



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO.**

FACULTAD DE INGENIERÍA

**“LOS AGREGADOS RECICLADOS
(RCD´S): UNA ALTERNATIVA DE
LA INGENIERÍA CIVIL.”**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A:

ALFONSO LÓPEZ GARRIDO.

DIRECTOR DE TESIS:

M.I. MARCO TULIO MENDOZA ROSAS.

MÉXICO, D.F., CIUDAD UNIVERSITARIA, 2010.





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS:

Este trabajo tesis esta dedicado a mis padres: D. Alfonso López Posadas y Ma. Socorro Garrido Huerta, por todo su apoyo que sin duda alguna no hubiese sido posible mi titulación, a mis hermanos Rodolfo, Celia y a toda mi familia por todo su apoyo a lo largo de mi vida, con nada pagare lo que han hecho por mi.

Para todas y cada una de las personas que han contribuido aportando sus conocimientos desinteresadamente que me tienen aquí, desde el preescolar hasta la licenciatura, a todos ustedes muchas gracias.

Para la Universidad, mi Alma Mater que ha sido una segunda casa para mi formación profesional, trabajadores, investigadores, docentes, que cada día recibí una lección distinta tanto en el ámbito académico como en el personal.

Para la facultad de Ingeniería y los que la conforman, sin ello esto no hubiese sido posible el desarrollo tanto de mi persona como de cientos miles egresados de ella y por supuesto a mis sinodales que son partícipes de la culminación de este trabajo.

Y por supuesto a mis compañeros:

Ing. Civil y Geodésica: Juan S. G., Daniel M. M., Joel L. C., Margarita C. E., Gabriel M. C., Juan E. P. R., Erick P. S., Armando O. G., Alejandro C. J., Alejandro H. G., Mariano M. T., Eduardo I. A. G. Rodolfo T. C.

Ing. Eléctrica E.: Jesús P. B., Alejandro P. M., Jaime B.,

Ing. Geológica: José A. U. L., Fabián J. A. Alfonso H. M. M.

Ing. Geofísica: Leonardo I. S.

Ing. Minas y M.: Víctor L. O., Francisco S. J., Crisóforo, J. Manuel A. R. C., Teresa S. J., Claudia M. F, Alejandro R.

Ing. Petrolera: Orlando C. A., Erick F. J., Jesús G. M, Osiris B.A., José A. P. S., Vanesa C. B., Mario M., Juan C. C. y su familia, David G. A., Jorge V., Adalberto

Med. Odont.: Paola G. T. G.

Med. Veter.: Víctor H. P. S., Elsa M. M., Rocío C. J., David, G., Karina L. G., Chantal G. F.

Cont.: Dan H. P., Pamela G. M., Norberto M G.,

Arq.: Carlos D.

Y a mis amigos de toda la vida Jhonatan A. V., Alfredo S. I., Ramón R. V. y a sus respectivas familias

Y a las personas que de alguna manera me apoyaron a lo largo de mi vida y que por alguna razón se me han pasado mencionarlos.

Muchas gracias.



Señor
ALFONSO LÓPEZ GARRIDO
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor M.I. MARCO TULIO MENDOZA ROSAS, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

"LOS AGREGADOS RECICLADOS (RCD's): UNA ALTERNATIVA DE LA INGENIERÍA CIVIL"

- INTRODUCCIÓN
- I. GENERALIDADES
- II. GENERALIDADES DE LAS GRAVAS RECICLADAS
- III. PROPIEDADES FÍSICAS
- IV. USOS Y APLICACIONES DE LOS RCD's
- V. CASOS DE ÉXITO
- VI. CONCLUSIONES Y COMENTARIOS

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cd. Universitaria a 30 de Octubre del 2009.
EL DIRECTOR

MTRO. JOSÉ GONZALO GUERRERO ZEPEDA
GGZ/RSU/gar.

El objetivo de este trabajo de investigación es presentar algunas de las diversas formas en que se pueden utilizar los residuos de escombros y demoliciones, tanto para beneficio del medio ambiente como para su aprovechamiento en algunas áreas de la Ingeniería Civil.

Otro objetivo de esta tesis es la de revisar los casos que se han dado tanto en México y en España, ya que este último ha dedicado innumerables estudios a la utilización de estos materiales para el aprovechamiento de sus recursos naturales.

En el presente trabajo se pretende mostrar a grandes rasgos, como la utilización de los agregados reciclados han influido en la Ingeniería Civil en México y en España.

La presente tesis se compone de cinco capítulos los cuales el lector verá en las próximas páginas.

El primer capítulo se compone de los problemas generados por la gran explotación de nuestros recursos naturales.

En el segundo capítulo se trata el proceso de la obtención de los agregados reciclados así, como los diversos tipos de plantas que se encargan de la producción de los áridos así como definiciones de gravas de acuerdo con las especificaciones españolas que son las que se han utilizado para su experimentación.

En el tercer capítulo el lector observará las propiedades y características que se revisan en la norma española en cuanto a las gravas recicladas, así como, los métodos de experimentación utilizados para los mismos.

En el capítulo cuatro se ahonda en la utilización y aplicaciones diversas donde se puede llegar a utilizar este tipo de productos, en la elaboración de concreto, en gravas para cuerpos de terraplenes, en firmes de carreteras, etc.

Y en el último capítulo, se retoma algunas obras que han sido elaboradas a partir de RCD's, en España que es la pionera de la utilización de agregado reciclado y en México las pequeñas obras elaboradas a partir de las gravas recicladas.

	Pág
OBJETIVOS	i
INTRODUCCIÓN	ii
CAPÍTULO I. GENERALIDADES	2
I.1 ANTECEDENTES.	2
I.1.1 Falta de espacio para rellenos sanitarios.	3
I.1.2 Generadores de residuos.	4
I.2 EL RETRASO DE MÉXICO EN RECICLAJE DE RESIDUOS INDUSTRIALES.	6
I.2.1 Estándares y criterios necesarios.	7
I.2.2 Generación y composición de los residuos de construcción y demolición.	8
I.3 NORMATIVA ESPAÑOLA.	10
I.3.1 Experiencias previas	11
I.3.2 Impacto ambiental del concreto.	11
I.4 RESIDUOS DE LA CONSTRUCCIÓN.	13
CAPÍTULO II. GENERACIÓN DE LAS GRAVAS RECICLADAS.	15
II.1 PROCESOS DE PRODUCCIÓN.	16
II.1.1 Definiciones.	16
II.1.2 Definición de concreto reciclado.	17
II.1.3 Pliego de condiciones técnicas de Gravas (España).	17
II.1.4 Características generales de las gravas como producto del reciclaje.	18
II.1.5.- Agregados procedentes del reciclaje de residuos de la construcción y demoliciones.	19
II.2 RECUPERACIÓN.	20
II.2.1 Demolición selectiva en el lugar de origen.	20
II.2.2 Proceso de reciclaje de los RCD's.	22
II.2.2.1 Pesaje.	22
II.2.2.2 Separación primaria	24
II.2.2.3 Clasificación de los residuos de la construcción y demolición de acuerdo a su peligrosidad.	25
II.2.2.4 Trituración primaria	27
II.2.2.5 Separación secundaria.	29
II.2.2.6 Cribado por medio de Trommel.	30
II.2.2.7 Trituración secundaria.	31
II.3 PLANTAS DE PRODUCCIÓN DE LAS GRAVAS RECICLADAS.	32
II.3.1 Clasificación por generación.	32
II.3.2 Clasificación por desplazamiento.	33
II.3.3 Clasificación por nivel tecnológico.	35
CAPÍTULO III. PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS RCD's	38
	39

III.1	GRANULOMETRÍA	
III.1.1	Contenido en finos	40
III.1.2	Coefficiente de desgaste Los Ángeles	42
III.1.3	Partículas blandas	43
III.1.4	Coefficiente de friabilidad	43
III.1.5	Absorción de agua	44
III.1.6	Coefficiente de forma	45
III.2	PROPIEDADES MECÁNICAS.	46
II.2.1	Experimento.	46
III.2.2	Comparación de Agregados reciclados con agregados naturales.	47
III.2.3	Dosificación de los concretos.	54
III.3	COMPORTAMIENTO DE LOS CONCRETOS RECICLADOS.	57
III.3.1	Absorción, densidad, porosidad y permeabilidad al agua.	57
III.3.2	Compresión simple.	58
III.3.3	Tensión Indirecta.	60
III.3.4	Módulo de Elasticidad.	61
III.3.5	Contracción y Fluencia	62
CAPÍTULO IV. USOS Y APLICACIONES DE LOS RCD's.		66
IV.1	USO COMO AGREGADO PARA ELABORACIÓN DE CONCRETO.	67
IV.1.1	Contenido de agua.	67
IV.1.2	Contenido de cemento.	67
IV.1.3	Criterios de dosificación.	68
IV.1.4	Consistencia.	68
IV.2	USO EN TERRAPLENES.	68
IV.2.1	Materiales de ensayo.	70
IV.2.2	Método de ensayo.	71
IV.3	USO DEL RECICLADO EN SUPERFICIES DE RODAMIENTO EN FRÍO "IN SITU" Y CON EMULSIÓN.	72
IV.3.1	Clasificaciones de reciclado.	72
IV.3.2	Proceso constructivo.	76
IV. 4	OTROS USOS DEL AGREGADO RECICLADO.	80
CAPÍTULO V. CASOS DE ÉXITO.		81
V.1	PROYECTO DEL INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CHETUMAL.	82
V.1.1	Elaboración de los bloques.	82
V.1.2	Elaboración de mosaicos.	83
V.1.3	Dosificación de adoquines.	84
V.1.4	Diseño de concretos.	84
V.1.5	Pruebas de laboratorio.	85
V.1.6	Construcción de la vivienda.	87
V.2	PROYECTO "TATO" (ESPAÑA).	88

V.2.1	Origen del agregado reciclado.	89
V.2.2	Caracterización de la grava reciclada.	90
V.2.3	Datos de la obra.	93
V.3	PROYECTOS REALIZADOS EN EL DF., POR CONCRETOS RECICLADOS.	95
V.3.1	Delegación Iztapalapa.	96
V.3.2	Delegación Xochimilco.	97
V.3.3	Delegación Tlalpan.	97
CAPÍTULO VI. COMENTARIOS Y CONCLUSIONES		99
ANEXOS		102
BIBLIOGRAFÍA		108

A large, stylized recycling symbol composed of three chasing arrows forming a triangle. In the center of the triangle is a globe showing the Americas. The entire graphic is rendered in shades of gray with a thick black outline.

Capítulo I

Generalidades.

Fuente: <http://circulacionreserva.files.wordpress.com/2008/09/reciclaje1.jpg>

CAPITULO I

I.1.- ANTECEDENTES.

La situación del manejo y disposición final de los residuos en gran parte de los municipios en México es crítica, en la medida que su volumen de generación ha estado creciendo más rápido que la capacidad de los servicios de limpieza de recolectarlos y de construir la infraestructura de rellenos sanitarios para su disposición final ambientalmente adecuada, de manera que la forma tradicional y más frecuente de disponer de ellos son los tiraderos a cielo abierto. [2]

De acuerdo con las cifras oficiales, cada mexicano desecha en promedio 920 gramos de basura por día; otros datos indican que se desecha un kilogramo y medio; el promedio urbano se sitúa en 1.2 kg, las cifras varían dependiendo del lugar donde se resida.

Los datos de 2006 reportados por el INEGI indican que la generación para ese año toda la República mexicana fue de 87,476 toneladas de basura/día. Dicha institución también reveló que en el Distrito Federal hay 9 millones de habitantes que producen 12,364 toneladas de residuos sólidos cada 24 horas. [4]

Análisis de la situación.

1.-	Por cada metro cuadrado de construcción se generan en promedio 1/3 m ³ de escombros.
2.-	Costo promedio del retiro de escombros \$150.00 /m ³ .
3.-	Falta de sitios de disposición final de los Residuos de la Construcción y Demolición (RCD's).
4.-	Falta de una cultura de compromiso para el manejo, disposición y rehúso de RCD's.
5.-	Falta de una normatividad efectiva para el ordenamiento de la materia.



Fig. I.1.- Planta de reciclaje.

FUENTE.- Varela Arámbulo, José S., *“El mercado ambiental de los residuos de la construcción”*, Foro internacional “Hacia la Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos”, MUTEC Ciudad de México, 25 de Mayo 2006.

I.1.1.- Falta de espacio para Rellenos Sanitarios.

El problema que causan los residuos industriales no es solamente que ocupan un valioso espacio de los rellenos sanitarios sino que muchos de estos rellenos sanitarios no están diseñados para acomodar la alta densidad y peso que los residuos industriales poseen. Existen menos áreas disponibles para depositar residuos, menos rellenos sanitarios cercanos y los estándares de disposición son más estrictos. De acuerdo con el Gobierno del Distrito Federal, la Ciudad de México solo tiene espacio suficiente de rellenos sanitarios para durar otros 10 años

hasta el año 2005. Después de eso, la Ciudad tendrá que transportar y disponer sus residuos sólidos fuera del Área Metropolitana.



Fig. I.1.2.- Tiradero a cielo abierto.

FUENTE.- Dra. Cristina Cortinas de Nava, *Manual de capacitación para minimizar residuos a nivel municipal, a través de reducir, reutilizar y reciclar.*, Ed. Talleres Gráficos de la Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, México, D.F.,

I.1.2- Generadores de residuos.

Los sectores productivos que destacan por importancia en la generación de residuos peligrosos en México son la industria manufacturera y la extractiva (minería y de petróleo), aunque también es importante la contribución del sector comercial. La gráfica siguiente muestra la contribución de los distintos sectores en la generación de residuos peligrosos, con un total de 2 millones 74 mil 288 toneladas en 1996.

Estimación de residuos peligrosos generados por sector.

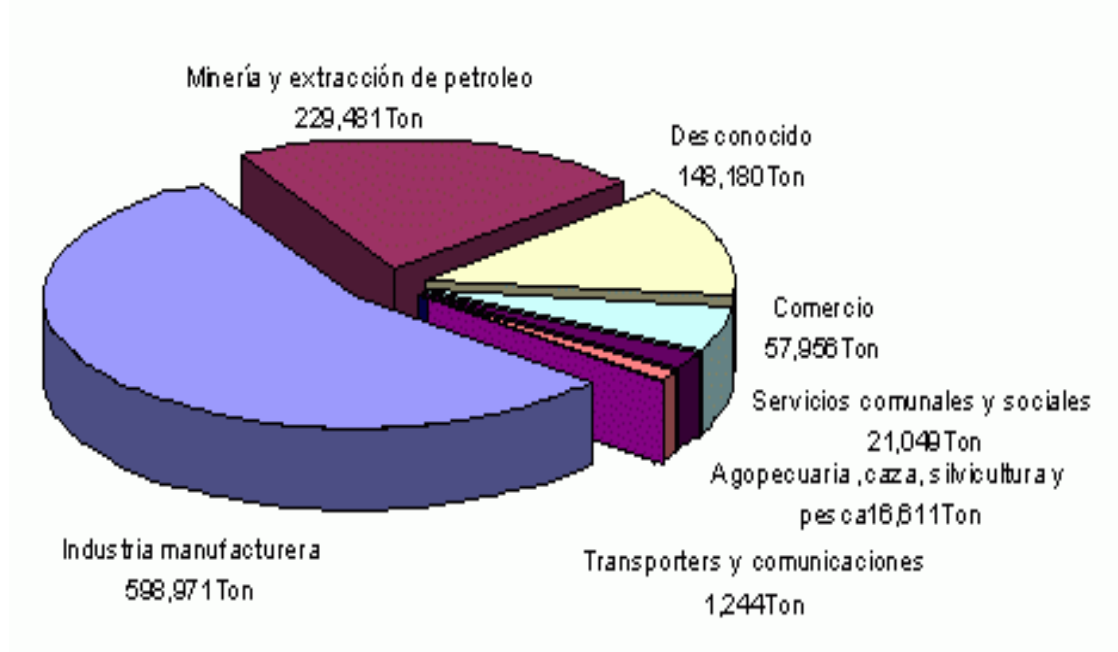


Fig. I.1.2.- Total de residuos peligrosos generados.

FUENTE.- SEMARNAT, INEGI. 2000. Estadísticas del Medio Ambiente, México 1999, Pág 530.

A nivel internacional, México se encuentra entre los países con más alta generación y aunque dista mucho de las 213 millones de toneladas producidas por los Estados Unidos, su generación total es comparable con países como Alemania y Francia, pero se observa una marcada diferencia en cuanto a la intensidad de generación medida en unidades de PIB, ya que México con 16.1 ton/1000 USD tiene una intensidad de generación de más del doble que Francia y Alemania, con una generación total equivalente. Por otra parte, la PROFEPA informó que ha evaluado 6,048 instalaciones, 1,324 empresas clasificadas como grandes, 1,050 medianas, 1,665 pequeñas y 2,009 micros. [6]

Giro industrial	Número
1.Química	2768
2.Petroquímica básica	42
3.Petróleo	622
4.Celulosa y papel	1491
5.Vidrio	422
6.Cemento	518
7.Cal	561
8.Metalúrgica	1370
9.Automotriz	1736
10.Eléctrica	83
11.Pinturas y tintas	250
12.Asbestos	92
13.Servicios de transporte, almacenamiento, tratamiento, reciclaje, incineración o disposición de residuos peligrosos	270
14.Hospitales	3140
15.Otros generadores	14712
TOTAL	28077

TABLA I.2.1-Principales fuentes de contaminación ambiental de competencia federal.

