

Los áridos... indispensables para el hombre

Capítulo IV

*Prefabricados, como escalas,
baldos, vigas, bovedas, aceros,
tuberías, etc.*

toneladas por habitante y año
Cada persona consume, en su vida, cerca
de 850.000 kilogramos de áridos más de
10.000 veces su peso, cantidad equivalente a la
transportada en 32 camionetas de 10 toneladas.

74 m.

*Una vivienda unifamiliar necesita entre
700 y 300 toneladas de áridos.*

Usos y aplicaciones.

28 m.

*Bases, subbases y aglomerados asfálticos, que son los
elementos que conforman las carreteras, autopistas, calles,
aparcamientos, pistas, etc. Para 1 kilómetro de autopista
son necesarias unas 30000 toneladas de áridos.*

Fuente: Calvo P., Benjamín, Tecnología de áridos. Cátedra ANEFA, ESTIM, Madrid 2005.

Construyendo futuro

CAPITULO IV.

La grava reciclada es un producto apto para su reutilización como agregado para la mayor parte de obra civil, los requisitos que deben cumplir estos productos debe ser el mismo que para los agregados pétreos naturales. Los parámetros que se evalúan son del tipo geométrico, físico, químico y medioambiental y muchas veces se implementan con comprobaciones físicas y químicas para su aplicación.

Un paso importante sería dotar de herramientas al personal para que, ya desde su origen, se pudiera diseñar los proyectos pensando en la aplicación de este tipo de agregados.

IV.1.- USO COMO AGREGADO PARA ELABORACIÓN DE CONCRETO.

El concreto con agregados reciclados puede obtenerse con los mismos métodos de dosificación que son empleados habitualmente en la obtención de concreto convencional.

IV.1.1.- Contenido de agua.

Debido a la mayor absorción que presentan los agregados, al provenir de la trituración de otros concretos y al mortero adherido a la grava, se necesitará una mayor cantidad de agua para la obtención de la consistencia de que el concreto convencional.

El efecto producido por la excesiva absorción puede minimizarse mediante el empleo de la situación previa de la grava.

IV.1.2.- Contenido de cemento.

En principio, los tipos utilizados serán los mismos que se emplearían en un concreto convencional para las mismas prestaciones. Debido a la menor cantidad del árido que proviene del RCD, se necesitará una mayor cantidad de cemento para la obtención de la misma resistencia, en comparación de un concreto convencional.

IV.1.3.- Criterios de dosificación.

Se deben de realizar dosificaciones previas para ajustar la cantidad de agregados necesaria para obtener la consistencia requerida, la relación agua-cemento necesaria para obtener la resistencia exigida y la proporción entre arenas y gravas necesaria para que sea económicamente viable y para que alcance la cohesión del concreto fresco.

Obtener una desviación estándar mayor cuando se diseñe un concreto con estos productos de calidad variable que cuando tiene la calidad más uniforme o es agregado pétreo natural.

Debido a la mayor demanda de agua del concreto de agregado reciclado, el contenido de cemento necesario será algo mayor para el concreto con RCD's que para el concreto de agregados naturales.

IV.1.4.- Consistencia.

Para obtener una consistencia determinada existen diversas opciones:

- Cuantificar la cantidad de agua adicional que se debe añadir al concreto durante el amasado mediante ensayos previos.
- Utilizar el agregado saturado.
- Añadir superplastificante en el concreto. ^[21]

IV.2.- USO EN TERRAPLENES.

Esta aplicación se centra en el estudio de RCD's para su posible reutilización como relleno tipo terraplén en la construcción de firmes de carreteras y caminos rurales. La explanada es la superficie de apoyo del firme que se vaya a aplicar en una determinada carretera. Para la formación de esta explanada se deben realizar eventualmente rellenos con materiales que

USOS Y APLICACIONES.

cumplan ciertas condiciones marcadas por el PG3 (Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes).

