado profundo con emulsión contenidos de cemento o cal, solo se lo hará para corregir los finos, por lo tanto se tratará de un reciclado clase I o II sin más aclaraciones.

RECICLADOS EN FRIO SEGUN EL LEMaC





CONSIDERACIONES GENERALES

Un aspecto en común afecta a cualquiera sea el tipo de estos reciclados. Este es la obtención del material disgregado de la carpeta asfáltica. La forma más conveniente es la realización de roturas (fresado, reclamado, otros) de prueba con la maquinaria que será utilizada en la ejecución del reciclado, en cada uno de los tramos homogéneos en que se ha dividido la obra. Las tolerancias del material obtenido en un tramo homogéneo para el reciclado in situ serán para nosotros (de manera similar a la OC8/01 española):

RECICLADO CON EMULSION

CARACTERISTICA	UNIDAD	TOLERANCIA
Tamaño máximo		un tamiz de la serie
Mat. Mayor a N° 10	%	6
mat. Menor a N° 10	%	3
mat. Menor a N° 200	%	1,5
Asf. residual	%	0,5
Penet. Asf. residual	0,1 mm	8
Densidad in situ	g/cm ³	0,1

RECICLADO CON CEMENTO

CARACTERISTICAS	UNIDAD	TOLERANCIA
tamaño máximo		0
PT N° 4	%	4
densidad max de proctor modificado	%	3

En caso de no poderse realizar esta rotura previa del pavimento por el volumen de tránsito usuario o alguna otra razón, se podrá utilizar el siguiente método de laboratorio, adaptación del recomendado por Potti, Lara y Mancebo en una de sus publicaciones:

- Tomar trozos representativos del paquete existente, obtenidos de la realización de calicatas hasta la profundidad de reciclado.
- Separar por tamizado en una fracción mayor (F1) y otra menor (F2) a 25 mm.
- Machacar con trituradora de laboratorio la fracción mayor F1.
- Tamizar el machacado por el tamiz de 1" y el N° 4 para obtener dos fracciones 0/5 y 5/25.
- Mezclar 50 kg de la fracción F2 con 6 kg de la fracción 0/5 y 1 kg de la fracción 5/25.



Otro aspecto en común, sobre todo para la utilización de reciclado con emulsión asfáltica, es la recuperación del asfalto del pavimento existente para su valoración. La técnica a utilizarse para esta tarea se recomienda sea la del Rotovapor, especificada en la norma española NLT-353.

El control de compactación de los reciclados de pavimentos flexibles presenta otro inconveniente, ya que no se puede utilizar en la medición de densidad densímetros nucleares. Esto se debe a que los densímetros nucleares, en estos casos, registran invariablemente contenidos de humedad mayores a los reales, dando como resultado densidades secas menores a las reales. Este fenómeno se produce con el método para medir la humedad (neutrones rápidos emitidos por una fuente, frenados o calentados por hidrógeno). El número de neutrones frenados se cuenta utilizando un aparato que no es afectado por neutrones rápidos (como el helio-3) y utilizado como una medida del hidrógeno en el material. Las moléculas de agua, con dos átomos de hidrógeno, son la principal fuente de hidrógeno en un material natural. En todo caso, muchos otros componentes tienen hidrógeno (como el asfalto) y estos hacen que una correlación directa entre el conteo del hidrógeno y el contenido de humedad sea imposible. Los densímetros nucleares pueden calibrarse para tener en cuenta estos componentes, pero si un material reciclado contiene recuperados de pavimentos asfálticos en proporciones variables, y el contenido de asfalto de éste también varía, estas calibraciones no son prácticas. La solución a la problemática expuesta, reside en la determinación de humedades por medio de la extracción de muestras en cada punto en que se determine la densidad y calculando la densidad seca dividiendo la densidad húmeda obtenida con el densímetro por la humedad determinada en estufa.