FUENTE.- SEMARNAT, PROFEPA. 1998. Informe Trianual 1995-1997. Pág. 35. México

I.2.- EL RETRASO DE MÉXICO EN RECICLAJE DE RESIDUOS.

Actualmente México se encuentra 20 años atrás de Estados Unidos y 30 años detrás de Europa en su capacidad de reciclado de residuos industriales. En México no existen figuras exactas del reciclaje de residuos industriales, los materiales que son reciclados y reutilizados más frecuentemente, incluyen además, ladrillos, papel, cerámica, vidrios y tierra de la capa superficial del suelo. Tierra de la excavación del metro en la Ciudad de México, por ejemplo, es utilizada para crear zonas de reforestación.

El reciclaje de otros residuos industriales más prominentes, como cemento y asfalto aún no prevalece en México debido en parte a la gran cantidad de capital que involucra.

► Composición Física

Material de excavación	43.16%
Concreto	24.38%
Block Tabique	23.33%
Tablaroca Yeso	4.05%
Madera	1.52%
Cerámica	0.85%
Plástico	0.78%
Piedra	0.62%
Papel	0.49%
Varilla	0.48%
Asfalto	0.25%
Lámina	0.09%

Fig. I.2.- Composición física de los residuos de la construcción.

Fuente.- Revista Ingeniería Civil, Num. 325, mayo 1996

I.2.1.- Estándares y criterios necesarios.

Se ha hecho hincapié en la necesidad de regular mejor el manejo de residuos en México y establecer estándares mínimos para materiales reciclables. La industria de la construcción no ha recibido la atención ambiental que se debería, existe una necesidad de identificar el volumen de residuos industriales generados, los tipos de materiales utilizados y técnicas aplicables y criterios para el manejo y el reciclaje de esos residuos.

Recientemente se ha hecho un trabajo para proponer una Norma Oficial mexicana NOM para regular mejor los residuos industriales y materiales de reciclaje. La Ciudad de México necesita reciclar el 100% de materiales de construcción en un lapso de 5 años. El 31.6% de los residuos orgánicos y el 31% de los residuos inorgánicos en México podrían ser potencialmente reciclados a costos mínimos si se establecieran separación de residuos y sistemas de recuperación antes de la recolección de basura y su disposición.

Mientras que las compañías en México están comenzando a instalar equipo para el reciclaje y explorar diferentes usos para residuos peligrosos como combustibles alternativos en la industria del cemento, la mayoría de las compañías, se siguen prefiriendo disponer de sus residuos ilegalmente. Existen compañías que, simplemente no están dispuestas a pagar mayores tarifas y costos por la disposición apropiada o el tratamiento de residuos.

1.2.2.- Generación y composición de los residuos de construcción y demolición.

La cuantificación del volumen de producción y composición de los RCD todavía se enfrenta al problema de la falta de datos o estadísticas fiables en muchos países, lo que ha obligado hasta el momento (salvo en casos contados) a manejar estimaciones efectuadas a través de cálculos indirectos o basadas en muestras de limitada representatividad.

Por otra parte, existen diversos factores que influyen claramente en el volumen y composición de los RCD generados en un determinado momento y ámbito geográfico. Entre ellos cabe destacar los siguientes:

- Tipo de actividad que origina los residuos: construcción, demolición o reparación/rehabilitación.

ANTECEDENTES.

- Tipo de construcción que genera los residuos: edificios residenciales, industriales, de servicios, carreteras, obras hidráulicas, etc.
- Edad del edificio o infraestructura, que determina los tipos y calidad de los materiales obtenidos en los casos de demolición o reparación.
- Volumen de actividad en el sector de la construcción en un determinado período, que afecta indudablemente a la cantidad de RCD generados.

Políticas vigentes en materia de vivienda, que condicionan la distribución relativa de las actividades de promoción de nuevas construcciones y rehabilitación de existentes o consolidación de cascos antiguos. [1]

ACTIVIDAD	OBJETO	COMPONENTES PRINCIPALES	OBSERVACIONES
Demolición	Viviendas Otros edificios: Obras públicas	Antiguas: mampostería, ladrillo, madera, yeso, tejas Recientes: ladrillo, concreto, hierro, acero, metales y plásticos Industriales: concreto, acero, ladrillo, mampostería Servicios: concreto, ladrillo, mampostería, hierro, madera. Mampostería, hierro, acero, concreto armado	Los materiales dependen de la edad del edificio y del uso concreto del mismo en el caso de los de servicios Los materiales dependen mucho de la edad y el tipo de infraestructura a demoler. No es una actividad frecuente.
Construcción	Excavación Edificación y	Tierras concreto, hierro, acero, ladrillos,	Normalmente se reutilizan en gran parte. Originados básicamente por recortes,

Obras Públicas	bloques, tejas, materiales cerámicos, plásticos, materiales no férreos.	materiales rechazados por su inadecuada calidad y roturas por deficiente manipulación.
Reparación y mantenimiento	Suelo, roca, concreto, productos bituminosos.	Generación de residuos poco significativa en el caso de edificación.
Reconstrucción y rehabilitación	Viviendas: cal, yeso, madera, tejas, materiales cerámicos, pavimentos, ladrillo. Otro: concreto, acero, mampostería, ladrillo, yeso, cal, madera.	

TABLA I.2.3.- Clasificación de los RCD de acuerdo con el tipo de actividad.

FUENTE.- Boletín "Habitat" No2, Aguilar A., España, 1997

I.3.- NORMATIVA ESPAÑOLA.

En la actualidad se está trabajando en España en la elaboración de normas específicas que regulen la utilización de estos materiales tanto en el campo de la vialidad como en la fabricación de concreto. Esta normativa sólo permitirá utilizar hasta un máximo de 20% de agregado reciclado, aunque se ha comprobado en laboratorio que puede utilizarse hasta un 30% de este material sin problemas.

La utilización de un 20% de concreto con gravas recicladas permitiría ahorrar la extracción de 7,7 millones de toneladas/año de piedra de las canteras, lo que supondría una reducción de las toneladas de escombros que se acumulan en los tiraderos y de los costes sociales que esto representa; y por otro lado una reducción del impacto en el paisaje que provoca la extracción de agregados pétreos de las canteras.

I.3.1.- Experiencias previas.

En España son varias las instituciones que han realizado estudios de sustitución de parte de las gravas recicladas que se usa para hacer concreto por residuos procedentes de la construcción y de escombros, entre ellos, la Universidad Politécnica de Madrid, la Universidad Politécnica de Cataluña y el CEDEX (Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas), entre otros. Las pruebas de laboratorio demostraron que cuando se utiliza hasta un 20% de agregados reciclados la calidad del concreto no se ve afectada. [3]

I.3.2.- Impacto ambiental del concreto.

La producción mundial anual de cemento de 1,6 billones de toneladas ocasiona aproximadamente el 7% de la carga total de dióxido de carbono en la atmósfera. El cemento Pórtland, el principal cemento hidráulico en uso en la actualidad, no es solamente uno de los materiales más utilizados en la construcción, sino también es responsable de una gran cantidad de gases de efecto invernadero. La producción de 1 tonelada de cemento Pórtland requiere aproximadamente 4 GJ de energía, y su fabricación libera aproximadamente 1 tonelada de dióxido de carbono a la atmósfera. Las grandes cantidades de extracción de materias primas tales como caliza y arcilla, y el combustible como el carbón, a menudo resultan en una deforestación extensiva y pérdida de suelo superficial.

El concreto común contiene aproximadamente un 12% de cemento y 80% de agregados en masa. Esto significa que globalmente, para hacer el concreto, se están consumiendo arena, grava, y roca triturada a una velocidad de 10 a 11 billones de toneladas por año. Las operaciones de extracción, procesado, y transporte que involucran tales cantidades de

agregados consumen a su vez, cantidades considerables de energía, y afectan adversamente la ecología en las áreas forestadas y lechos de los ríos. La industria del cemento también emplea grandes cantidades de agua: el requerimiento de agua de mezclado solamente es de aproximadamente 1 trillón de litros, cada año. No hay estimaciones confiables, pero grandes cantidades de agua se usan como agua de lavado en la industria del cemento elaborado y para el curado del concreto.

Además de los tres componentes primarios, esto es, cemento, agregados, agua, se incorporan numerosos aditivos químicos y minerales a las mezclas de concreto. Ellos también representan enormes entradas de energía y materiales en el producto final.

La velocidad de consumo mundial de cemento se espera que alcance alrededor de 2 billones de toneladas para el año 2010, hay sus ministros adecuados de sus productos puzolánicos y cementicios que se pueden emplear como sustitutos del cemento, eliminando así la necesidad de una mayor producción de clínker de cemento Portland.

El agregado reciclado, particularmente el de albañilería, tiene una porosidad más alta que el natural. Por eso, con una trabajabilidad dada, el requerimiento de agua para hacer concreto fresco tiende a ser alto y las propiedades mecánicas del concreto endurecido se ven afectadas adversamente. El problema se puede resolver usando mezclas de agregado natural y reciclado o usando aditivos reductores de agua y cenizas volantes en el concreto.

Sin duda, el mayor desafío que la industria del concreto enfrenta durante el siglo XXI es lograr una patrón sustentable de crecimiento. La tarea es formidable pero las ideas muestran que se logran siempre que hay a un desplazamiento del paradigma de la cultura de las

velocidades aceleradas de construcción a un a cultura de conservación de la energía y materiales. Finalmente, se puede citar al poeta alemán Goethe: “El saber no es suficiente, debemos practicar; el deseo no es suficiente, debemos actuar”. [5]

I.4.- RESIDUOS DE LA CONSTRUCCIÓN.

Los residuos de la construcción y de la demolición de construcciones representan cerca de la mitad del volumen de residuos que llegan a los sitios de disposición final, por lo cual su separación y recuperación temprana, con fines de aprovechamiento, demandan atención prioritaria en el contexto de la nueva legislación de los residuos de México. Sobre todo, porque la mayor parte de estos residuos son susceptibles de valorización y por la necesidad de disminuir la presión que ejerce sobre los recursos naturales la obtención de materiales vírgenes que emplea el Sector de la Construcción.

Materiales de limpieza de sitios	Arbustos, árboles y materiales de poda
Materiales de excavación	Tierra, roca y materiales granulares
Materiales de carreteras	Losas y pedruzcos de concreto o asfalto de la construcción de carreteras, caminos y puentes o de su renovación.
Materiales de nuevas construcciones*	Residenciales, comerciales e industriales.
Materiales de renovaciones, reparaciones o remodelaciones*	Residenciales, comerciales e industriales.
Materiales de demolición, incluyendo desmantelamiento, desconstrucción, implosión destrucción*	Residenciales, comerciales e industriales.
Restos de desastres (por ejemplo: sismo)	Residenciales, comerciales e industriales.

TABLA I.4.- Fuentes representativas de generación de residuos de la construcción y de la demolición.

FUENTE.- www.epa.gov/epaoswer/nonhw/debris-new/index.htm.

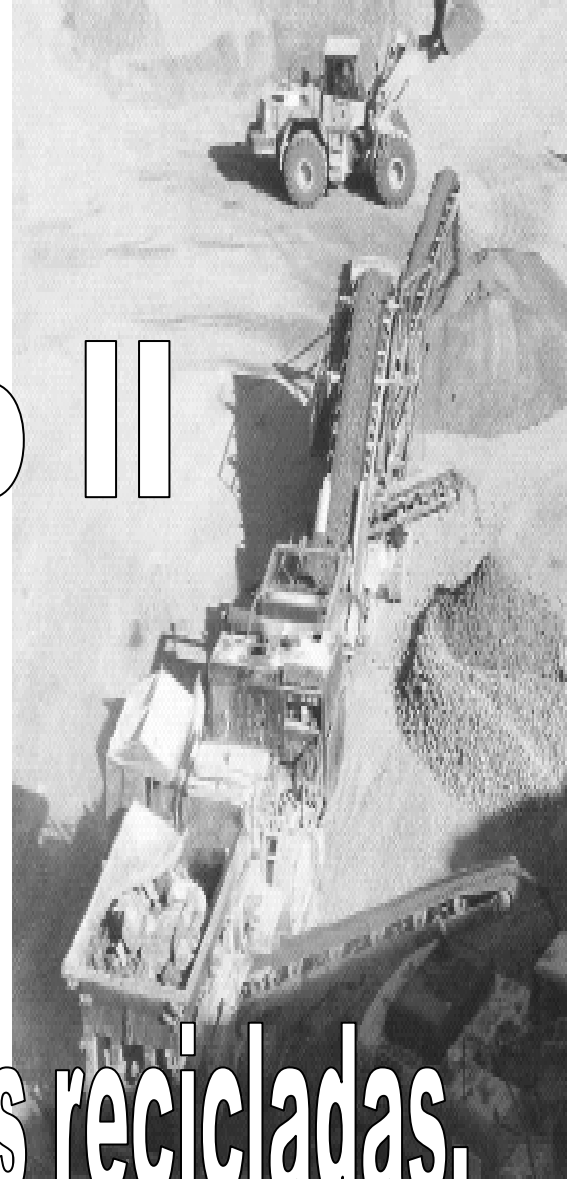
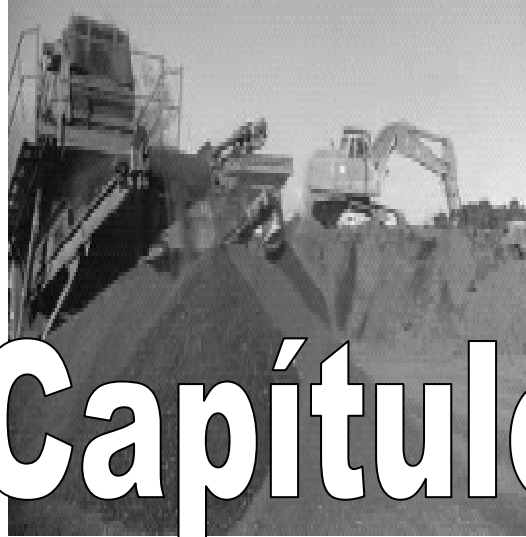
Existen variados ejemplos de aprovechamiento de los residuos de la construcción y demolición, que en el caso de México convendría conocer y determinar la forma en que se han estado aprovechando o comercializando. [2]

ANTECEDENTES.

Componentes	Ejemplos
Madera	Marcos de puertas y ventanas, vigas, laminados, astillas, troncos
Materiales de paredes de "tabla-roca"	Yeso, papel y otros
Metales	Tuberías, herrería, lámparas y otros componentes de aluminio, cobre, bronce, acero inoxidable y otros metales.
Plásticos	Puertas, ventanas, pisos, tuberías
Techos	Vigas de asfalto y madera, tejas, lozas, esquistos, fieltros.
Pedacería o restos de materiales	Asfalto, concreto, rocas, tierra, cenizas.
Ladrillos	Ladrillos de barro, bloques decorativos.
Vidrio	Ventanas, espejos, lámparas.
Misceláneos	Alfombras, aislamiento, azulejos, accesorios.

TABLA I.4.1-Ejemplos y componentes potencialmente reciclables de los residuos de la construcción, mantenimiento y demolición.

FUENTE.- www.epa.gov/epaoswer/non-hw/debris-new/index.htm.



Capítulo II



Generación de gravas recicladas.



Fuente: Ferrer J.L., *Sostenibilidad en Ingeniería Civil y Reciclaje de Residuos*, Cátedra Mariano López Navarro, Zaragoza, 1y-2 de Abril 2008.

CAPITULO II.

II.1.- PROCESOS DE PRODUCCIÓN.

II.1.1.- Definiciones.

Se entiende por residuos de construcción y demolición (RCD), a cualquier sustancia u objeto que, se genere de la construcción o demolición. En función de la naturaleza de los residuos de origen, las gravas recicladas se pueden clasificar en:

1.-	Los procedentes del concreto.
2.-	Las gravas recicladas cerámicas.
3.-	Las gravas mixtas, cuando proceden de una mezcla de residuos de distinta naturaleza. [12]



Fig. II.1.1.- Gravas recicladas cerámicas.

FUENTE.- Revista Ambienta, *Reutilización y reciclaje de los residuos del sector de la construcción*, Cauchí A. y Sagrera A., España, 2007.

II.1.2.- Definición de concreto reciclado.

Se entiende por concreto reciclado al concreto fabricado con gravas recicladas o una mezcla de agregado reciclado y grava natural. Los numerosos estudios realizados hasta el momento han analizado la influencia que tienen sobre el concreto la utilización de la grava gruesa y el agregado fino reciclado. [7]

II.1.3.- Pliego de condiciones técnicas de gravas (España).

Definición y características de los elementos.

Agregados utilizados para alguno de los siguientes usos:

- Confección de concreto.
- Confección de mezclas grava-cemento para pavimentos
- Material para drenajes
- Material para pavimentos.

Su origen puede ser:

- Gravas naturales, procedentes de un yacimiento natural.
- Gravas naturales, obtenidos por machaqueo de rocas naturales.
- Gravas procedentes de escorias siderúrgicas.
- Gravas procedentes del reciclaje de residuos de la construcción o demoliciones, provenientes de una planta legalmente autorizada para el tratamiento de este tipo de residuos.

Los agregados naturales pueden ser:

- De piedra granítica.
- De piedra caliza.

GENERACIÓN DE LAS GRAVAS RECICLADAS.