| TIPO DE SUELO | MARGINAL | TOLERABLE | ADECUADO | SELECCIONADO |
|-----------------------|------------------------------------|---|--|---|
| MAT.ORGANICA | < 5% | < 2% | < 1% | < 0.2% |
| SALES SOLUBLES | | Yeso < 5% Otras Sales < 1 % | < 0.2% | < 0.2% |
| GRANULOMETRÍA | | | D max < 100 mm Pasa # 2 < 8% Pasa # 0.08 < 35% | D max < 100 mm Pasa # 0.40 < 15% |
| PLASTICIDAD | Si LL >90 IP < 0.73 (11-20) | LL < 65 SI LL >40 IP > 0.73 (11-20) | LL < 40 Si LL >30 IP >4 | ALTERNATIVAMENTE Pasa # 2 < 80% # 0.4 < 75% # 0.08 < 25% # 2 < 80% LL < 30 IP < 10 |
| COLAPSO | | Asiento < 1 % | | |
| HINCHAMIENTO | < 5% | < 3 % | | |

Tabla. IV.2.- Condiciones que deben cumplir los materiales empleados en la formación de rellenos de carreteras.

FUENTE.- Agrela S, Francisco, *Caracterización y posibilidades de reutilización en obras de infraestructura de los RCD's sin selección en origen y procedentes de todas las tipologías de obra*, Universidad de Cordoba, Depto. de ingeniería rural, España.

En la figura IV.2, se incluyen dos gráficos donde se aprecian las distintas capas que se encuentran debajo de una superficie de rodamiento, donde la sub-base constituye la superficie superior del cimiento, sobre la cual se apoya la superficie de rodamiento.

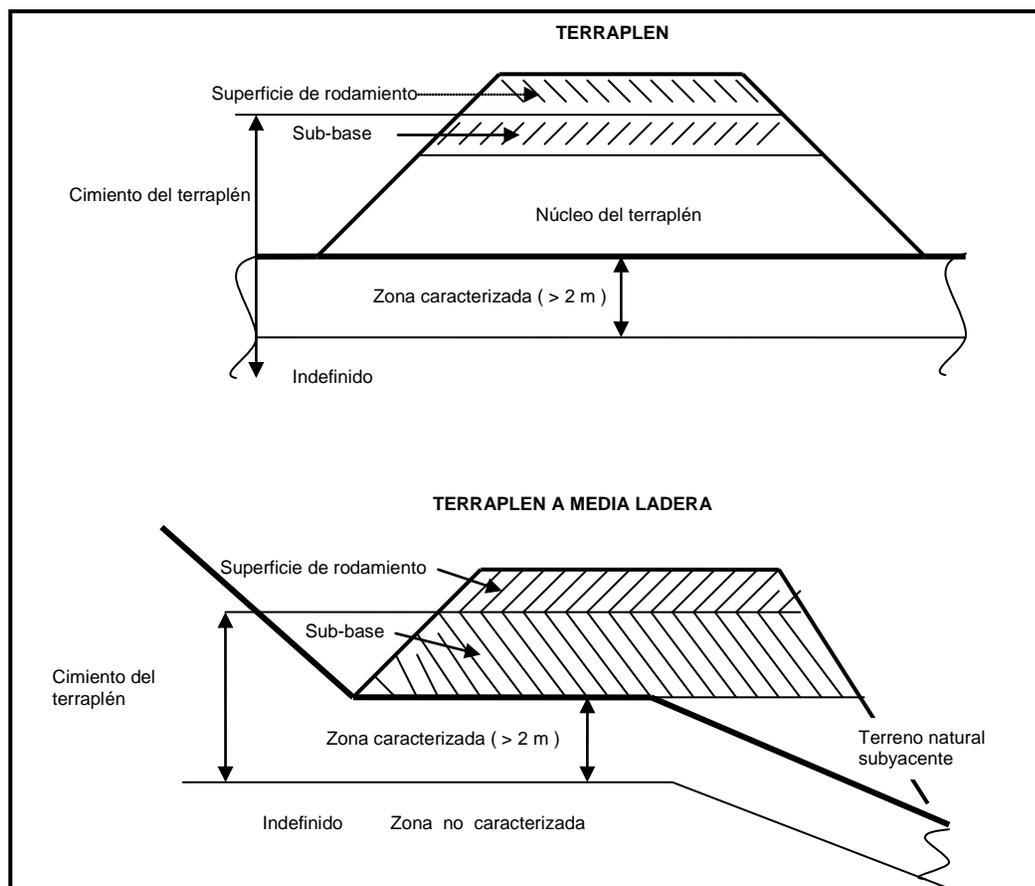


Fig. IV.2.- Secciones transversales de relleno, explanación y firme de una carretera.

FUENTE.- Instrucción para el diseño de firmes de la Red de Carreteras de Andalucía - 1999

IV.2.1.- Materiales de ensayo.