CLASE I RECICLADO PROFUNDO

CAMPO DE APLICACIÓN

Los reciclados clase I se utilizan en casos donde el envejecimiento de la carpeta es significativo y donde se registran problemas en las bases del pavimento.

PARTICULARIDADES

Estos reciclados se comportan como estabilizados asfálticos por su alto contenido de finos.

En estos se suelen presentar bajas propiedades de resistencia conservada. Esto se soluciona con la adición de cemento o cal en bajas proporciones, sin afectar la resistencia a fatiga de la capa (0,5 a 2 %). Esta adición tiene como finalidad corregir las propiedades de los finos de la mezcla, por lo tanto no debe considerarse a estos como reciclados de ligantes mixto.

Los contenidos habituales de residuo asfáltico para estos reciclados, según el Manual de Reciclado de Wirtgen, pueden rondar:

- | | |
|----------------------------------|-----------|
| - 50 % rap + 50 % piedra partida | 1,5 a 3 % |
| - piedra partida | 2,5 a 4 % |
| - grava natural (IP<10, CBR>30) | 3 a 4,5 % |

En estos se utilizan generalmente emulsiones con cemento base con penetraciones 80/100 o 150/200. Como es fácil observar la proporción del cemento asfáltico de la carpeta existente, se reduce notoriamente con el incremento de la profundidad de capa de base reclamada. En los reciclados clase II es aun útil el analizar las características de estos asfaltos para tender a su rejuvenecimiento. Por su parte en los reciclados clase I, salvo excepciones, puede considerarse al reclamado de la carpeta como una black stone. El criterio del proyectista debe ser el que indique de que manera actuar.

El Full Depth Reclamation Method fija para aptitud del material:

- | | |
|---------------------|--------|
| - Equivalente arena | > 30 % |
| - IP x (PTN°200) | < 72 % |

La apertura al tránsito de la obra solo podrá realizarse cuando se registren humedades en la capa inferiores al 2 %.



METODO DE DISEÑO DE MEZCLAS

Estas mezclas se utilizan en espesores superiores a los 15 cm y poseen contenidos de finos ligeramente plásticos, por lo tanto la técnica de evaluación por compresión del ensayo de inmersión compresión se adapta adecuadamente a su estado real de sollicitación.

Como metodología de dosificación se utilizará:

- Determinación de la granulometría del fresado
- Corrección de la curva por medio de material de aporte hasta ubicarla entre los siguientes límites que son una adaptación propia de las recomendadas por el Ing. Jair en una de sus publicaciones:

TAMIZ	LIM. MIN.	LIM. MAX.
1"	78	100
3/4"	64	94
3/8"	44	78
Nº 4	29	65
Nº 8	20	54
Nº 16	15	45
Nº 40	9	33
Nº 100	5	22
Nº 200	3	15

- Determinación de la densidad seca máxima y humedad óptima por medio del proctor modificado. Tomar la humedad óptima como contenido óptimo de fluidos (utilizar mezcla 50-50 de agua y emulsión asfáltica).
- Determinar un contenido de emulsión estimado en función de los valores habituales recomendados por el Manual de Reciclado de la Wirtgen. O por el método recomendado por el Full Depth Reclamation Method.

$$E = \frac{(0,06 \times A + 0,02 \times B)}{C_e} \times 100 \times F_c$$

$$F_c = \frac{\text{Espesor total reciclado} - \text{Espesor de pavimento reciclado}}{\text{Espesor total reciclado}}$$

E_c = % de emulsión

A = PTNº 4

B = 100 - A

C_e = % de residuo en emulsión



- Moldear 6 probetas de inmersión compresión con carga estática hasta un rechazo de 6 tn (según recomendaciones de Pérez Jiménez) para contenidos de emulsión un punto arriba y otro debajo del calculado.
- Desmoldar las probetas y realizar un curado en estufa a 60 °C durante 72 horas.
- Separar las probetas en dos grupos. Curar las del grupo 1 durante 4 días en ambiente de laboratorio y el grupo 2 en agua durante 4 días a 50 °C.
- Una vez cumplido el plazo introducir las probetas de ambos grupos en baño de agua a 25 °C y someterlas a rotura por compresión con una velocidad de ensayo de 5,08 mm/min.
- Seleccionar el contenido de emulsión que cumpla con los parámetros siguientes, extraídos de la norma española NLT-162:

RECICLADO TIPO I

CATEGORIA DE TRANSITO	VALORES MIN DE RESIST A COMP		
	EN SECO	HUMEDA	CONSERVADA
200 a 800 pesados por día	1500 kg	1300 kg	75%
50 a 200 pesados por día	1200 kg	1000 kg	60%
menos de 50 pesados por día	900 kg	750 kg	50%

En caso de diseñarse un reciclado clase II para el cual el proyectista considera que tendrá un comportamiento más cercano a los clase I que a los clase III pueden utilizarse los siguientes parámetros de diseño recomendados por la misma norma:

RECICLADO TIPO II

CATEGORIA DE TRANSITO	VALORES MIN DE RESIST A COMP		
	EN SECO	HUMEDA	CONSERVADA
mas de 800 pesados por día	1800 kg	1500 kg	75%
200 a 800 pesados por día	1500 kg	1300 kg	75%
50 a 200 pesados por día	1200 kg	1000 kg	60%
menos de 50 pesados por día	900 kg	750 kg	50%



RECICLADO DE PAVIMENTOS CON EMULSIONES ASFÁLTICAS

CLASE III RECICLADO SUPERFICIAL

CAMPO DE APLICACIÓN

Esta solución tiene su campo de aplicación cuando se determina que el daño existente en el pavimento corresponde a la carpeta asfáltica del mismo y no a las capas de base. Así se decide el reciclado solo de la capa asfáltica y se completa, si fuera necesario, el número estructural requerido con una capa asfáltica superior en caliente, o en caso de no serlo con una capa de desgaste.

El reciclado superficial de un pavimento puede realizarse en planta, ya sea en frío o en caliente. También puede realizarse in situ, el cual es el motivo de este trabajo. La técnica de reciclado in situ implica un nivel de homogeneidad en el material obtenido de la rotura de la carpeta existente. Estos parámetros de homogeneidad se encuentran expuestos al comenzar este trabajo y deben cumplirse tanto en sentido transversal como longitudinal del tramo en estudio.

De acuerdo a la Orden Circular 8/01 sobre el reciclado de pavimentos del Ministerio de Fomento de España, para tránsitos pesados T1 ($800 < \text{TMDA} < 2000$) solo pueden utilizarse mezclas recicladas en frío con emulsión en banquetas si es que se construye sobre éstas una capa de rodadura, o en calzadas cuando se utilicen sobre éstas carpetas de mezclas asfálticas en caliente con un espesor mínimo de 8 cm.

Para tránsito T2 ($200 < \text{TMDA} < 800$) a T4 ($\text{TMDA} < 50$), se podrán utilizar reciclados en frío con emulsión o cemento, siempre y cuando sobre éstas se coloque una capa de rodadura en caliente densa o semidensa.

Si bien esta ordenanza no tiene vigencia en la Argentina, resulta de utilidad a la hora de establecer el tipo de reciclado a efectuarse.

PARTICULARIDADES

Un punto importante en la aplicación de estas mezclas es el de tender a subsanar el envejecimiento registrado por el cemento asfáltico en la carpeta ya colocada. Para establecer como realizar esta corrección es necesario conocer la característica de este cemento asfáltico, por esta razón se establece la recuperación del mismo por medio del Método del Rotovapor, tal cual se expusiera.