Los agregados procedentes del reciclaje de derribos de la construcción que se han considerado son los siguientes:

- Gravas recicladas procedentes de construcciones de ladrillo.
- Gravas recicladas procedentes de concreto.
- Gravas recicladas mixtas.
- Gravas recicladas prioritariamente naturales.

II.1.4.- Características generales de las gravas como producto del reciclaje.

Los agregados procedentes de reciclaje de derribos no contendrán en ningún caso restos procedentes de construcciones con patologías estructurales, tales como cemento aluminoso, áridos con sulfuros, sílice amorfa o corrosión de las armaduras.

Los granulos tendrán forma redondeada o poliédrica.

La composición granulométrica estará en función de su uso y será la definida en la partida de obra en que intervenga, o si no consta, la fijada explícitamente por la disposición final.

Estarán limpios y serán resistentes y de granulometría uniforme. No tendrán polvo, suciedad, arcilla, margas u otras materias extrañas.

Diámetro mínimo: 98% retenido tamiz 4 (UNE-EN 933 -2).

II.1.5.- Agregados procedentes del reciclaje de residuos de la construcción y demoliciones.

El material ha de proceder de una planta legalmente autorizada para el tratamiento de residuos de la construcción.

El material no será susceptible de ningún tipo de meteorización o de alteración física o química bajo las condiciones más desfavorables que presumiblemente puedan darse en el lugar de empleo.

No han de dar lugar, con el agua, a disoluciones que puedan causar daños a estructuras, capas de firmes, o contaminar el suelo o corrientes de agua.

Elementos de la familia	Precio
Costo de grava de agregado reciclado de concreto de 20 a 40 mm.	13,09 €/t
Costo de grava de agregado reciclado de concreto de 40 a 70 mm.	13,09 €/t
Costo de grava de agregado reciclado mixto concreto-cerámico de 20 a 40 mm.	12,05 €/t
Costo de grava de agregado reciclado mixto concreto-cerámico de 40 a 70 mm.	12,05 €/t

Tabla II.1.5.- Precios de gravas recicladas (España).

Fuente.- www.construmatica.com, fecha de consulta 20 octubre 2008.

II.2.- RECUPERACIÓN.

II.2.1.- Demolición selectiva en el lugar de origen.

Primeramente se debe de evitar que los escombros del concreto se mezclen con tierras y se reduzca al máximo el contenido de otros materiales de construcción que resultan indeseables.

Es conveniente separar los escombros de mampostería y los del concreto durante el proceso de demolición para evitar así, tratamientos posteriores.

Es necesario planificar y dirigir los trabajos de demolición de una manera completamente diferente a los métodos tradicionales. Este tipo de selección se realiza de la manera contraria al proceso de construcción e implica los siguientes pasos:

- | | |
|-----|--|
| 1.- | Sacar los desechos y las molduras no fijas (a mano). |
| 2.- | Desmantelar los elementos no fijos como: puertas, ventanas, tejados, instalaciones de agua, electricidad y calefacción, etc. |
| 3.- | La demolición de la estructura (con martillo, voladura, etc.). [17] |

GENERACIÓN DE LAS GRAVAS RECICLADAS.



Fig. II.2.1 Acopio de materia prima (der.) y obtención de agregados (izq.).

FUENTE.- Domínguez Lepe J. y Martínez L., *Artículo de investigación*, Ingeniería, 2007.

En una primera aproximación, los materiales contenidos en los RCD que técnicamente son aprovechables se pueden clasificar de la siguiente forma:

- *Materiales reutilizables*, constituidos fundamentalmente por piezas de acero estructural, elementos de maderas de calidad y/o recuperados en buen estado, piezas de fábricas (ladrillo, bloque, mampostería), tejas (cerámicas y de pizarra) y tierras de excavación. En ciertos casos, la mezcla de residuos de demolición no seleccionados pero libres de "impurezas" puede ser directamente utilizada como material de relleno, sub-bases de carreteras o pavimento en vías temporales de tránsito de vertederos.

- *Materiales reciclables*, constituidos fundamentalmente por metales (féreos y no féreos), plásticos y vidrio. Estas fracciones, en la medida que pueden recuperarse libres de impurezas, son susceptibles de incorporarse al mercado del reciclado para dar lugar a los mismos o similares productos que originaron el residuo.

GENERACIÓN DE LAS GRAVAS RECICLADAS.

• *Materiales destinados a la fabricación de productos secundarios*, aparte de los metales, plásticos y vidrio que, además de reciclarse se pueden destinar a este fin, son fundamentalmente los materiales pétreos, cerámicos (ladrillos), concreto y pavimentos bituminosos los que pueden dedicarse a la fabricación de productos secundarios. [1]



Fig. II.2.1.1.- Procesos de la recuperación del concreto.

FUENTE.- Revista "Investigación", *Reutilización de residuos de concreto*, Chile.

II.2.2.- Proceso de reciclaje de los RCD's

II.2.2.1.- Pesaje.

El proceso comienza con la llegada de los residuos a la planta en camiones que acceden al recinto donde se supervisa la carga controlando el origen, tipo, características y pesos en la báscula y posteriormente descargan los residuos en la zona de descarga. [11]

GENERACIÓN DE LAS GRAVAS RECICLADAS.



Fig II.2.2.- Fotos donde se muestra la inspección visual del residuo para su caracterización (izquierda) y pesaje del vehículo de transporte.(derecha).

FUENTE.- *Tratamiento del R.C.D.* en planta, INTE RCD, Huelva España,

Diagrama descriptivo.



fig. II.2.3.- Esquema general de planta de trituración.

FUENTE.- *Plan de escombros y residuos de obras de la provincia de Córdoba*, España, 2005.

GENERACIÓN DE LAS GRAVAS RECICLADAS.

II.2.2.2.- Separación primaria.

Consiste en la separación de los materiales voluminosos y otros valorizables, del pétreo que se va a tratar en la planta. Puede realizarse manualmente o combinado con medios mecánicos.

Para la separación de los materiales en un conjunto tan heterogéneo como el que se recibe en las plantas de tratamiento de RCD se precisa, en primer lugar, que los componentes se encuentren debidamente liberados y que posean tamaños y formas manejables. Las operaciones unitarias que se pueden realizar en la planta de tratamiento se describen en orden de menor a mayor complejidad.



Fig II.2.2.- Foto donde se aprecia la separación elemental de los RCD's.

FUENTE.- Tratamiento del R.C.D. en planta, INTE RCD, Huelva España,

GENERACIÓN DE LAS GRAVAS RECICLADAS.

II.2.2.3.- Clasificación de los residuos de la construcción y demolición de acuerdo a su peligrosidad.

Entre los RCD`s, en función de su peligrosidad, se pueden distinguir:

- . inertes
- . peligrosos
- . no inertes

Algunos RCD inertes se pueden reciclar con relativa facilidad y suelen utilizarse como componentes de nuevos materiales (gravas para concreto, sub-bases, componentes de prefabricados, etc., otros se han de eliminar.

Los RCDs peligrosos y/o no inertes requieren de un tratamiento específico que asegure una gestión adecuada y la no interferencia en la reciclabilidad del resto.



PRODUCTO / MATERIAL	COMPONENTE POTENCIALMENTE PELIGROSO
Aditivos para el concreto	Hidrocarburos disolventes
Materiales a prueba de humedad	Disolventes, bitúmenes
Adhesivos, masillas, sellantes	Disolventes
Amianto y otras fibras	Fibras inhalables
Madera tratada	Alquitrán, fungicidas, etc.
Sobras de resistentes al fuego	Compuestos halogenados
Pinturas y recubrimientos	Disolventes, plomo, cromo, vanadio
Iluminación	Sodio, mercurio

GENERACIÓN DE LAS GRAVAS RECICLADAS.

Sistemas de acondicionamiento de aire y contra incendios	CFCs
Productos animales	Componentes biopeligrosos
Yesos y placas prefabricadas	Posible sulfuro de hidrógeno

TABLA II.2.3.- Elementos potencialmente peligrosos de los RCD's.

FUENTE.- Apuntes "Medio Ambiente y los materiales", García V., España, 2006.

En México se debe de crear un plan que obligue a los productores de Residuos de la construcción y demolición (RCD), como se hace Europa el cual exige:

- En el momento de solicitar licencia de obras de construcción o demolición deben presentar un contrato con algún gestor autorizado para gestionar los residuos que se generen.
- Incorporar en el proyecto de ejecución los siguientes contenidos:
 - a. Evaluación del volumen y las características de los residuos que se originen.
 - b. Evaluación, en su caso, de los residuos (tierras y desmontes no contaminados que no necesiten ningún tipo de tratamiento y se pueda destinar directamente a restauración de canteras.
 - c. Medidas previstas de separación en o reciclaje in situ durante la fase de ejecución de la obra.
 - d. Valoración económica del coste de una gestión adecuada de los residuos.
- Depositar una fianza en el municipio o el ayuntamiento correspondiente, ya sea, en caso de obra menor o mayor, en el momento de obtener el permiso.
- Realizar la separación de los residuos en origen, siempre que sea técnicamente posible, de las siguientes fracciones de residuos no peligrosos:
 - a. Residuos inertes (cerámicos, restos de concreto, tierras y similares).

GENERACIÓN DE LAS GRAVAS RECICLADAS.

b. Restos de residuos: envases de cualquier tipo, restos metálicos, restos de madera, plásticos, similares y otros residuos no peligrosos.

- Responsabilizarse del transporte de los residuos hasta el centro de transferencia y pre-tratamiento o plantas de tratamiento.
- Abonar los costes que genere la gestión de los residuos. ^[10]

II.2.2.4.- Trituración primaria.

La trituración es un proceso de reducción de materiales comprendido entre los tamaños de entrada de 1 m a 1 cm., diferenciándose en trituración primaria (de 1 m a 10 cm.) y trituración secundaria (de 10 cm. a 1 cm.) ^[12]

Este proceso reduce el tamaño del escombros y, a la vez, se consigue la liberación de los materiales, como en el caso del hierro del concreto armado. Se distingue entre trituración primaria y secundaria según sea el tamaño alimentado y la granulometría del producto requerido.

TRITURACIÓN PRIMARIA	TRITURACIÓN SECUNDARIA
Machacadora de mandíbulas.	Machacadora de conos o giratoria.
Machacadora de mandíbulas.	Machacadora de impacto.
Machacadora de impacto.	Machacadora de impacto.

GENERACIÓN DE LAS GRAVAS RECICLADAS.

Machacadora de impacto.

Tabla III.3.1.- Tipos de trituradoras empleadas.

FUENTE.- Sánchez de J., Marta, Tesis: Áridos reciclados, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, España, 2004.

Los equipos utilizados son los siguientes:

El triturador de rodillo, de flujo horizontal reduce el tamaño de acuerdo con la proximidad de la base del alimentador de placas que le suministra material. Tiene la ventaja de poder situarse a nivel del suelo o con una rampa de inclinación mínima, lo que le hace muy ventajoso para la trituración de vigas de concreto de gran longitud.

Las machacadoras de mandíbulas, de flujo horizontal o vertical. Son de construcción muy robusta, con gran abertura de entrada para elementos voluminosos y fiabilidad de funcionamiento. El inconveniente de estas máquinas es que producen materiales de baja cubricidad, y su ventaja es que sufren menores desgastes aún con materiales muy abrasivos. [16]

Separador magnético.

Por la separación magnética se retiran elementos metálicos valorizables o que entorpecen la fase siguiente del proceso. Son máquinas del tipo overband (sobre banda). Detrás de toda trituración debe existir una separación magnética que elimine los materiales metálicos liberados, por las siguientes razones:

Los metales son materiales valorizables. De hecho, la armadura de acero del concreto es

GENERACIÓN DE LAS GRAVAS RECICLADAS.

un producto que se vende muy fácilmente en las instalaciones de reciclado de RCD.

Los agregados reciclados obtenidos a partir de RCD deben tener la mínima cantidad posible de metales, puesto que a mayor presencia de éstos en el árido, menor calidad del reciclado. Además, la presencia de materiales metálicos en la etapa de trituración secundaria reduce sensiblemente la vida útil de la maquinaria debido a su excesiva abrasividad.



fig. II.2.4.- Separador magnético.

FUENTE.- http://pdf.directindustry.es/pdf/drago-electronica/detector-de-metales-50613-32236.html#pdf_32236

II.2.2.5.- Separación secundaria.

Probablemente se a la operación más simple y su ele si tuarse al principio del proceso, o intercalada en otras fases posteriores para facilitar la recuperación de productos valorizables o la eliminación de ciertos elementos que entorpecen el paso siguiente. Para realizar el estrío se

GENERACIÓN DE LAS GRAVAS RECICLADAS.

suelen instalar cintas transportadoras de banda ancha, rodillos planos y baja velocidad, montadas sobre una estructura elevada respecto al terreno, con pasillos a ambos lados sobre los que se disponen los operarios, que escogen los materiales a separar (metales, maderas, plásticos, et c.) y los depositan en unos buzones. En la parte baja se colocan los distintos contenedores que recogen los materiales seleccionados en el estrío. [16]

Estos materiales recuperados son compactados y enviados a industrias recicladoras, donde podrán ser transformados en subproductos aptos para su uso como materias primas.

Para retirar los posibles fragmentos de plásticos ligeros, como por ejemplo las bolsas de plástico (polietileno de baja densidad) se usa un aspirador neumático al final de la línea.

Los residuos ya clasificados en diferentes granulometrías tienen como destino las plantas reciclado o bien su puesta directa en el mercado. [15]



Fig. II.2.5.- Foto de separación secundaria.

FUENTE.- Tratamiento del R.C.D. en planta, INTE RCD, Huelva España,

II.2.2.6- Cribado por medio de Trommel.

GENERACIÓN DE LAS GRAVAS RECICLADAS.

Consistente en un a máquina que discrimina los diferentes materiales existentes dentro del ella. Éste se basa en una gran centrifugadora que cuenta con un éxito importante a la hora de se parar fundamentalmente los posibles restos y, por lo tanto, contaminar el resto de materiales muy fácilmente reciclables. Esta separación del resto también ayuda y facilita la selección manual posterior de otras fracciones. [14]

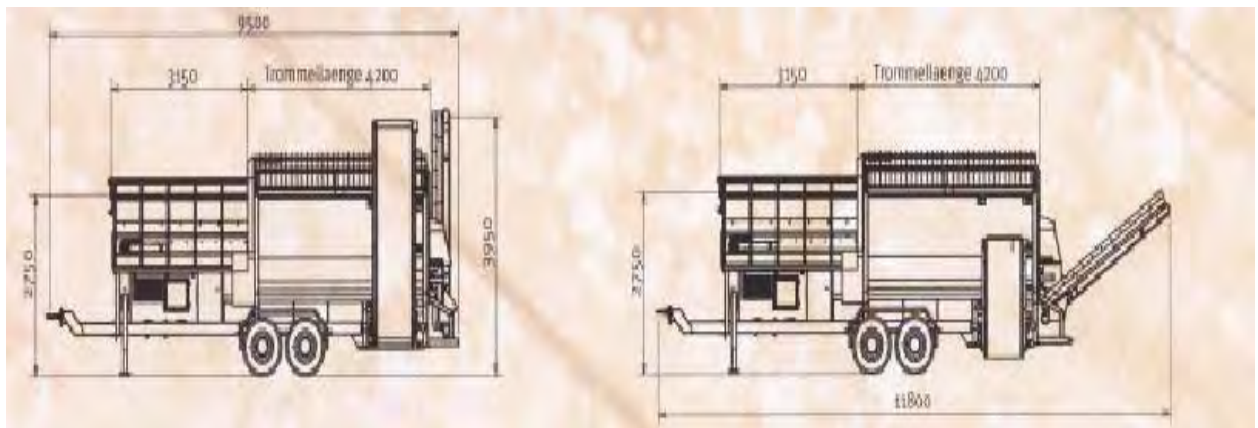


Fig. II.2.6.- Especificaciones técnicas cribadora rotatoria T4 (Terra Select).

FUENTE.- Catalogo Terra Select , www.terraselect.com.

Este equipo actúa como una criba rotatoria, compuesta por mallas de luz variables, separando los materiales en función de su tamaño. [17]



Fig. II.2.6.1.- Trommel.

FUENTE.- Tratamiento del R.C.D. en planta, INTE RCD, Huelva España,

II.2.8.- Trituración secundaria.

Con esta segunda molienda se reduce el tamaño de partículas para tener un tamaño adecuado.

Para obtener los tamaños de partículas más pequeños se emplean molinos de martillos. Un molino de martillos, machaca un material que no es muy duro, por medio de martillos que giran a gran velocidad (entre 750 rpm. y 1800 rpm.). El material es forzado contra una placa sólida rugosa que disminuye el tamaño de las partículas. Finalmente, el material es forzado contra una rejilla de descarga en donde las partículas más finas caen a través de la rejilla mientras que las partículas más grandes viajan alrededor para otro ciclo machacante. ^[9]

II.3.- PLANTAS DE PRODUCCIÓN DE LAS GRAVAS RECICLADAS.

II.3.1.- Clasificación por generación.

- *Plantas de primera generación:* Carecen de aditamentos para la eliminación de contaminantes, a excepción del acero y otros elementos mecánicos.
- *Plantas de segunda generación:* Añade al tipo anterior de planta mecanismos para la eliminación de contaminantes, ya sea, mecánicos o manuales previos a la trituración, también son proveídos de elementos de limpieza y clasificación del producto triturado.