Para la utilización de estos productos en un terraplén se utilizaron elementos de concreto, tabiquerías, forjados, etc., a estos elementos se le denominaron A.

Al material procedente de una planta de acopio, en los cuales no se presenta selección en origen, que este mezclado y tienen un tratamiento posterior unificado, se le denomina B.

IV.2.2.- Método de ensayo.

Se les aplicaron las siguientes pruebas:

Análisis granulométrico de suelos por tamizado según UNE 103101:1995

- Determinación del límite líquido por el método de Casagrande según UNE: 103103:1994
- Determinación del límite plástico de un suelo según UNE 103104:1993
- Ensayo de compactación Proctor Normal según UNE 103500:1994
- Ensayo para determinación en laboratorio del índice C.B.R. según UNE 103502:1995 ^[22]

Resultados:

| CARACTERÍSTICAS | B (Rute) | SUELO CONSEGUIDO | A (Noreña) | SUELO CONSEGUIDO |
|--|--|------------------|--|------------------|
| GRANULOMETRÍA UNE-103-101 | D max < 100 mm Pasa: # 2 mm < 80 % # 0.08 < 25% | SELECCIONADO | D max < 100 mm Pasa: # 2 mm < 80 % # 0.08 < 25% | SELECCIONADO |
| PLASTICIDAD UNE-103-103 UNE-103-104 | LL=28 IP=2 | SELECCIONADO | LL=29 | SELECCIONADO |
| PROCTOR NORMAL | D max = 1.59 kg/cm3 H opt = 15% | SELECCIONADO | D max = 1.73 kg/cm3 H opt = 15.9% | SELECCIONADO |
| CBR (100% Proctor Normal) | 42 | SELECCIONADO | 34 | SELECCIONADO |
| CONTENIDO EN MATERIA ORGANICA | 0.15% | SELECCIONADO | 0.25% | ADECUADO |
| CONTENIDO EN SALES SOLUBLES | SS=0.75% YESO=7.5% | MARGINAL | SS=0.95% YESO=2.5% | TOLERABLE |

Tabla. IV.2.2- Resultados de los ensayos

FUENTE.- Agrela S, Francisco, *Caracterización y posibilidades de reutilización en obras de infraestructura de los RCD's sin selección en origen y procedentes de todas las tipologías de obra*, Universidad de Córdoba, Depto. de ingeniería rural, España.

IV.3.- USO DEL RECICLADO DE SUPERFICIES DE RODAMIENTO EN FRÍO "IN SITU" Y CON EMULSÓN.

Por definición entenderemos como el material resultante del fresado de una o más capas de mezcla bituminosa de una superficie de rodamiento existente en un espesor comprendido entre seis (6) y doce centímetros (12 cm), emulsión bituminosa, agua y, eventualmente, aditivos.

Sin embargo, el reciclado con emulsión presenta, como cualquier otra técnica, algunas limitaciones:

No todos los materiales son susceptibles de ser reciclados de forma efectiva y económica. Cualquier operación de reciclado con emulsión requiere previamente un estudio en profundidad de las secciones y los materiales.

El reciclado con emulsión no permite solucionar algunos tipos de problemas habituales en la superficie de rodamiento, en particular aquellos que están asociados a mala calidad de la sub-base o de capas profundas. Tampoco es fácil solucionar problemas de deformaciones plásticas, y cuando es posible suele ser necesario el empleo adicional de agregado para corregir la formulación de la mezcla existente.

IV.3.1.- Clasificaciones de reciclado.

Clasificación tipo I:

a) Problema: Debilidad estructural en una carretera de baja intensidad de tráfico, con un pavimento bituminoso de reducida magnitud; pavimento fatigado pero que no ha tenido un sub-dimensionamiento en origen.

b) Técnica: Reciclado con emulsión o mediante espuma de betún.

c) Objetivo: Refuerzo estructural sin aportar más que una capa de rodadura de reducido espesor (tratamiento superficial con gravilla o micro-aglomerado en caliente).

La nueva capa obtenida como resultado del mismo se recubre posteriormente, dependiendo del tráfico, por un tratamiento superficial o por una mezcla en capa fina.