Existen diversas recomendaciones para determinar las características del asfalto base de la emulsión, a nuestro criterio una de las



mas acertadas es la utilizada por la Concesionaria Nuevas Rutas. El equipo técnico de ésta sostiene que cementos asfálticos recuperados con viscosidad mayor a 30.000 poises requieren la adición de rejuvenecedores. Con viscosidades de 15.000 a 20.000 poises deben utilizarse en el reciclado emulsiones normales con asfalto base 150/200 (800 a 1000 poises de viscosidad), ubicándose la viscosidad final de la mezcla entre 4.000 a 6.000. Con viscosidad superior a 80.000 tratar el rap como black stone, es decir como un agregado inerte.

Podemos agregar a lo expuesto lo acotado por los autores Santiago, Sánchez e Ibáñez en las memorias de lo actuado en un reciclado de una autopista en Granada. Allí se menciona que lo habitual es encontrar en obras de cierta edad, asfaltos recuperados de 0 a 10 de penetración y que por lo tanto los rejuvenecedores pueden estar en un rango habitual de 250 a 300 de penetración. En obras recientes el asfalto recuperado suele registrar penetraciones de 25 a 35 o superiores solo si se han utilizado asfaltos vírgenes de alta penetración. La acción del rejuvenecedor será la de acercar estos valores a los iniciales.

Para saber que tan envejecido está el asfalto se define:

CRR = Relación de Reactividad Química o parámetro de durabilidad

$$CRR = \frac{N + A1}{P + A2}$$

En un asfalto el CRR tiene que ser lo suficientemente alto para dispersar los asfaltenos, pero no demasiado para evitar su disolución. Los valores adecuados son los comprendidos entre 0,4 y 1,5.

FRACCIÓN	DESCRIPCIÓN	REACT. QUÍMICA	FUNCIÓN PPAL.	GRUPO
Asfaltenos (As)	Prod. De condensación. Mayor peso molecular	baja	agente de estructura	asfaltenos
Bases nitrogenadas (Polares) (N)	Componentes nitrogenados de los maltenos	alta	peptizante	maltenos
1° Acidafinas (A1)	Hidrocarburos o resinas aromáticas	alta	disolvente	maltenos
2° Acidafinas (A2)	Hidrocarburos nafteno aromáticos	baja	disolvente	maltenos
Saturados (P)	Hidrocarburos sat o parafinas	baja	gelificante	maltenos



La estabilidad coloidal se estima por el Índice de Inestabilidad Coloidal.

$$IC = \frac{As + P}{N + A1 + A2}$$

El factor presenta valores menores a 1 en asfaltos de penetración.

La acción química y compatibilidad del rejuvenecedor se mide mediante:

$$C = N/P$$

Para que no exista exudación debe presentarse valores superiores a 0,5.
El análisis de estos parámetros facilitará la elección del cemento asfáltico base de la emulsión a ser utilizada.

La apertura al tránsito de la obra solo podrá realizarse cuando se registren humedades en la capa inferiores al 2 %.

METODO DE DISEÑO DE MEZCLAS

Al tratarse del reciclado solo de capa asfálticas y preverse solo el aporte de áridos graníticos triturados con la acción ligante de la emulsión, podemos considerar a los reciclados clase III como concretos asfálticos a ser utilizados como base asfáltica.

Por esta razón, y en función de las experiencias previas realizadas por el LEMaC, se decide la utilización como método de diseño de las mezclas del Marshall Modificado de la Dirección de Vialidad de la Provincia de Santa Fe. Este método, si bien no es el directamente utilizado por la bibliografía consultada, guarda mucha relación con los métodos comúnmente aplicados y atiende preferentemente a críticas efectuadas a la metodología clásica de evaluación.

El Método Marshall Modificado de la Dirección Vialidad de Santa Fe, de aquí en más Marshall Modificado SF, trata básicamente de la obtención de probetas idénticas a las obtenidas con el Marshall original (diámetro 10 cm y altura 6,35 cm) por medio de la compactación estática de la mezcla en un molde con perforaciones normalizadas para liberación de agua con la rotura de la emulsión y hasta un rechazo de 11 tn. Este método contempla la solicitación de la probeta según lo establecido en el Marshall normal, obteniéndose Estabilidad, Fluencia, Densidad Marshall y Estabilidad Conservada.