GENERACIÓN DE LAS GRAVAS RECICLADAS.

- *Plantas de tercera generación:* Dirigidas a una reutilización prácticamente integral de otros materiales secundarios, considerados como contaminantes de los agregados regenerados.

II.3.2.- Clasificación por desplazamiento.

- *Plantas fijas:* Las Plantas fijas de tratamiento gestionan residuos muy heterogéneos. La heterogeneidad de los RCD obliga a equipar la Planta con maquinaria de gran robustez y sobredimensionada para la capacidad nominal prevista en otras aplicaciones.

Cuando se elige un emplazamiento para construir una Planta de RCD, se debe estimar no solo la cantidad de RCD generado en el radio de influencia de la Planta sino también la producción de material reciclado que se puede utilizar en la construcción del entorno. Se define el radio de influencia como la distancia para la cual al agente generador del residuo le resulta más rentable trasladar los RCD a la Planta que depositarlos en vertedero. ^[16]

GENERACIÓN DE LAS GRAVAS RECICLADAS.



Fig III.3.2.- Características de una planta fija de tratamiento de RCD's.

FUENTE.- Planta de tratamiento de residuos de construcción y demolición de Gardelegui, informe de explotación (21/05/07-31/01/08).

- Plantas móviles: Utilizan un remolque de l echo plano como plataforma para el equipo de pre-cribado, trituración, separación magnética y cribado final, junto con transportadoras, conductos y controles. [17]

Las plantas móviles tienen la ventaja de poder ubicarse temporalmente en los centros de generación del residuo con alta disponibilidad a plena carga. Se trasladan por un sistema de orugas (autopropulsadas) o con ruedas de neumáticos (necesitan de cabeza tractora para su traslado). El sistema de orugas es más costoso y está diseñado para el traslado frecuente de la maquinaria por terrenos irregulares y en mal estado. Para el traslado de la maquinaria por diversos emplazamientos fijos y se parados por importantes distancias, es recomendable el sistema de neumáticos.

GENERACIÓN DE LAS GRAVAS RECICLADAS.



Fig. II.3.2.1.- Planta trituradora móvil (Lokotrack LT1213S).

FUENTE.- Catalogo de Plantas trituradoras Serie Lokotrack, (www.metsominerals.com)

Las plantas móviles o semimóviles resultan más caras que las fijas por unidad de tonelaje tratado debido a su carácter compacto y sistema de movimiento. Igualmente son más selectivas en cuanto a la tipología y tamaño del escombros tratado, quedando limitada la calidad de sus productos a las operaciones unitarias que incluyen. Suelen ser de tipo modular, de forma que se puedan acopiar diferentes elementos según las necesidades. ^[16]

GENERACIÓN DE LAS GRAVAS RECICLADAS.

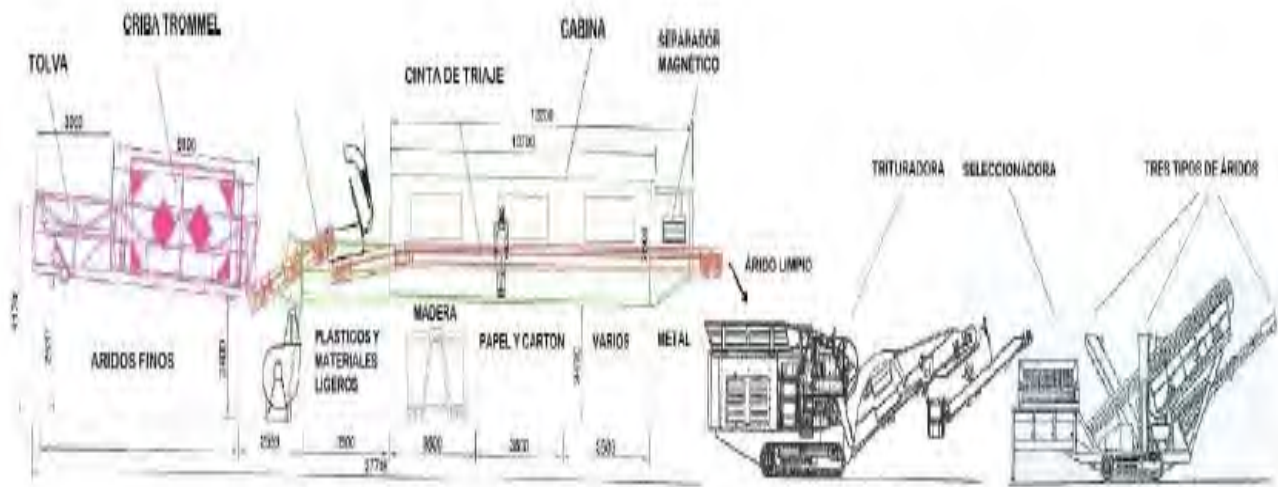


Fig.III.3.2.2.- Montaje planta móvil.

FUENTE.- Equipo de reciclaje, clasificación y cribado con plataforma de triaje y reciclaje para la selección de materiales rcd's y rcu's, Import Grumman, Equipos para la construcción.

II.3.3- Clasificación por nivel tecnológico.

Plantas nivel tecnológico 1.

Se denominan plantas de Nivel tecnológico 1 a aquellas que comportan un desbrozado inicial con la retirada de los elementos indeseables y una clasificación de los productos por tamaño. En estas plantas es fundamental la utilización de mano de obra para la selección inicial junto a la pala excavadora o el escogido posterior sobre una cinta de estribo.

Sería recomendable la instalación de este tipo de plantas de Nivel 1 incluso en centros de transferencia o en vertederos, para conseguir productos más fáciles de valorizar, reciclar o eliminar mediante deposición controlada. A veces, los materiales valorizables separados pueden tener precios interesantes y, desde luego, la gestión posterior del conjunto más homogéneo resulta rentable.

Plantas de Nivel tecnológico 2.

Las plantas de Nivel 2 se recomiendan para producir materiales reciclados de aplicación probada en las obras públicas y construcción. El machaqueo o fragmentación con liberación de los distintos materiales y la clasificación granulométrica de éstos, permite su venta inmediata, disminuyendo notablemente el volumen de residuo a depositar en el vertedero.

Plantas de Nivel tecnológico 3.

Las plantas de Nivel 3 son más apropiadas para el tratamiento de materiales limpios, como son los concretos estructurales armados o no, y escombros cerámicos seleccionados, con un aprovechamiento casi integral de sus componentes. Suelen ser instalaciones de tipo fijo, y son capaces de fragmentar residuos de concreto con grandes dimensiones, especialmente los provistos de trituradores de rodillo de flujo horizontal. Los productos obtenidos de la trituración secundaria con molino de impactos, pueden cumplir la normativa de la grava natural, pues el proceso es similar al de elaboración de un árido machacado y clasificado. El problema de estas plantas, parece radicar en la obtención de material limpio en el radio de influencia de la instalación.

Es particularmente interesante la modalidad de trabajo de estas plantas con mezclas de materiales que cumplen los requisitos especificados por un determinado cliente, quién pagará un sobreprecio por un producto reciclado de acuerdo a su "receta".

Plantas de Nivel de tecnológico 4.

A base de molinos selectivos y clasificaciones en húmedo, no se vislumbra una aplicación inmediata en España, hasta que la reglamentación sobre las tasas de vertido, la

GENERACIÓN DE LAS GRAVAS RECICLADAS.

obligación de reciclar y los precios de venta de los productos, resulten lo suficientemente atractivos para que el inversor privado vea una rentabilidad tanto o más clara que la de cualquier otra industria extractiva.

La calidad del producto de dos plantas, de igual nivel tecnológico, podrá ser muy diferente dependiendo de los sistemas de separación y clasificación que tenga cada una. Los requisitos de granulometría son muy importantes, y dependerán de la regulación de los equipos de trituración y de la eficacia del sistema de cribado. ^[17]

Capítulo III

Propiedades y características.

Fuente: Terrete T. José. Aplicaciones de áridos reciclados. CREC, España.

CAPÍTULO III.

En esta parte del estudio, se recogen los resultados de los ensayos que se han realizado para la caracterización de los agregados reciclados como agregado gruesos para la fabricación de concretos.

Se comparan por un lado los resultados obtenidos para las gravas recicladas fabricados con muestras de laboratorio con los resultados obtenidos con las gravas recicladas procedentes de la planta de tratamiento de RCDs y por otro, se comparan los agregados reciclados con agregados naturales de distintas litologías.

III.1.- GRANULOMETRÍA.

Cuanto mayor es el tamaño máximo de la grava utilizada en el concreto menor será la cantidad de agua empleada en él, puesto que más pequeña es la superficie, con lo cual, a igualdad de cemento, se tendrá una relación agua / cemento más baja y por consiguiente habrá que esperar mayores resistencias.

La relación agua / cemento es un factor importante en la durabilidad del concreto y por ello debe ser tan baja como sea posible y nunca superior a los valores límites establecidos por razones de durabilidad.

PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS.

Como se puede observar en la figura III.1, la granulometría de cada uno de las cuatro gravas estudiadas es continua, con una distribución de tamaños adecuada para la utilización de estos agregados en la fabricación de concretos. Las cuatro curvas granulométricas son muy similares entre sí.

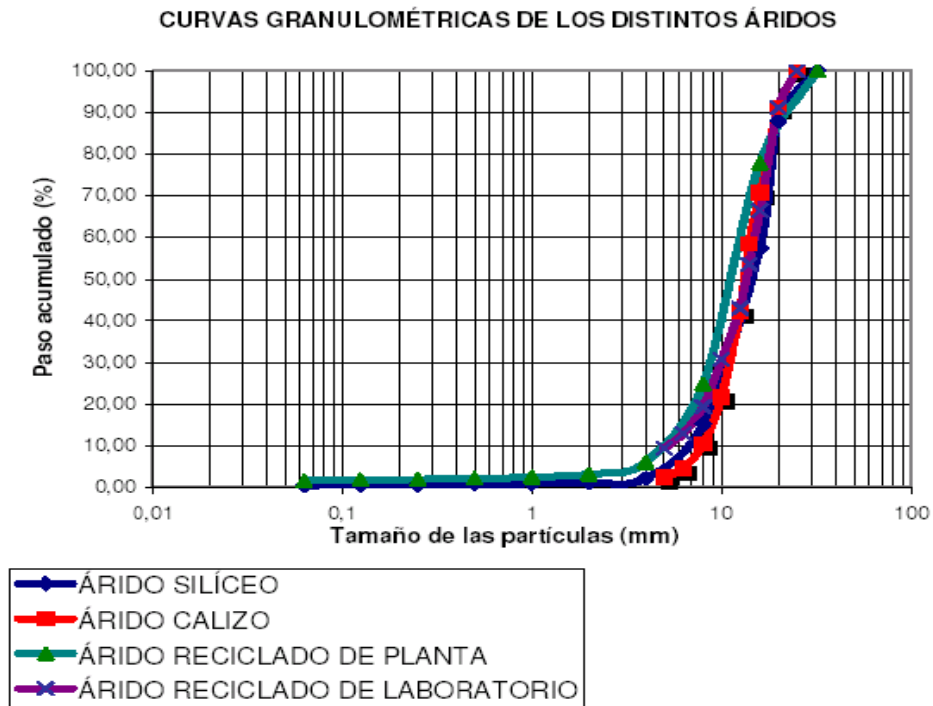


Fig. III.1.- Granulometría de distintos áridos estudiados.

FUENTE.- Astudillo, M., Análisis de los componentes en concretos preparados con áridos reciclados., LOEMCO, España.

III.1.1.- Contenido en finos.

Si los agregados tienen depositadas sobre sus superficies partículas finas tales como polvo, arcilla o finos procedentes del propio machaqueo de éstos, la adherencia con la pasta de cemento queda muy disminuida; incluso los concretos pueden exigir mayor cantidad de agua de amasado como consecuencia del pequeño tamaño de los finos.

PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS.

El contenido en finos que presentan los cuatro agregados pétreos estudiados son los que se representan en la figura III.1.1. Se puede apreciar que la grava más idónea para la fabricación de concreto es el silíceo, ya que es el que menos finos contiene. El agregado calizo y el agregado reciclado presentan un contenido en finos muy similar.

Las gravas recicladas procedentes de la planta de RCD's presenta un contenido en finos menor que el agregado reciclado elaborado en laboratorio; esto se debe al propio proceso de producción industrial de los agregados de la planta, así como al lavado previo al que han sido sometidos.

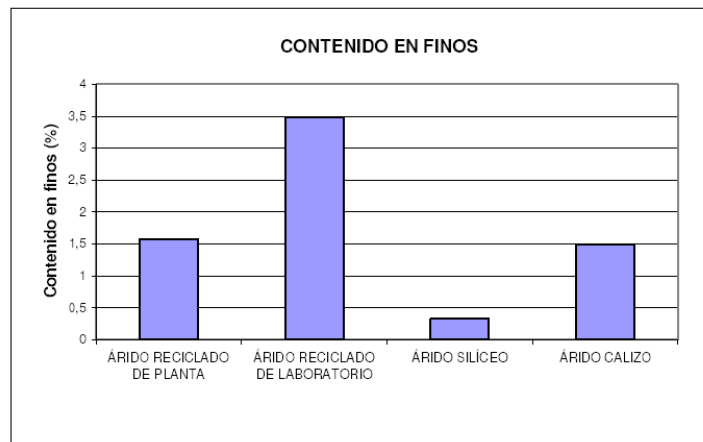


Fig. III.1.1.- Contenido de finos.

FUENTE.- Astudillo, M., Análisis de los componentes en concretos preparados con áridos reciclados., LOEMCO, España

El agregado reciclado, en general, presenta mayor contenido en finos ya que éstos se generan durante su manipulación, además de la aportación del mortero adherido procedente de la pasta en concretos reciclados.

III.1.3.- Coeficiente de desgaste Los Ángeles

El coeficiente de desgaste Los Ángeles del agregado reciclado presenta valores superiores al de las gravas naturales, como puede verse en la figura III.1.2.

El elevado coeficiente de desgaste del agregado reciclado se debe, en gran medida, a que en este ensayo se elimina la mayoría del mortero que queda adherido al agregado.

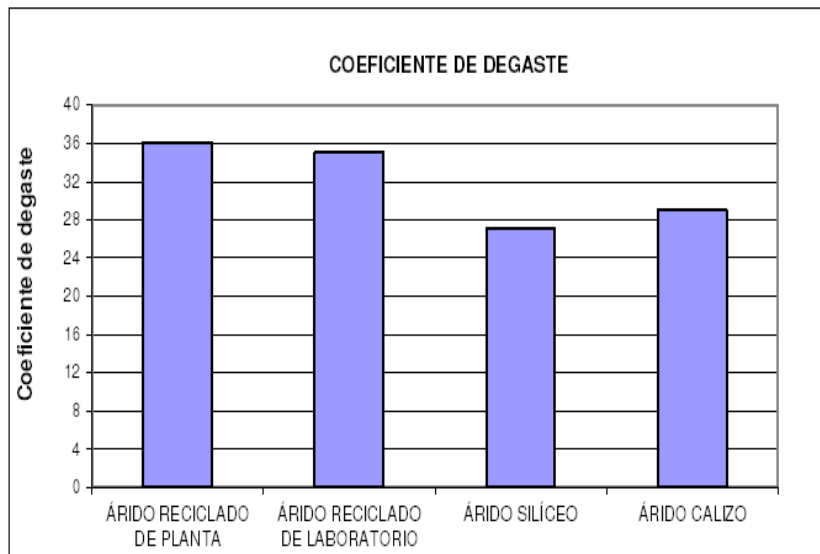


Fig. III.1.2.- Coeficiente de desgaste.

FUENTE.- Astudillo, M., Análisis de los componentes en concretos preparados con áridos reciclados., LOEMCO, España,

III.1.4.- Partículas blandas

El resultado del ensayo de determinación del porcentaje de partículas blandas en la grava reciclada da un valor excesivamente alto en comparación con los valores que se obtienen en los agregados de origen natural.

Los agregados naturales se encuentran por debajo del 5 % de partículas blandas, según el origen del mismo; en cambio, las gravas recicladas presentan valores de hasta el 44 % de partículas blandas.

Esto es debido a que todo agregado que lleve mortero adherido es rayado por el cúzín del esclerómetro con el que se realiza el ensayo, clasificando así dichas partículas como blandas y no determinándose en realidad la dureza del agregado reciclado.

III.1.5.- Coeficiente de friabilidad

El objetivo de este ensayo proporciona una medida relativa de la resistencia de los agregados a la abrasión, cuando se someten a una carga gradualmente aplicada.

El coeficiente de friabilidad que presenta el agregado reciclado es superior al de los agregados naturales, como puede observarse en la figura III.1.4. Esto es fundamentalmente debido, como en el caso del coeficiente de desgaste, al mortero adherido a la grava.