Clasificación tipo II:

a) Problema: Insuficiente prestación de las capas superiores de la superficie de rodamiento, formadas por una capa bituminosa de espesor medio (4 a 8 cm), con una buena homogeneidad, y/o problema de interfaz (despegue o deslizamiento entre capas).

b) Técnica: Reciclado con emulsión de betún, en ocasiones de tipo regenerante.

c) Objetivo: Rehabilitación de capas superficiales de espesor reducido, o bien corrección del problema de la interfaz.

La nueva capa se recubre, dependiendo del tráfico soportado, mediante un tratamiento superficial con gravilla o con una mezcla en capa delgada.

Clasificación tipo III.

a) Problema: Insuficientes características mecánicas, o defectuoso comportamiento de las capas superficiales, en este caso compuestas exclusivamente por materiales bituminosos (problemas de fatiga, figuración, despegues entre capas, etc.).

b) Técnica: Reciclado mediante una emulsión de betún regenerante.

c) Objetivo: Rehabilitación de capas superficiales de elevado espesor.

Clasificación tipo IV.

a) Problema: Insuficiencia estructural de los pavimentos, y eventualmente aumento del ancho de la calzada (ensanche).

b) Técnica: Reciclado mediante un conglomerante hidráulico o mixto.

c) Objetivo: Reconstrucción de la capa de base para recibir posteriormente una nueva capa de rodadura o bien otra capa de base.

La profundidad del reciclado depende del espesor aprovechable de la antigua superficie de rodamiento (es decir, del espesor de materiales que presentan características aprovechables para el proceso), y de la capacidad del equipo elegido.

USOS Y APLICACIONES.

| Tipo de reciclado Características | Reciclado con emulsión asfáltica | | | Reciclado con un conglomerante hidráulico |
|---|--|---|--|--|
| | Clase I | Clase II | Clase III | Clase IV |
| Ligante | Emulsión de betún blando de penetración 180/220 o 80/100 | Emulsión de betún blando o de betún regenerante | Emulsión de betún regenerante | Cemento o conglomerante del tipo de escoria granulada, mezcla del conglomerante hidráulico más arena |
| Materiales reciclados provenientes del firme antiguo | 3 o 4 cm de la capas bituminosas mas capa base (tratada o no tratada) | 4 o 8 cm del pavimento bituminoso mas capa de base, pero al menos el 75 % proviene de las capas bituminosas | Solamente materiales bituminosos, incluyendo la interfaz | Todo o parte del pavimento bituminoso. Todo o parte de las capas base. Eventualmente parte del soporte |
| Objetivo | Mejora de las características mecánicas y geométricas del pavimento utilizando en mayor o menor medida la superficie de rodamiento antiguo y eventualmente regeneración del betún en la Clase II | | Reciclado del pavimento bituminoso con regeneración del betún. | Construcción de una nueva capa hidráulica: <ol style="list-style-type: none"> 1) con o sin material de aportación 2) con o sin ensanche de la calzada 3) con o sin alcanzar el suelo de la sub-base 4) con o sin eliminar la capa superficial. |
| Aplicación | Refuerzo estructural para tráfico bajo | Rehabilitación de capas superficiales | | Refuerzo estructural importante con o sin ensanche de la calzada |
| Espesor de la capa tratada | 10 a 15 cm | 5 a 12 cm | 7 a 12 cm | 20 a 35 cm |

Tabla. IV.3.1.- Clasificación de los tratamientos por reciclado.

FUENTE.- Agrela S, Francisco, *Caracterización y posibilidades de reutilización en obras de infraestructura de los RCD's sin selección en origen y procedentes de todas las tipologías de obra*, Universidad de Cordoba, Depto. de ingeniería rural, España.

Para las capas recicladas con emulsión, es frecuente admitir un módulo (que está del lado de la seguridad) de 2.500 MPa. Sin embargo este módulo penaliza mucho el comportamiento

de la capa reciclada. En algunos casos, tanto es así, que por ser menor el módulo atribuido al reciclado que el de la mezcla bituminosa que actualiza, cuanto mayor es el espesor reciclado menos ejes soporta la sección en cuestión. De la experiencia se desprende que los módulos alcanzados con este tipo de mezclas, después de completado su período de curado, pueden llegar sin problemas a los 4.000 MPa.

En el caso de los materiales reciclados con cemento, la determinación del módulo es más complicada, ya que varía fuertemente con la propia calidad de los materiales y el contenido de cemento utilizado. El Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones recomienda utilizar un módulo de cálculo a 90 días de 6.000 MPa cuando se trata de materiales tipo A (tipo suelo cemento) y de 10.000 MPa con los de tipo B (tipo grava cemento).