El método de análisis tradicional implica la utilización del Método de Inmersión Compresión, el cual para nosotros tiene mayor aplicación en los reciclados clase I. Este método es criticado por autores tales como Pérez Jiménez de la Universidad Politécnica de Catalunya, pues considera que



las probetas de inmersión compresión son moldeadas con una energía (17 tn de rechazo) que genera densidades que luego no se alcanzarán en obra y que la sollicitación a compresión no caracteriza a la mezcla mecánicamente. En el LEMaC coincidimos plenamente con estas consideraciones.

Otros de los métodos clásicos utilizados para el diseño de estas mezclas es la utilización del Método Marshall Modificado Illinois, que se basa fundamentalmente en el moldeo de las probetas de forma dinámica y en los moldes convencionales. Consideramos que la falencia de este método reside en que no se permite de este modo el correcto desplazamiento del agua liberada al romper la emulsión, efecto que si se logra en obra por medio del amasado efectuado por la compactación con el rodillo neumático. Algunos autores calientan hasta 60 °C la emulsión durante el mezclado para lograr este efecto, pero consideramos que es una medida poco eficaz y que el problema se soluciona con la utilización de moldes perforados.

El método de dosificación recomendado, una vez que se han determinado las características de la emulsión en función del asfalto recuperado (comúnmente se utilizan ECL-2), por lo tanto es el siguiente:

- Determinación de la granulometría del material fresado, la granulometría del árido recuperado y el contenido de asfalto recuperado.
- Corrección de la curva del fresado con árido granítico triturado de aporte hasta que encuadre en las siguientes curvas límites:

TAMIZ	LIM. MIN.	LIM. MAX.
1"	78	100
3/4"	64	91
3/8"	44	74
Nº 4	29	57
Nº 8	17	43
Nº 16	11	33
Nº 40	2	18
Nº 100	0	8
Nº 200	0	4

- Determinación del contenido óptimo de fluidos, mediante el ensayo proctor modificado. El contenido óptimo de humedad es el porcentaje óptimo de fluidos (utilizar mezcla 50-50 de emulsión asfáltica y agua)



- Determinación analítica del contenido óptimo de emulsión con Método Oregon.

$$EC_{est} = 1,2 + Ag + \frac{Aa}{c} + \frac{Ap}{v}$$

EC_{est} = % de emulsión estimado

1,2 = % de emulsión base

Ag = % ajuste por gradación

Aa/c = % ajuste por contenido de asfalto residual

Ap/v = % ajuste por penetración o viscosidad

% PT 1/4"	Ajuste Ag	% de asf.	Ajuste Aa/c	Penet. 25 °C	Ajuste Ap/v	Viscos. 60 °C (1000 poises)	Ajuste Ap/v
70	-0,3	7	-0,3	0	+0,3	100	+0,3
64	-0,1		-0,3	15	+0,2	80	+0,2
60	0	6,5	-0,2	20		55	+0,1
54	+0,1	6,3	-0,1	25	+0,1	35	
50	+0,3	6	0	30			0
45		0		35	0		

El % de PT 1/4" se puede obtener por tamizado o por interpolación en la curva granulométrica obtenida.

- Realización del ensayo de envuelta con el contenido estimado de emulsión y el agua necesaria para que la suma de ambos de el porcentaje óptimo de fluidos.
- Moldeo de 6 probetas para el porcentaje estimado de emulsión más menos un punto de contenido por medio del Marshall Modificado SF.
- Desmoldar las probetas y curarlas en estufa a 60 °C durante 72 horas.
- Dejar estabilizar las probetas en ambiente de laboratorio durante dos horas y sumergir tres de éstas en baño de agua a 60 °C durante una



hora para su ensayo Marshall. Se requiere la máxima Estabilidad con valores aceptable de Fluencia.