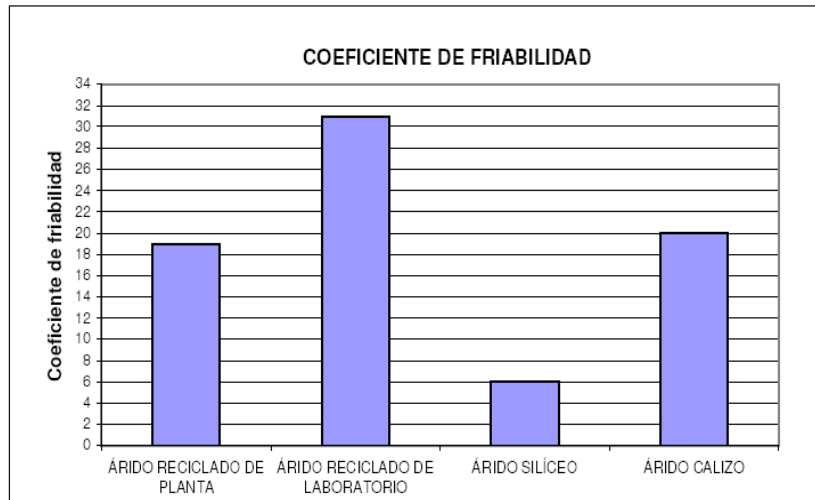


Fig. III.1.4.- Coeficiente de friabilidad.

FUENTE.- Astudillo, M., Análisis de los componentes en concretos preparados con áridos reciclados., LOEMCO, España,

III.1.6.- Absorción de agua

Como puede observarse en la figura III.1.5, la absorción de agua del agregado reciclado es muy superior a la de los agregados naturales.

Esta absorción de agua tan alta del agregado reciclado se debe a la pasta de mortero adherida a las gravas, así como a la mayor absorción que presentan las partículas de naturaleza cerámica, procedente del reciclado de este tipo de materiales.

La absorción de agua es una de las propiedades físicas en las que más diferencia existe entre los dos tipos de agregados, el natural y el reciclado, existiendo, como antes señalábamos, una absorción muy superior por parte del reciclado.

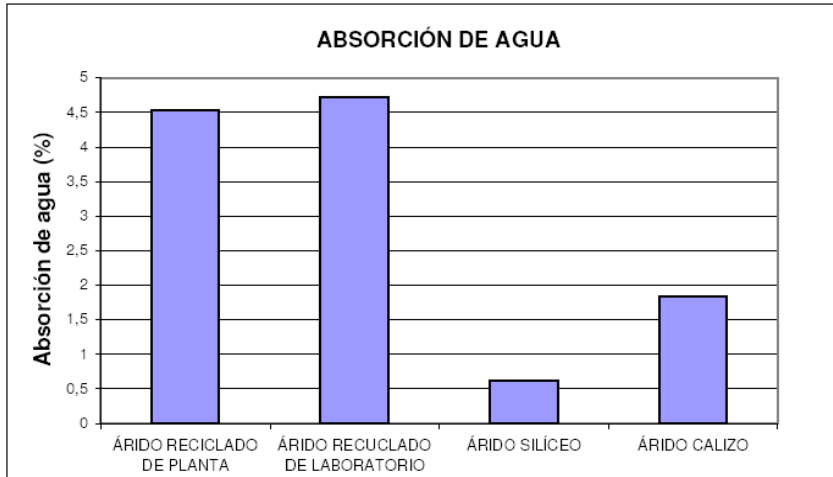


Fig. III.1.5.- Absorción de agua.

FUENTE.- Astudillo, M., Análisis de los componentes en concretos preparados con áridos reciclados., LOEMCO, España,

III.1.7.- Coeficiente de forma

El coeficiente de forma del agregado reciclado es similar al que puede presentar el agregado natural, como se aprecia en la figura III.1.6. [19].

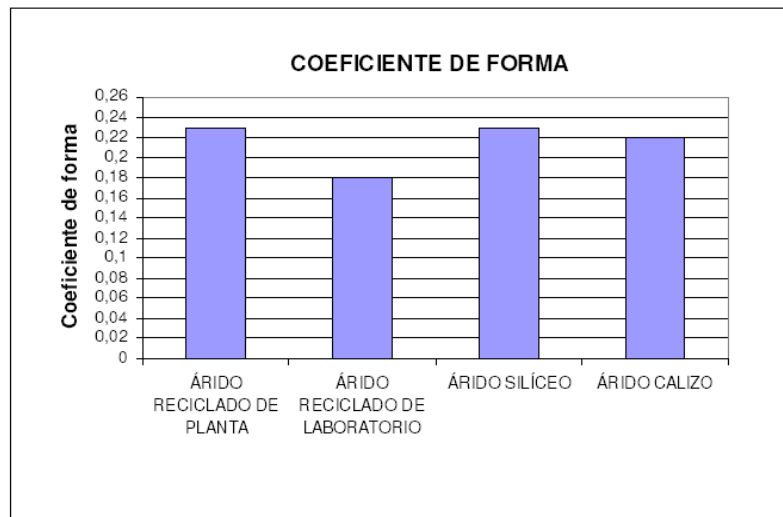


Fig. III.1.6.- Granulometría de distintos áridos estudiados.

FUENTE.- Astudillo, M., Análisis de los componentes en concretos preparados con áridos reciclados., LOEMCO, España.

III.2.- PROPIEDADES MECÁNICAS.

En los siguientes párrafos se presenta el análisis experimental de especímenes de CR con reemplazo de agregados naturales por ARC. Se proporcionan y discuten las propiedades de los agregados empleados; así como tópicos de CR, tales como, compresión simple, tensión indirecta, módulo de elasticidad, contracción y fluencia (básicas y por secado). Los especímenes de prueba contemplan los reemplazos de agregados de 0%, 15%, 30%, 60% y 100% de ARC con respecto del contenido total de agregados gruesos por volumen.

III.2.1.- Experimento.

Para este estudio se utilizaron 4 m^3 de un concreto original (OC) de uso común, procedente de planta puzolona, que se colocaron en elementos de cimbrado de madera con dimensiones de $0.40 \text{ m} \times 0.20 \text{ m} \times 0.10 \text{ m}$. Se dispusieron también para el análisis del comportamiento mecánico 8 cilindros de $\Phi 0.15 \text{ m} \times 0.45 \text{ m}$ y 50 cilindros más de $\Phi 0.15 \text{ m} \times 0.30 \text{ m}$.

Transcurridas 24 horas del colado se procedió al desmoldado, y entonces se sometieron los elementos y especímenes a condiciones de curado para su envejecimiento durante 150 días (ver Tabla III.2.1., donde se dan con detalle las particularidades de este concreto). Los elementos se hicieron después pasar una sola vez por una trituradora semifija de rodillos, con apertura de entrada de 0.45 m y tamaño máximo de salida de 0.025 m . Por último, el material resultante se clasificó en los tamaños: 0-5, 5-10, 10-20, 20-25, de los cuales se tomaron las fracciones 5-10 y 10-20 para constituir los ARC de

PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS.

este trabajo. Dichas fracciones utilizadas representan el 41.3% (fracción 5-10) y el 38% (fracción 10-20) del OC utilizado.

Clasificación		Dosificación [kg/m ³]		Propiedades mecánicas			
Tipo de concreto	H-350-20-B	Cemento	380	Edad	ft	f'c	E
Resistencia	35 Mpa	Grava [12-20]	773	días	MPa	MPa	MPa
Consistencia	Blanda	Gravilla [5-12]	252	7	3.2	35.2	33005
Tamaño máximo de agregado	20 mm	Arena	784				
Tipo de agregado	Caliza del Garraf	Agua	168	28	3.8	38.4	33676
Cemento	CEM I 42.5 R	Plastificante	2.69				
Aditivo	Plastificante	Relación A/C	0.44	90	4.1	45.1	35179

Tabla III.2.1.- Clasificación, dosificación y propiedades del hormigón a base de áridos naturales.

FUENTE.- Argulló, L., Cualidades Físicas y mecánicas de los agregados reciclados del hormigón. Aplicación en concreto. ECCyP de la U.P.de Cataluña, España, 2006.

III.2.2.- Comparación de agregados reciclados con agregados naturales.

La designación utilizada por tamaños fue: para ARC, grava 10-20 y gravilla 5-10; y para los agregados naturales (AN), grava 12-20 y gravilla 5-12. En las Figs. III.2.2 y III.2.2.1 se presentan las granulometrías de los ARC y en la Fig. III.2.2.2 el ajuste granulométrico utilizado para hacer coincidir los perfiles de ARC y AN. El criterio empleado para este ajuste fue el de máxima densidad compactada (el cual reduce la posible influencia de tamaños de partículas diferentes), esto es:

- Para ARC la combinación fue de 55% grava y 45% gravilla.
- Para AN la combinación fue de 70% grava y 30% gravilla.

PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS.

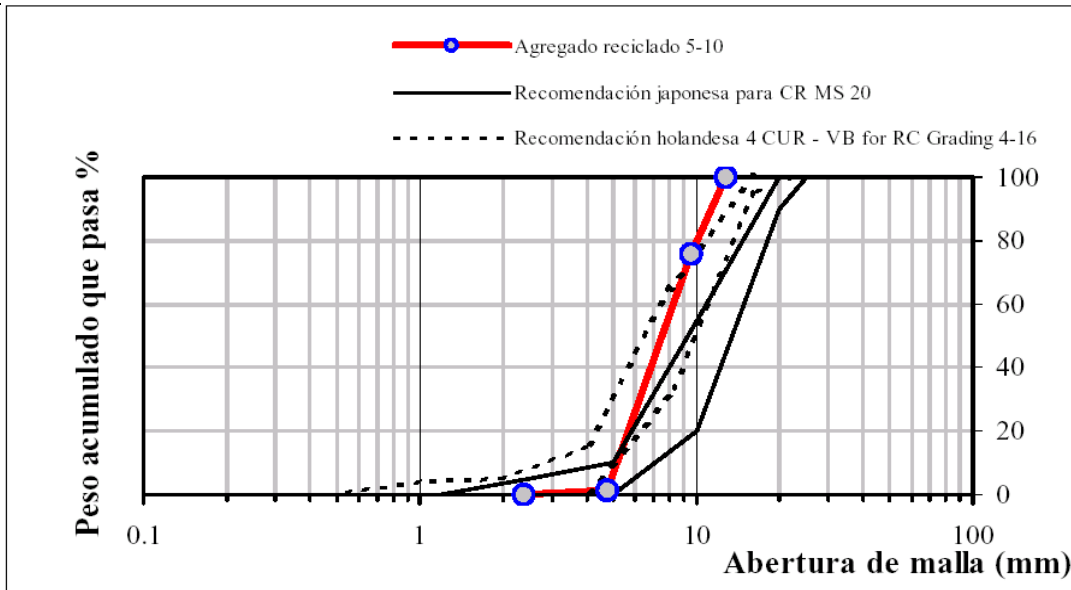


Fig.- III.2.2.- Granulometría Árido reciclado 5-10 mm

FUENTE.- Argulló, L., Cualidades Físicas y mecánicas de los agregados reciclados del hormigón. Aplicación en concreto. ECCyP de la U.P.de Cataluña, España, 2006.

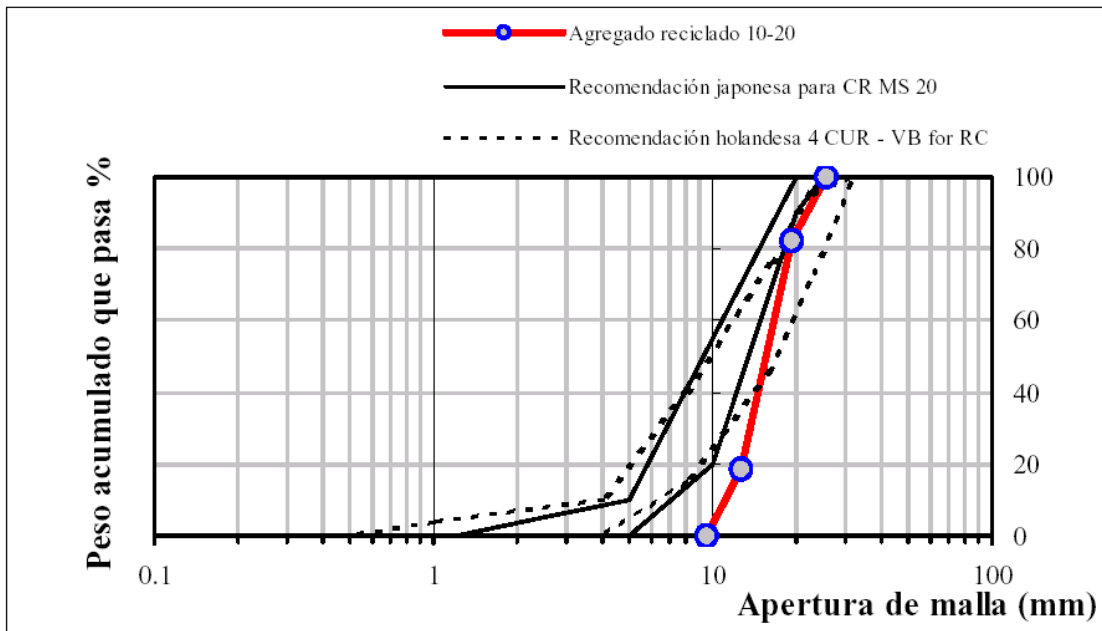


Fig.- III.2.2.1- Granulometría Arido reciclado 10-20 mm

FUENTE.- Argulló, L., Cualidades Físicas y mecánicas de los agregados reciclados del hormigón. Aplicación en concreto. ECCyP de la U.P.de Cataluña, España, 2006.

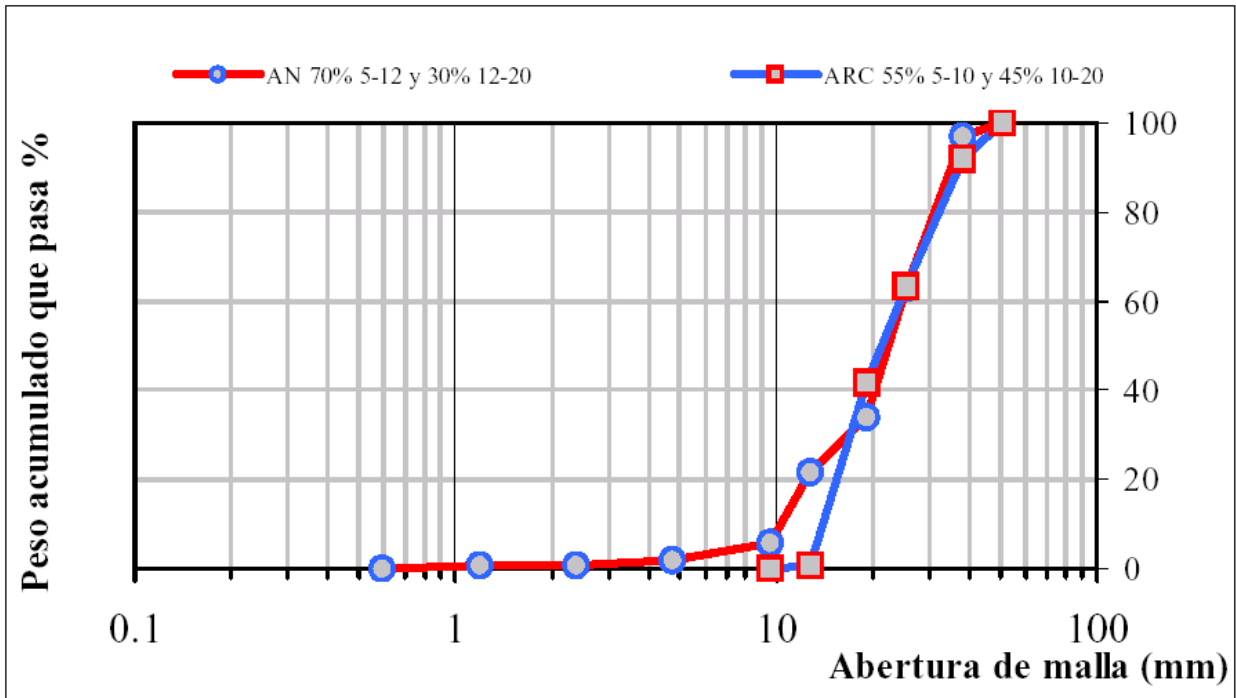


Fig.- III.2.2.2- Ajuste granulométrico de AN y ARC.

FUENTE.- Argulló, L., Cualidades Físicas y mecánicas de los agregados reciclados del hormigón. Aplicación en concreto. ECCyP de la U.P. de Cataluña, España, 2006.

En la Fig. III.2.2.3 se presentan todas las combinaciones de contenidos grava – gravilla para ambos agregados, obsérvese en ésta que la curva de los ARC siempre se mantiene por debajo de la curva de los AN, en el mejor de los casos ésta se encuentra a 230 kg/m^3 por debajo de los AN.

PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS.