IV.3.2.- Proceso constructivo.

Tras la formulación y el preceptivo tramo de prueba, las diferentes operaciones necesarias para la ejecución del reciclado in situ en frío con emulsión y cemento pueden resumirse así:

- a) Fresado en frío del material por tratar.

Se necesitan equipos especiales que fresen y mezclen el material. Actualmente, existen en el mercado equipos muy potentes que permiten fresar espesores considerables en una sola pasada, algunos hasta 35 cm, y que son utilizables tanto para la técnica de estabilización con emulsión como con cemento. Pueden tratarse carriles independientes o calzadas completas. En el reciclado de capas granulares, los equipos pueden ser mucho más sencillos (rotavator).

b) Mezcla con agua y emulsión o cemento

El agua se suministra al equipo de extensión mediante una cisterna. Los propios equipos disponen de unos depósitos que les confieren una cierta autonomía. La emulsión se suministra análogamente mediante unos camiones cisterna.

Puede aportarse grava para mejorar la granulometría del material envejecido. Estas aportaciones se suelen situar entre el 10% y el 30% del material final.



Fig. IV.3.2.- Extendido de cemento (izq.) y tren de reciclado in situ enganchado a tractor cuba (der.)

FUENTE.- Revista: Cimbra, Num. 372, España, Dic. 2006

c) Extensión y compactación del material resultante.

Los rendimientos de los equipos de reciclado dependen del tipo de material que se recicla. Si se reciclan materiales granulares con ligeros tratamientos superficiales, se suelen obtener rendimientos entre 10 y 20 m/min (entre 600 y 1200 m/h y entre 5 y 10 km/día). Cuando se

reciclan pavimentos de mezcla bituminosa de espesor igual o superior a 10 cm, los rendimientos pueden variar entre 3 y 5 m/min.

d) Tratamiento de la superficie.

En los reciclados con emulsión, la capa resultante puede dejarse sin recubrir, o tratarse con riego superficial con gravilla. Este riego es especialmente adecuado cuando se empiezan a producir desprendimientos.



Fig. IV.3.2.1.- Extendido de capa de rodadura con silo móvil SB-2500

FUENTE.- Revista: Cimbra, Num. 372, España, Dic. 2006

e) Capas superiores

Las capas de refuerzo sobre el material reciclado son necesarias porque:

En el caso de reciclados con emulsión se necesita reducir el nivel de deflexiones, de manera que sean admisibles las deformaciones a que se ven sometidas las capas de la superficie de rodamiento y en la sub-base.

· Es también necesario proteger el material de arranques; y, por tanto, siempre es necesaria una rodadura.

La superficie reciclada suele quedar irregular, especialmente con los mayores espesores de reciclado. Para poder conseguir una regularidad adecuada, con tráficos elevados, es conveniente colocar sobre la capa reciclada dos capas (4+4cm) de mezcla bituminosa. Con tráficos reducidos, puede ser suficiente una rodadura sobre el material reciclado. La necesidad de colocar dos capas puede obviarse, si en el tramo de prueba se demuestra que la regularidad obtenida es suficiente con una única capa sobre el material reciclado. ^[23]



Fig. IV.3.2.1.- Recicladota estabilizadora Wirgten WR 2500.

FUENTE.- Revista: Cimbra, Num. 372, España, Dic. 2006

IV. 4.- OTROS USOS DEL AGREGADO RECICLADO.

Aquí en México las propuestas que se hacen son las siguientes, en donde se ven involucrados los RCD's.

En las siguientes obras se debe sustituir al menos un 25% de los materiales vírgenes por materiales reciclados, salvo que el interesado demuestre mediante estudios y pruebas en laboratorios acreditados un porcentaje diferente que garantice las especificaciones técnicas del proyecto, así como del correspondiente estudio costo-beneficio:

- Sub-base en caminos.
- Sub-base en estacionamientos.
- Carpetas asfálticas para vialidades secundarias.
- Construcción de terraplenes.
- Cubierta en relleno sanitario.
- Construcción de andadores o ciclo pistas.
- Construcción de lechos para tubería.
- Construcción de bases de guarniciones y banquetas.
- Rellenos y pedraplenes.
- Bases hidráulicas. ^[25]