- Las tres probetas restantes se sumergirán en agua a 60 °C durante 24 horas y se determinará la Estabilidad Conservada, la cual no podrá ser inferior al 75 %.

Generalmente las dosificaciones obtenidas en laboratorio deben ser retocadas luego en obra.

Los reciclados clase III pueden registrar vacíos del 8 al 11 %.



RECICLADO DE PAVIMENTO CLASE IV (CON CEMENTO)

CAMPO DE APLICACIÓN

El reciclado clase IV, como ya se expuso, es un reciclado profundo utilizado en casos en que debe reclamarse la capa de rodamiento y la de base, por encontrarse estas últimas también afectadas.

El espesor de la capa tratada varia, según asegura Carbo, entre los 15 y 30 cm. El límite mínimo esta dado por la profundidad mínima de reclamado obtenible con la reclamadora. En caso de realizarse la rotura por otros medios deberá utilizarse un espesor mínimo, de acuerdo a la OC8/01 española, de tres veces el tamaño máximo nominal para asegurar el adecuado acomodamiento del esqueleto mineral.

PARTICULARIDADES

La OC8/01 española establece que no se pueden emplear en reciclados clase IV cementos de aluminato de calcio, ni mezclas de cemento con adiciones que no hayan sido realizadas en fábrica.

Por su parte el Manual de Reciclado de la firma alemana Wirtgen recomienda para asegurar la durabilidad:

- evitar altos contenidos de cemento
- descartar materiales con IP > 10 o corregirlos (adición previa de cal)
- no permitir humedades de compactación superiores al 75 % de la de saturación
- reducir la velocidad de secado

El plazo para apertura al tránsito de los reciclados clase IV es de al menos 7 días, por lo tanto las determinaciones de laboratorio deberán estar relacionadas a este plazo.

Generalmente se suelen especificar además de las resistencias expuestas más adelante, densidades en cancha del 97 % de la densidad seca máxima obtenida con el proctor modificado.

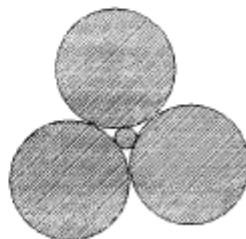


DISEÑO DE MEZCLAS

Como en cualquier material de uso vial existen para la dosificación del reciclado clase IV diversos métodos. De nuestro estudio bibliográfico hemos elegido el siguiente que surge como una adaptación de criterios volcados por diversos autores.

La metodología rigurosa que permite definir una metodología de diseño para estos materiales, será la que nos asegure una máxima resistencia, una óptima durabilidad y un mínimo costo. Según Carbo, la máxima resistencia en estos materiales esta dada por una máxima densidad de compactación, lo cual nos asegura además un mínimo de vacíos y de consumo de cemento, que es el componente de costo decisivo. Este autor plantea un análisis tomando fijo el espesor de carpeta reclamada y variando la profundidad de reclamado de la base hasta obtener la mayor densidad y luego con esta dosificación variar los contenidos de cemento hasta obtener la mayor resistencia. Este análisis es adecuado cuando una vez definido el espesor y característica de la base puede recién ahí considerarse el aporte estructural del reciclado y calcular el espesor de carpeta necesario para llegar al número estructural necesario. Sabemos que en la generalidad de los casos el estudio no se realiza de esta manera, ya que lo que debe buscarse es llegar con el reciclado hasta la profundidad en donde se encuentra el daño de la base y solucionarlo. De todos modos nos resulta interesante para reciclados clase IV el concepto de máxima densidad. Estos son los parámetros utilizados en la concepción de los estabilizados granulométricos, en donde se busca la conformación de un esqueleto mineral relleno por finos y evitando los efectos de **aflojamiento** y el efecto de **pared**.

Efecto de aflojamiento



Existe un único círculo de diámetro d_2 que puede ubicarse entre los círculos de diámetro d_1 .