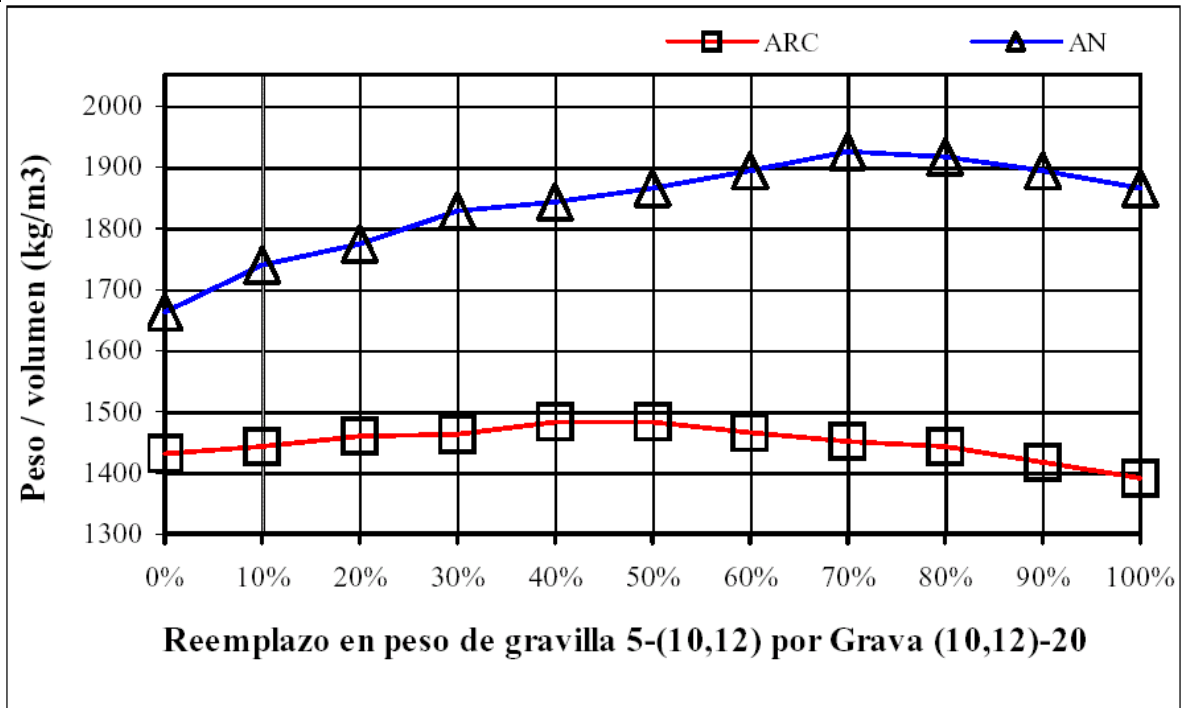


Fig.- III.2.2.3- Densidad compactada de ARC.

FUENTE.- Argulló, L., Cualidades Físicas y mecánicas de los agregados reciclados del hormigón. Aplicación en concreto. ECCyP de la U.P. de Cataluña, España, 2006.

En la Tabla II.2.2, se indican las propiedades de los agregados utilizados. El coeficiente de forma (CF), presentado en esta tabla, para fracción grava es similar en ambos casos; sin embargo para la fracción gravilla los ARC tienden a ser menos esféricos (20%) que los AN. Esto podría ser explicado debido a que las partículas de menor tamaño tienden a ser sometidas a mayor desgaste y sollicitación durante el proceso de triturado, aunado al hecho de que los ARC cuentan con una procedencia de constitución de carácter parcial. No obstante, el CF se mantuvo siempre por arriba de la especificación para concretos comunes (> 0.20).

PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS.

Propiedad	ARC			AN*		
	10-20	5-10	0-5**	12-20	5-12	0-5
CF	0.36	0.46	0	0.36	0.57	0
IL	3	6	0	4	6	0
Modulo de Finura	6	15	0	8	19	0
Equivalente en arena [%]	7.2	6.2	3.8	6.9	5	3.3
Partículas < 200 µm	0	0	93.6	0	0	93.8
	0.06	0.29	9.85	0.5	2.46	9.24

*Agregado calizo, cantera del Garraf, Barcelona. **Fracción no utilizada para fabricar CR.

Tabla III.2.2.- Propiedades de agregados naturales y reciclados.

FUENTE.- Argulló, L., Cualidades Físicas y mecánicas de los agregados reciclados del hormigón. Aplicación en concreto. ECCyP de la U.P.de Cataluña, España, 2006

En cuanto al contenido de materia < 200 µm, era de esperarse que los ARC no aportasen gran cantidad de partículas finas en sus diferentes fracciones, pues las trituradoras de rodillo generan poca cantidad de finos. Asimismo, el proceso de tamizado mecánico utilizado provocó que los finos pasaran de forma rápida a las fracciones 0-5.

Los índices de lajas (IL), reportados en la Tabla III.2.2 nos muestran que los ARC tienen un valor menor que los AN. No obstante, el IL para ambos tipos de agregados siempre se mantiene por debajo de la especificación para concretos comunes (≤ 20).

Los ensayos de la prueba Los Ángeles (LA), presentados en la Fig. III.2.2.3, fueron hechos sometiendo las fracciones gravilla a una carga abrasiva de 8 esferas y la fracción grava a 11 esferas, en ambos casos la prueba comprendió 500 ciclos. Como se observa en dicha figura, la correlación entre el incremento de contenido de ARC (factor "r") y el

PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS.

coeficiente LA es directa hasta llegar a un máximo de 34.48 para ambas fracciones con un $r = 0.60$

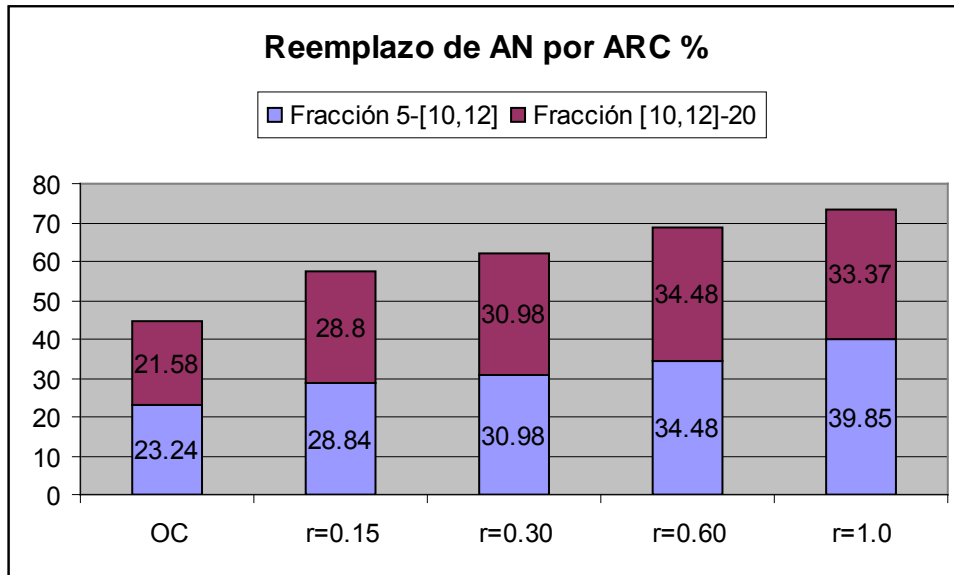


Fig.- III.2.2.3- Granulometría Árido reciclado 10-20 mm

FUENTE.- Argulló, L., Cualidades Físicas y mecánicas de los agregados reciclados del hormigón. Aplicación en concreto. ECCyP de la U.P. de Cataluña, España, 2006.

La Figura III.2.2.4 presenta la densidad seca (D_s), la densidad saturada superficialmente seca (D_{ss}), la absorción y la porosidad total al agua para ambos agregados en las fracciones de estudio. Se puede observar en esta figura que la absorción de los ARC (de 5.83% a 8.16%) es mayor que la de los AN (de 0.88% a 1.49%); y que mientras que para los AN es sensiblemente la misma en todos los tamaños, para los ARC esta se incrementa de forma directa al reducirse el tamaño de las partículas. La porosidad total al agua es la que presenta mayor variación entre los ARC y AN (Fig. III.2.2.4), llegando a pasar en el peor caso de 2.82% para el AN a 14.86% para ARC en la fracción gravilla.

PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS.

En cuanto a las densidades, los ARC son menos pesados que los AN (promedio de 14% menos en D_s y de 9% en D_{ss}).

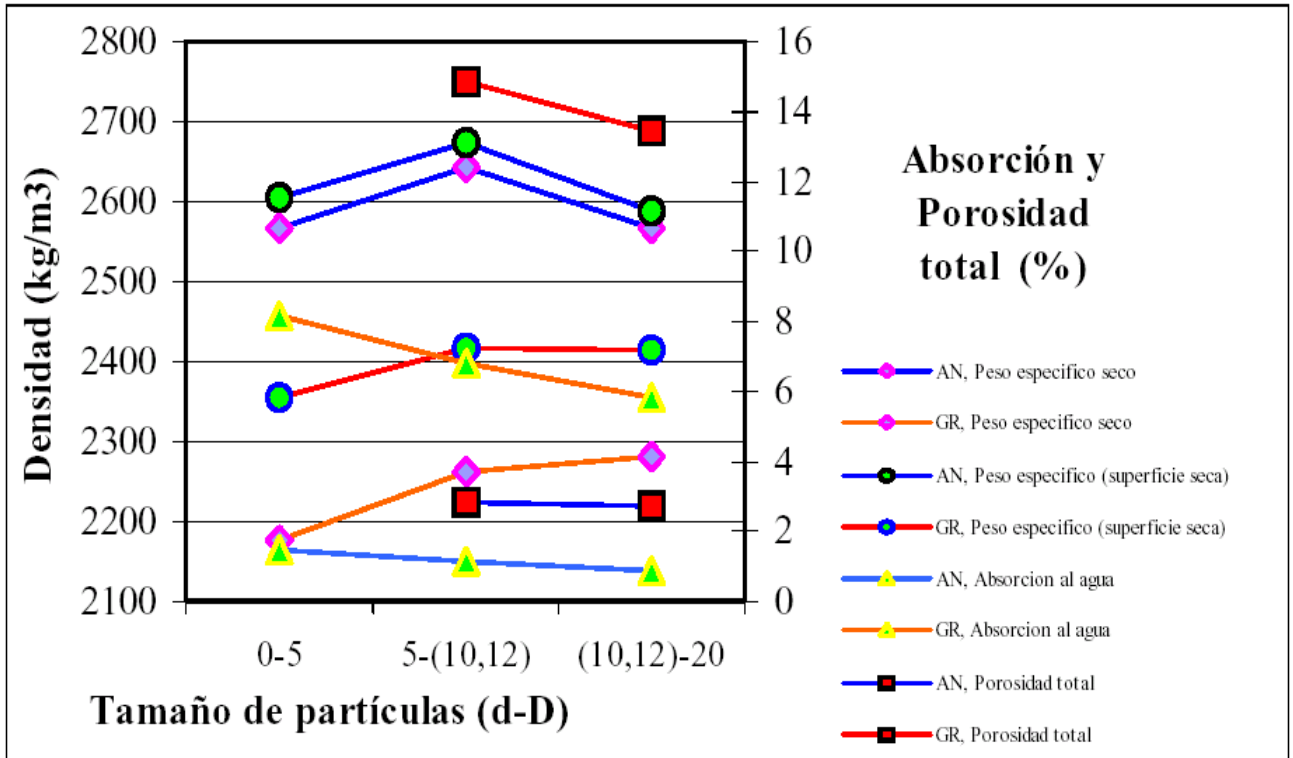


Fig.- III.2.2.3- Granulometría Árido reciclado 10-20 mm

FUENTE.- Argulló, L., Cualidades Físicas y mecánicas de los agregados reciclados del hormigón. Aplicación en concreto. ECCyP de la U.P. de Cataluña, España, 2006.

Estos ARC incrementan sus densidades directamente proporcionales al aumento en su tamaño de partícula. Por último, las diferencias entre las condiciones secas o saturadas superficialmente seca son mayores entre los ARC que entre los AN. Expuestas las anteriores propiedades de los ARC en estudio se concluye que éstos se encuentran dentro de la recomendación RILEM para ARC TIPO II (absorción $\leq 10\%$ y $D_s \geq 200 \text{ kg/m}^3$), para la Belga son GBSBII (absorción $< 9\%$ y $D_s > 210 \text{ kg/m}^3$) y en cuanto a la Japonesa cumplen con el requisito de absorción $\leq 7\%$ y $D_s \geq 220 \text{ kg/m}^3$ en las fracciones utilizadas. Por todo ello, los ARC empleados en este trabajo pueden ser utilizados como

concreto simple o reforzado teniendo en cuenta su aplicación y coeficientes de comportamiento.

III.2.3.- Dosificación de los concretos.

Dada la dificultad de determinar la relación real A/C por la alta variación de absorción de los ARC, se optó por utilizar los conceptos básicos de dosificación del ACI 211.1 y del ACI 211.2 con los siguientes criterios:

1) La sustitución de ARC por AN se realizó con iguales volúmenes de los porcentajes de peso a sustituir, con la siguiente condición:

$$r = \frac{RAC_{grueso}}{(RAC_{grueso} + NA_{grueso})} \quad (0.00 \leq r \leq 1.00)$$

donde: r = porcentaje de AN sustituido por ARC; RAC_{grueso} = 55 % Grava reciclada + 45% gravilla reciclada; NA_{grueso} = 70 % Grava natural + 30% gravilla natural.

Los porcentajes de estudio de los cinco tipos de CR fueron: $r = 0.0, 0.15, 0.30, 0.60$ y 1.00 . Como agregado fino se utilizó 100% de arena natural caliza triturada procedente de la cantera del Garraf, Barcelona.

2) Los ARC aumentan su absorción proporcionalmente con el tiempo de inmersión en agua, ver Fig. II.2.3. Para la dosificación se tomaron 20 minutos de inmersión,

PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS.

alcanzando un 97% en gr avilla y un 77% par a g rava, respectivamente de l os valores observados en los ensayos a 24 horas.

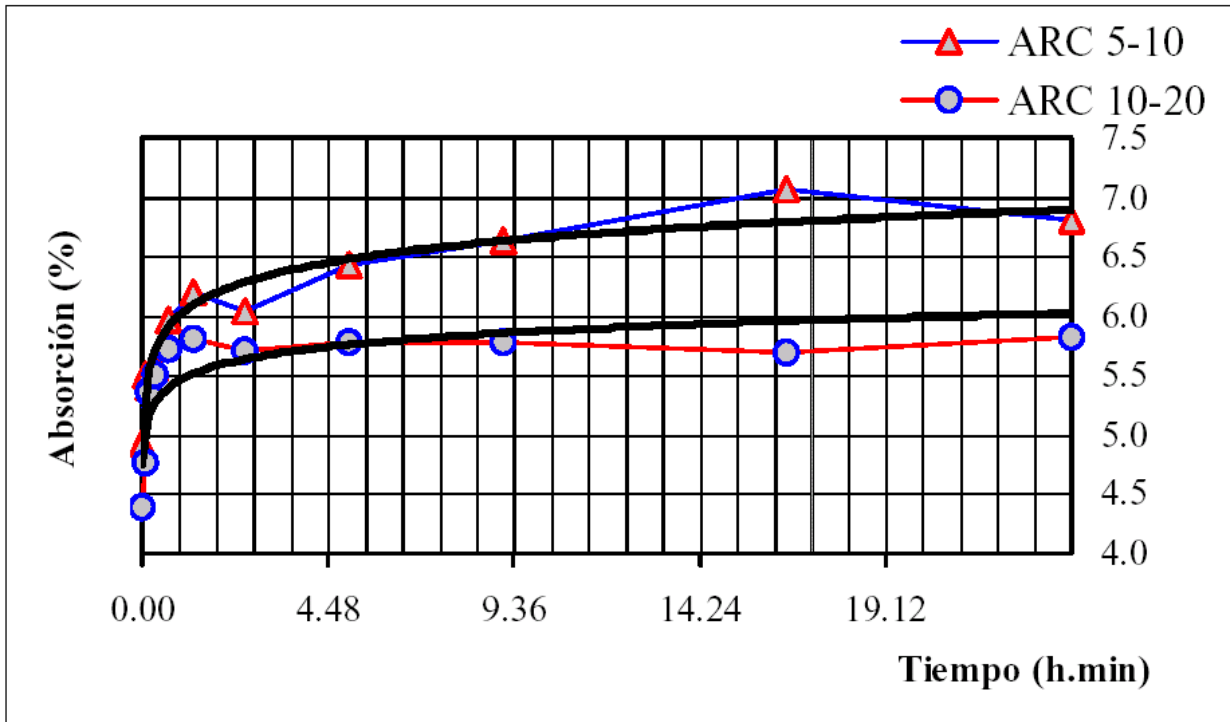


Fig.- III.2.3- Variación de absorción con el tiempo.

FUENTE.- Argulló, L., Cualidades Físicas y mecánicas de los agregados reciclados del hormigón. Aplicación en concreto. ECCyP de la U.P. de Cataluña, España, 2006.

3) La cantidad de agua absorbida por los agregados se tomó en cuenta por separado, además de la humedad que tenían antes del amasado y del agua libre que forma parte de la mezcla. Con el tiempo de amasado establecido y la cantidad de agua requerida, el orden de introducir los materiales de mezclado garantiza (en lo posible) inmovilidad de agua y mejora de la zona de transición. Se optó la siguiente secuencia: a) Todos los agregados gruesos y el agua fueron introducidos en la amasadora, b) Estos se mezclaron durante 2 minutos, c) La amasadora se mantuvo en reposo por 3 minutos, d)

PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS.

Se repitieron el proceso b y c dos veces más, e) Se introdujo el cemento y se amasó 3 minutos, y f) Se adicionó la arena y se amasó 3 minutos más.

Las dosificaciones de mezclas obtenidas con los anteriores criterios se dan en la

Tabla III.2.3.