- Un círculo mayor impide contacto entre círculos exteriores
- Un círculo menor no hace tangencia simultanea



Efecto pared

Representado por la limitación geométrica impuesta al arreglo espacial de los agregados de diámetro pequeño frente a los agregados de diámetros mucho mayores.

Como producto de todas estas consideraciones y debido a los resultados obtenidos por el LEMaC, recomendamos como punto inicial de la metodología de diseño ajustar la granulometría obtenida a la profundidad de reciclado mediante la incorporación de aporte fino o grueso según sea el caso, a la siguiente curva granulométrica utilizada en estabilizados granulométricos en la zona (extraída del plan 2000 cuadras de la Municipalidad de La Plata):

TAMIZ	CURVAS LIMITES
1"	100
3/4"	70-100
3/8"	50-80
Nº 4	35-65
Nº 10	25-50
Nº 40	15-30
Nº 200	5-15

Una vez determinada la dosificación de los inertes, se realizarán pruebas con contenidos crecientes de cemento hasta obtener los parámetros de diseño buscados. Para esto deberá determinarse la densidad seca máxima y la humedad óptima por medio del proctor modificado. Luego utilizando estos parámetros se moldearán probetas con contenidos crecientes de cemento por medio de la compactación dinámica del proctor reforzado, estática del VSR o por la establecida en la norma española NLT-310 (compactación con martillo vibrante de materiales granulares tratados). De manera orientativa el Manual Wirtgen de Reciclados ubica entre 2 a 2,5 el contenido de cemento para reclamados de carpeta asfálticas y bases a los que se les adiciona piedra partida, de 2 a 3 % para reclamados cuyo agregado grueso lo constituye el aporte de piedras partidas y 3 a 4 % cuando lo hace una grava natural.

Las probetas así obtenidas se mantienen 24 horas dentro de su molde, se las desmolda y se las coloca en cámara de curado a 22 °C durante los 6 días restantes hasta su ensayo.

Las probetas serán rotas a compresión simple, estableciéndose para las mismas una resistencia mínima del reciclado a 7 días de 2,5 MPa si se utilizan cementos normales y de 2,1 MPa con cementos especiales. Estos



valores se encuentran en los entornos de los recomendados por diversos autores y son los establecidos por la OC8/01.

Otros requisitos son efectuados para este tipo de mezclas, entre los cuales adoptaremos algunos de los recomendados por la OC8/01 española:

- Si el contenido de sulfatos solubles (SO_3) en el material reclamado, determinado por UNE 103201, es superior al 0,5 por mil en peso deberá emplearse cemento resistente a los sulfatos. Si es mayor al 1 % no podrá utilizarse.
- El principio de fraguado según UNE-EN 196-3 no podrá tener lugar antes de las 2 horas, en caso de realizarse el reciclado a temperaturas inferiores a 30 °C. En caso contrario los ensayos se realizarán a 40 ± 2 °C y el fraguado no podrá tener lugar antes de 1 hora.
- El material a reciclar no presentará reactividad potencial con los álcalis del cemento. Se podrán realizar ensayos de concentración de SiO_2 y de la reducción de la alcanilidad R, determinando según UNE 146507-1 que el material es reactivo cuando:
 - $SiO_2 > R$ cuando R es mayor igual de 70
 - $SiO_2 > 35 + 0,5 R$ cuando R es menor de 70
- El contenido de materia orgánica según la UNE 103204 no podrá ser superior al 1 %.
- En la fracción fina el límite líquido deberá ser inferior a 35.
- El plazo de trabajabilidad se determinará de acuerdo con la UNE 41240, realizando los ensayos a la temperatura media ambiente prevista entre las 12:00 y 15:00 horas durante la ejecución, no pudiendo ser inferior al indicado en la tabla:

TIPO DE OBRA	PLAZO MINIMO EN MINUTOS
sin tránsito en ancho completo	120
sin tránsito por franjas	180
con tránsito	240