Componente		r=1.0 0	r=0.6 0	r=0.3 0	r=0.1 5	r=0.0 0
Cemento [kg/cm ³]		400 (CEM I 52.5 R UNE 80 301 96 RC/97)				
Agua [kg/m ³]		207.6				
RAC [kg/cm ³]	Gravilla [5-10]	406	258	134	69	0
	Grava [10-20]	497	315	164	84	0
AN [kg/cm ³]	Gravilla [5-12]	0	268	488	604	710
	Grava [12-20]	0	115	209	259	304
Agregado fino [kg/m ³]		662				
A/C		0.52				
A. Grueso / A. fino [Vol.]		1.53				

Propiedades						OC	
Revenimiento [m]		0.105	0.105	0.123	0.11	0.123	0.167
Peso Vol. Fresco [kg/m ³]		2513	2538	2556	2574	2571	2400
f'c 28 días [Mpa]		34.5	35.8	37	38.1	38.8	38.4*
Nivel de esfuerzos en fluencia [MPa]**		12.08	12.53	12.95	13.34	13.58	13.44
ε _{sh} básica [mm/m]		-	-	-	-	-	-
		0.032	0.023	0.026	0.039	0.056	0.185** *
ε _{sh} secado [mm/m]		0.541	0.518	491	0.423	0.37	0.065** *
ε _{sh} básica	instantanea [mm/m]	0.137	0.147	0.164 5	0.135	0.143	0.118** *
	φ [90 días,t0]	1.3	1.1	1	1.3	1	0.5***
ε _{sh} secado	instantanea [mm/m]	0.158	0.153	0.138	0.135	0.16	0.127** *
	φ [90 días,t0]	4.6	4.2	4	3.5	3.4	1.7***

*La edad del ensayo es de 200 días., **0.35f'c., ***φ(262 días, 172días)

Tabla III.2.3.- Dosificaciones utilizadas y parámetros de ensayo para los concretos reciclados.

FUENTE.- Argulló, L., Cualidades Físicas y mecánicas de los agregados reciclados del hormigón. Aplicación en concreto. ECCyP de la U.P.de Cataluña, España, 2006

PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS.

Como se aprecia en ésta, la variación en consistencia y pesos volumétricos para los diferentes porcentajes de reemplazo son tolerables (revenimiento 0.10 ± 0.03 m y concreto con peso volumétrico normal).

III.3.- COMPORTAMIENTO DE LOS CONCRETOS RECICLADOS.

III.3.1.- Absorción, densidad, porosidad y permeabilidad al agua.

Como se observa en la Fig. III.3.1, la absorción de los CR se incrementa proporcionalmente al contenido de ARC, pasando de 7.4% para $r = 0.0$ a un 8.6% para $r = 1.00$, mientras que sus densidades decrecen ligeramente en sentido opuesto. Por otra parte, la porosidad al agua, al igual que la absorción, se incrementa proporcionalmente con el contenido de ARC.

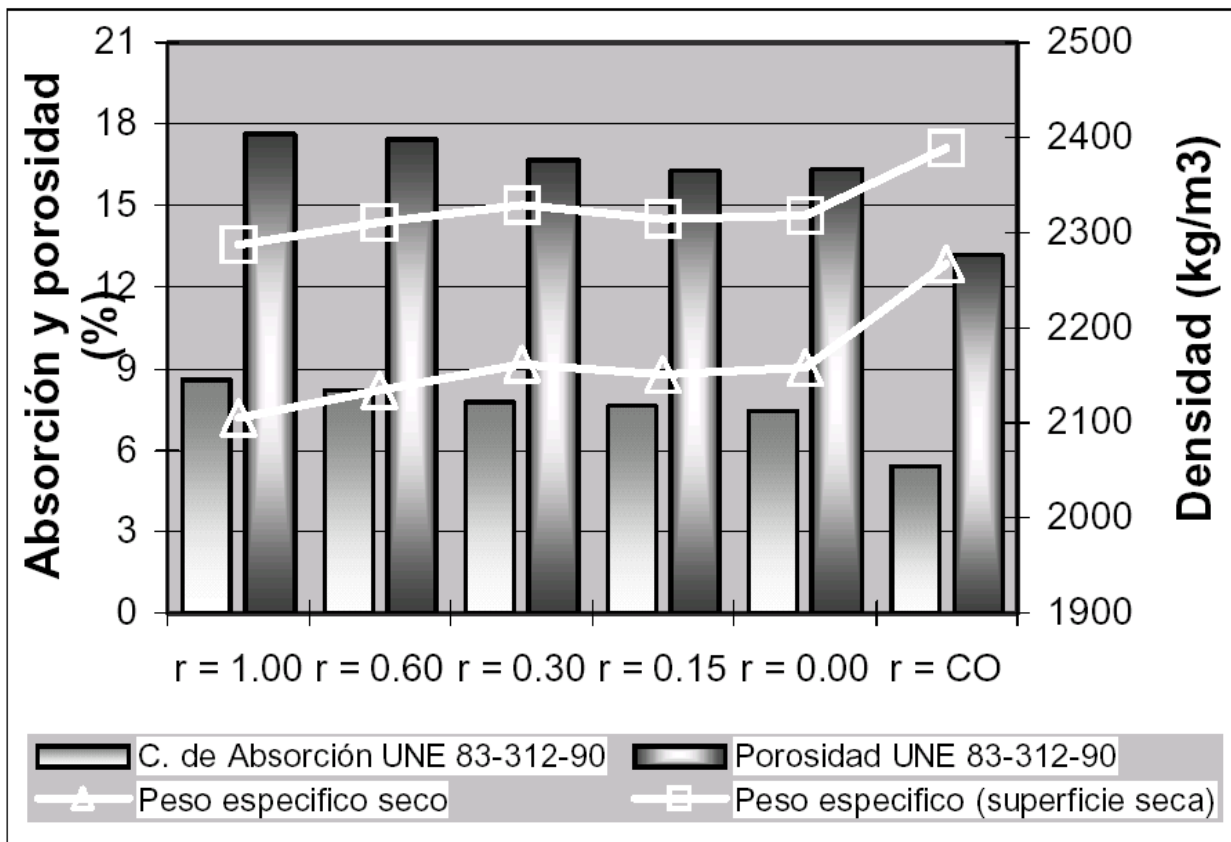


Fig.- III.3.1 Correlación entre absorción, porosidad y densidad de concreto reciclado

PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS.

FUENTE.- Argulló, L., Cualidades Físicas y mecánicas de los agregados reciclados del hormigón. Aplicación en concreto. ECCyP de la U.P. de Cataluña, España, 2006.

En cuanto a la permeabilidad al agua (ver Fig. III.3.1.1), el promedio de las lecturas de penetración no tiene incrementos significativos; mientras que la penetración máxima pasa de 0.104 m para $r = 0.0$ a 0.143 m para $r = 1.0$. La gran diferencia entre las penetraciones promedio y máximas podrían ser explicadas por el hecho de que el ARC se posiciona en la superficie de ensayo, vulnerando de esta forma la zona y permitiendo el paso del agua.

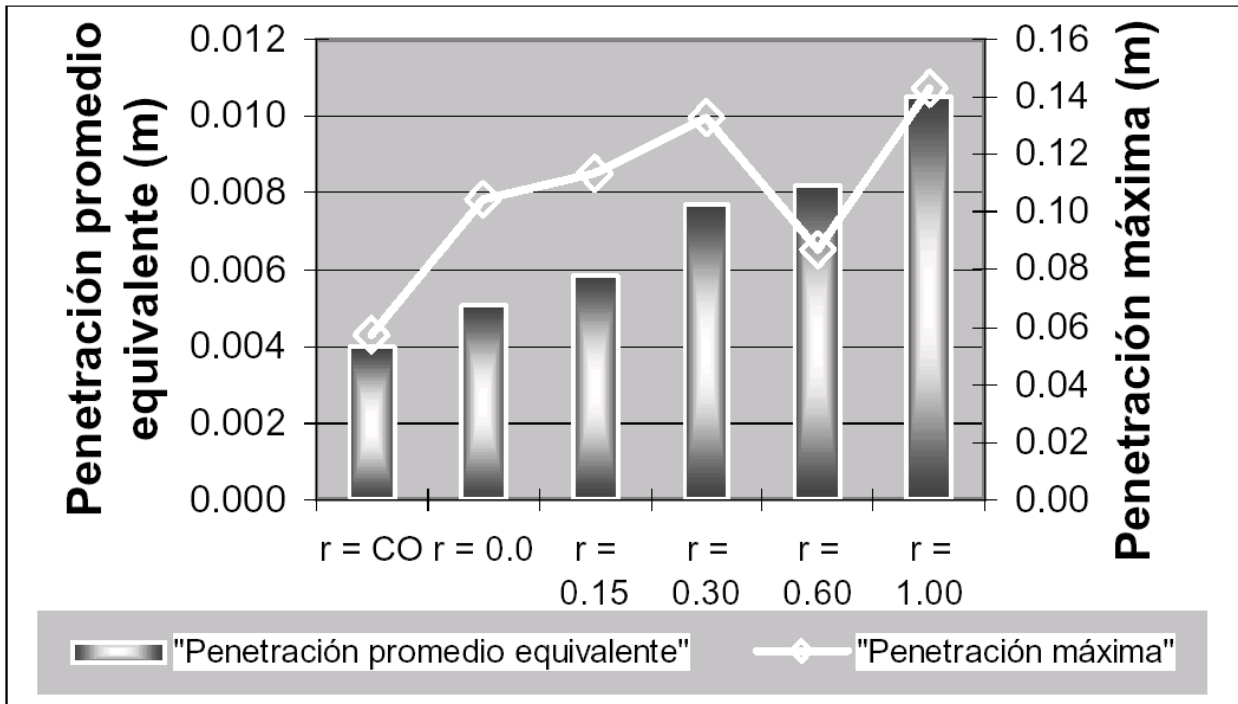


Fig.- III.3.1.1- Permeabilidad del agua (profundidad de penetración) para concreto reciclado.

FUENTE.- Argulló, L., Cualidades Físicas y mecánicas de los agregados reciclados del hormigón. Aplicación en concreto. ECCyP de la U.P. de Cataluña, España, 2006.

III.3.2.- Compresión simple.

PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS.

Los ensayos se realizaron en cilindros de Φ 0.15 m x 0.30 m y las edades de ensayos fueron 7, 28 y 90 días para los CR y de 179, 200 y 262 días para el OC; cada punto de las figuras es un promedio de 3 ensayos.

Puede apreciarse que para las edades de estudio el $f'c$ decrece al incremento del factor r (Fig. III.3.2). Si se comparan los resultados con el concreto de referencia ($r = 0.00$), de forma independiente a la edad de ensayo, se obtienen las siguientes relaciones:

$$f'c_{r=CO} = 124.1\% f'c_{r=0.00}$$
$$f'c_{r=0.15} = 99.6\% f'c_{r=0.00} \qquad f'c_{r=0.30} = 97.8\% f'c_{r=0.00}$$
$$f'c_{r=0.60} = 91.6\% f'c_{r=0.00} \qquad f'c_{r=1.00} = 90.0\% f'c_{r=0.00}$$

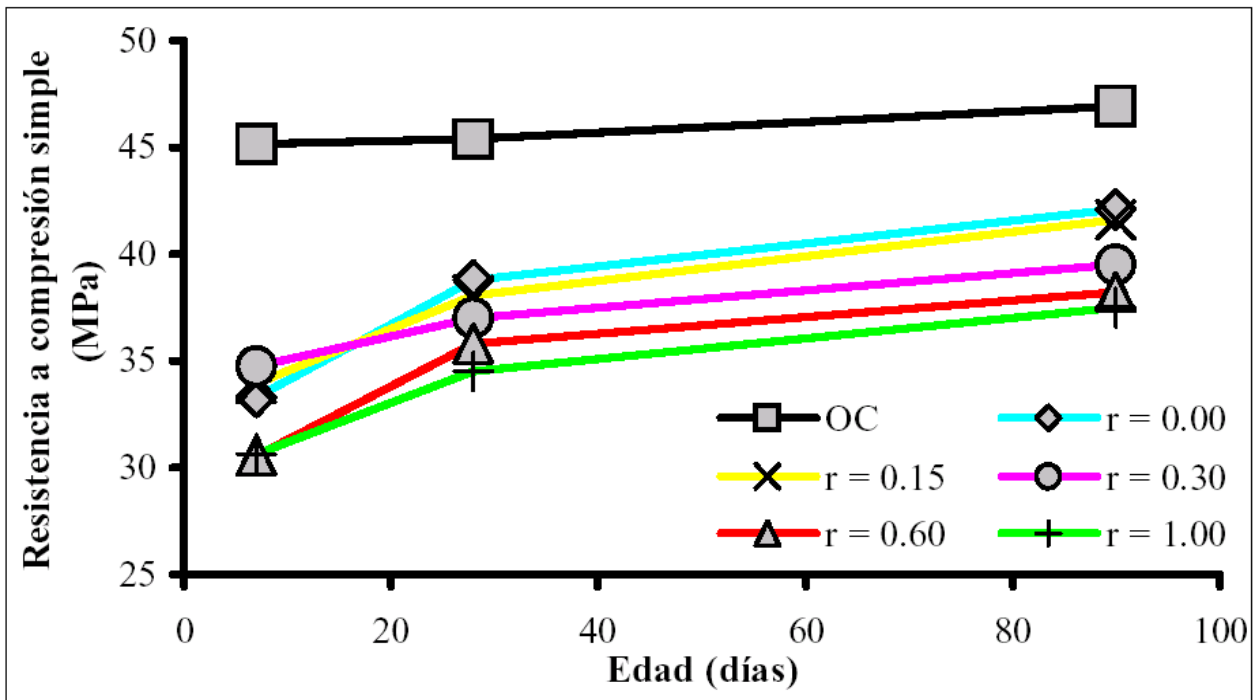


Fig.- III.3.2- Resistencia a la compresión simple de concretos reciclados.

FUENTE.- Argulló, L., Cualidades Físicas y mecánicas de los agregados reciclados del hormigón. Aplicación en concreto. ECCyP de la U.P. de Cataluña, España, 2006.

Se puede decir que para $r = 0.30$ el $f'c$ es sensiblemente igual al concreto de referencia.

Cuando se toma en cuenta la edad de los ensayos y se comparan con el concreto de referencia se puede observar que las evoluciones de los CR son iguales, aunque claro esta, los niveles de tensión son menores. Por último, se observa que el tipo de falla ocurre usualmente en el nexo del mortero adherido al agregado original; esto que puede ser explicado por la incompatibilidad elástica entre el agregado y la fase de la pasta.

III.3.3.- Tensión Indirecta.

En la Fig. III.3.3. se muestran los ensayos realizados de tensión indirecta (f_t) para iguales edades y especímenes que en el apartado anterior. Si se expresan los valores de esta figura en función de sus respectivas resistencias a compresión simple, se obtiene:

$$f_t = \frac{f'c}{C}$$

donde: $C = 10.00$ para $r = 0.00$, $C = 10.31$ para $r = 0.15$, $C = 10.46$ para $r = 0.30$, $C = 11.66$ para $r = 0.60$ y $C = 12.59$ para $r = 1.00$.

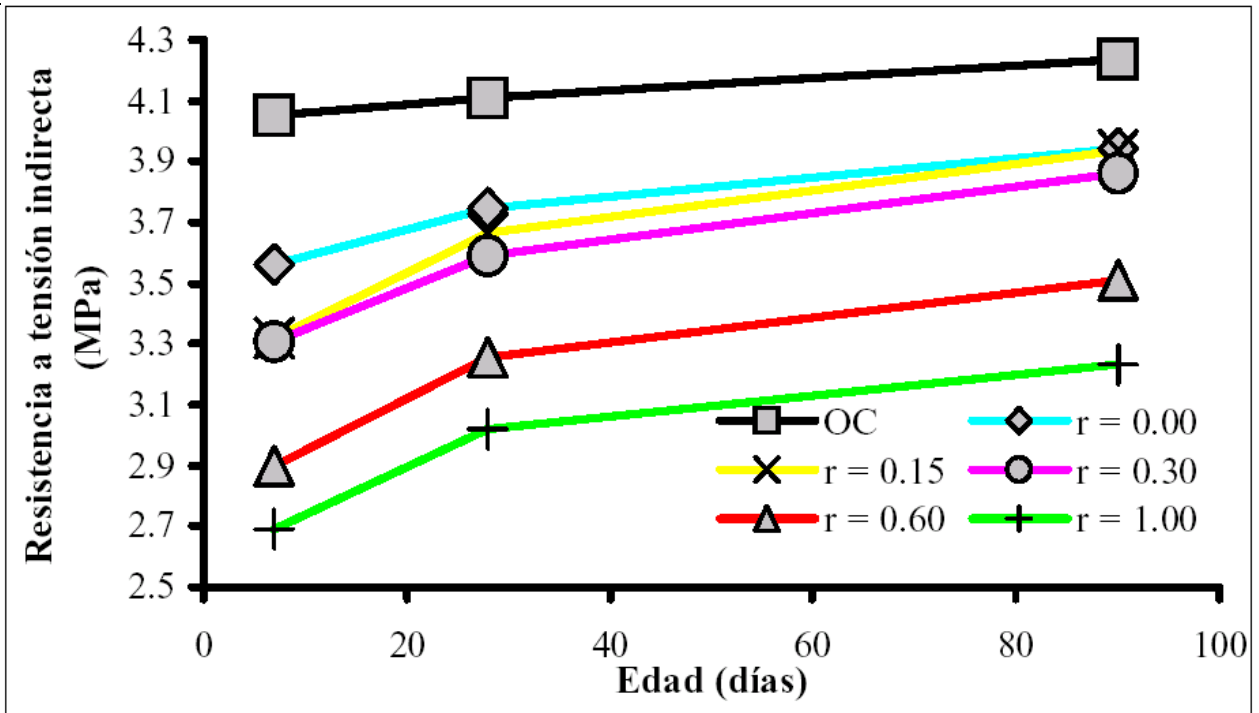


Fig.- III.3.3- Resistencia a la tensión indirecta de concretos reciclados.

FUENTE.- Argulló, L., Cualidades Físicas y mecánicas de los agregados reciclados del hormigón. Aplicación en concreto. ECCyP de la U.P. de Cataluña, España, 2006.

III.3.4.- Módulo de Elasticidad.

Para el estudio de esta propiedad mecánica se optó por igual número y edad de ensayo que en apartados anteriores; en los registros de las deformaciones se utilizaron dos galgas extensométricas posicionadas en sentido vertical sobre dos generatrices opuestas de los cilindros. Las galgas utilizadas fueron del tipo PL-60-11-1L TML y el ensayo se rigió por la normativa UNE 83.316: 1996.

En la Fig. III.3.4 se presentan los valores del módulo de elasticidad (E) para los diferentes concretos de estudio. Se observa que el valor medio del E, sin importar la edad de ensayo, alcanza su cota mínima para $r = 0.60$, presentando un 89% del E del concreto

PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS.

de referencia; si guiéndole de ce rca $r = 1.00$ que t an só lo al canza un 90% del E del concreto de referencia.

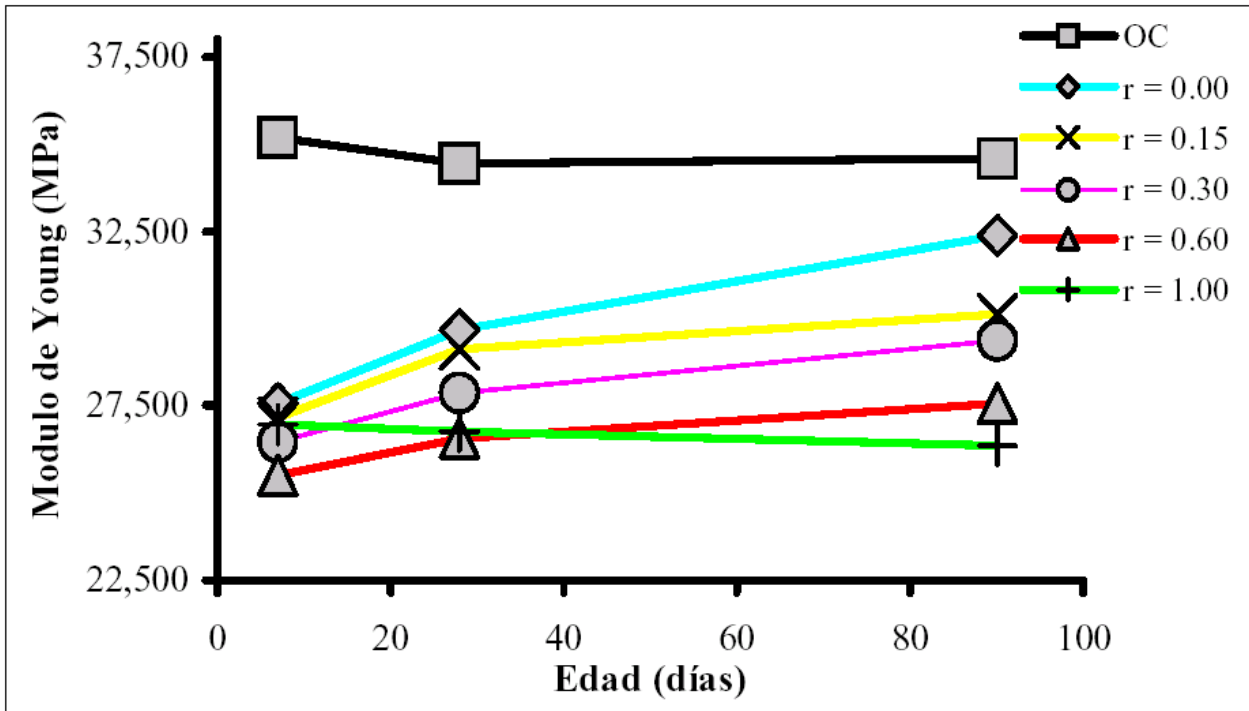


Fig.- III.3.4- Módulo de Young para concretos reciclados.

FUENTE.- Argulló, L., Cualidades Físicas y mecánicas de los agregados reciclados del hormigón. Aplicación en concreto. ECCyP de la U.P. de Cataluña, España, 2006.

Como es bien sabido, el E de los CR decrece con el incremento de la sustitución del NA por el ARC. Este comportamiento también fue observado en estos ensayos; llegando en el caso extremo a reducir el E en un 81% menos que el concreto de referencia, cuando $r = 1.00$ a la edad de 90 días.

III.3.5.- Contracción y Fluencia.

Para los ensayos restantes de esta campaña experimental se utilizaron ocho cilindros de $\Phi 0.15$ m x 0.45 m para cada una de las variable antes propuestas. Las medidas de

PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS.

deformación fueron realizadas con galgas embebidas (tipo EGP-Series MM) colocadas en el centro de los especímenes de concreto (ver Fig. III.3.5).

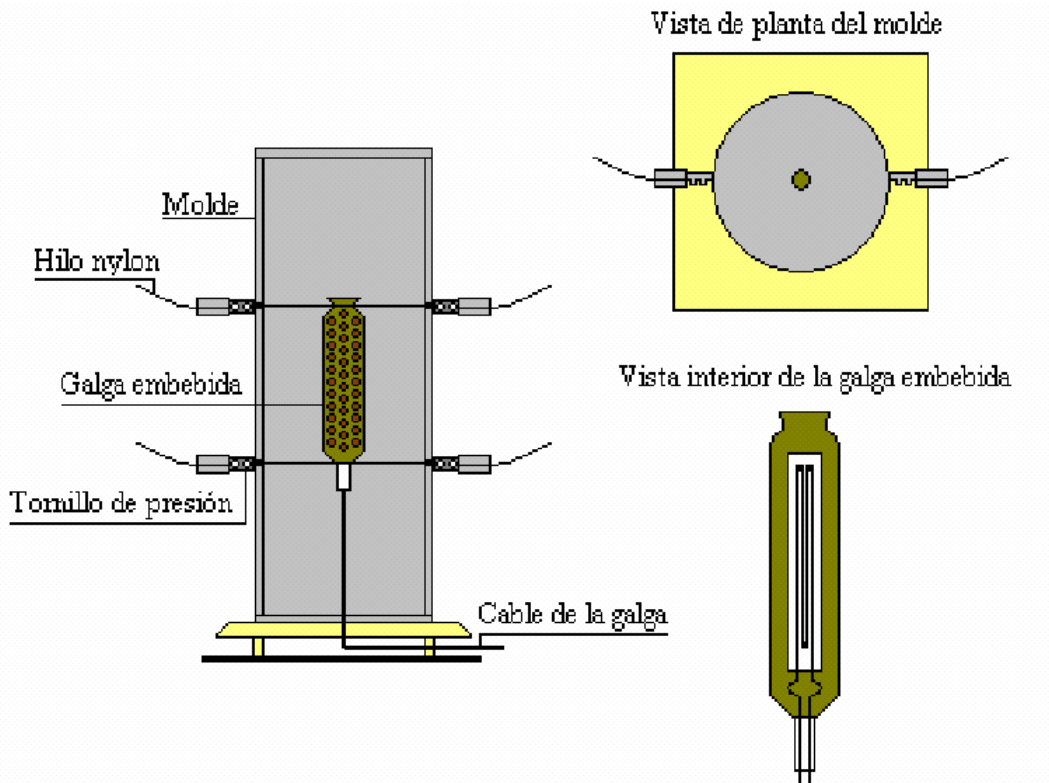


Fig.- III.3.5- Instalación de las galgas embebidas, $\frac{1}{4}$ de puente de Wheatstone.

FUENTE.- Argulló, L., Cualidades Físicas y mecánicas de los agregados reciclados del hormigón. Aplicación en concreto. ECCyP de la U.P. de Cataluña, España, 2006.

Los especímenes se mantuvieron en cámara de curado durante 28 días ($T = 20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2$ y $\text{HR} = 90\% \pm 5$), a partir de entonces los especímenes pasaron a una cámara climática ($T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $\text{HR} = 50\%$) hasta el final del periodo de ensayo (90 días). Los instantes de inicio de registro de deformaciones fueron: para contracción básica y por secado $t_0 = 24$ horas después de colados los especímenes, para fluencia básica y por secado $t_0 = 28$ días.

Cuando se procedió al paso de especímenes a la cámara climática, cuatro de los ocho especímenes por cada variable de estudio (dos para contracción básica y dos más

PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS.

para fluencia básica) fueron sellados en toda su superficie con parafina (± 0.003 m de espesor) y, por último, envueltos con 3 capas de papel estaño para evitar movimiento de agua con el medio ambiente de la cámara.

La configuración de los bastidores utilizados para los ensayos de fluencia básica y por secado se presenta en la Fig. III.3.5.1; de igual forma en la Tabla III.2.3., se muestran los valores de f'_c , niveles de tensión de ensayo para los diferentes concretos y deformaciones instantáneas y finales para las diferentes propiedades estudiadas.

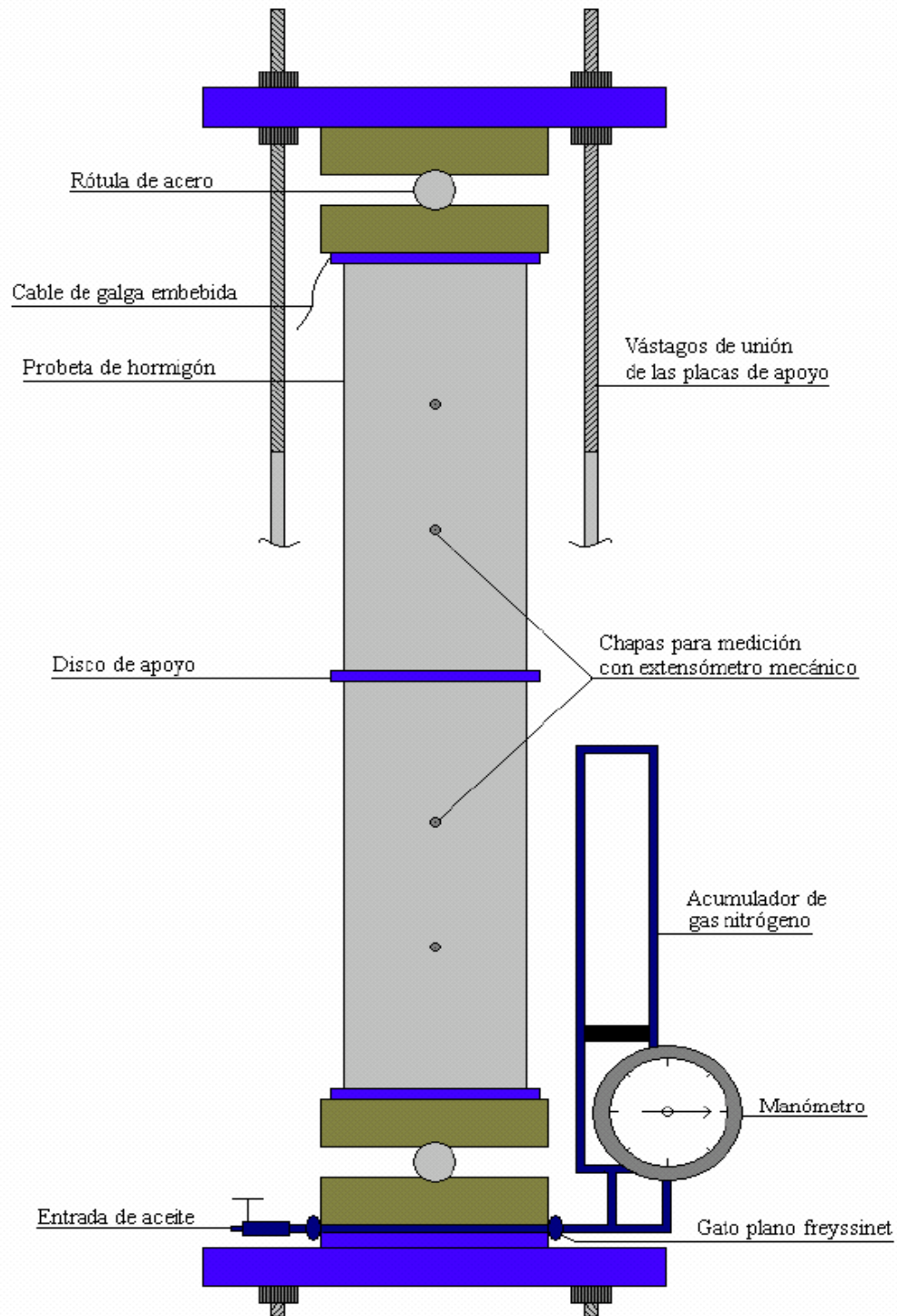


Fig.- III.3.5.1- Configuración de bastidores de carga para fluencia.

FUENTE.- Argulló, L., Cualidades Físicas y mecánicas de los agregados reciclados del hormigón. Aplicación en concreto. ECCyP de la U.P. de Cataluña, España, 2006.

PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS.

En la Fig. III.3.5.2 se presentan las curvas para los ensayos de contracción básica (cada una de las curvas es el promedio de 2 especímenes). Como se aprecia en éstas, en los primeros 28 días (cámara de curado) los especímenes $r = 0.60$ y 1.00 experimentan considerable expansión; mas sin embargo, rápidamente se recuperan y contraen casi a iguales valores que el resto de los CR a edad de 90 días en cámara climática.

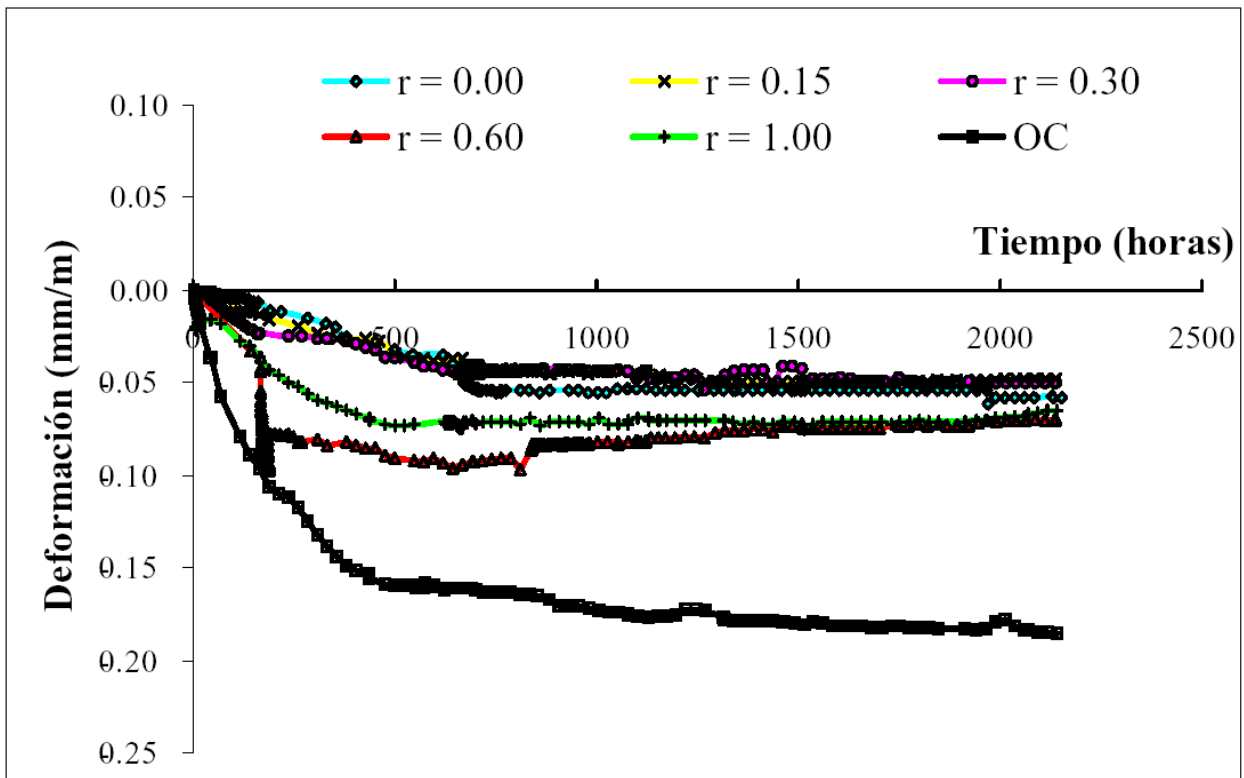


Fig.- III.3.5.2- Contracción básica para los diferentes concretos reciclados.

FUENTE.- Argulló, L., Cualidades Físicas y mecánicas de los agregados reciclados del hormigón. Aplicación en concreto. ECCyP de la U.P. de Cataluña, España, 2006.

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
1.000 veces su peso, cantidad equivalente a la
transportada en 32 camionetas de 3 toneladas.

74 m.

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

Usos y aplicaciones.

28 m.

*Bases, subbases y aglomerados artificiales, 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 va 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 IP G3 (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 Córdoba, 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.

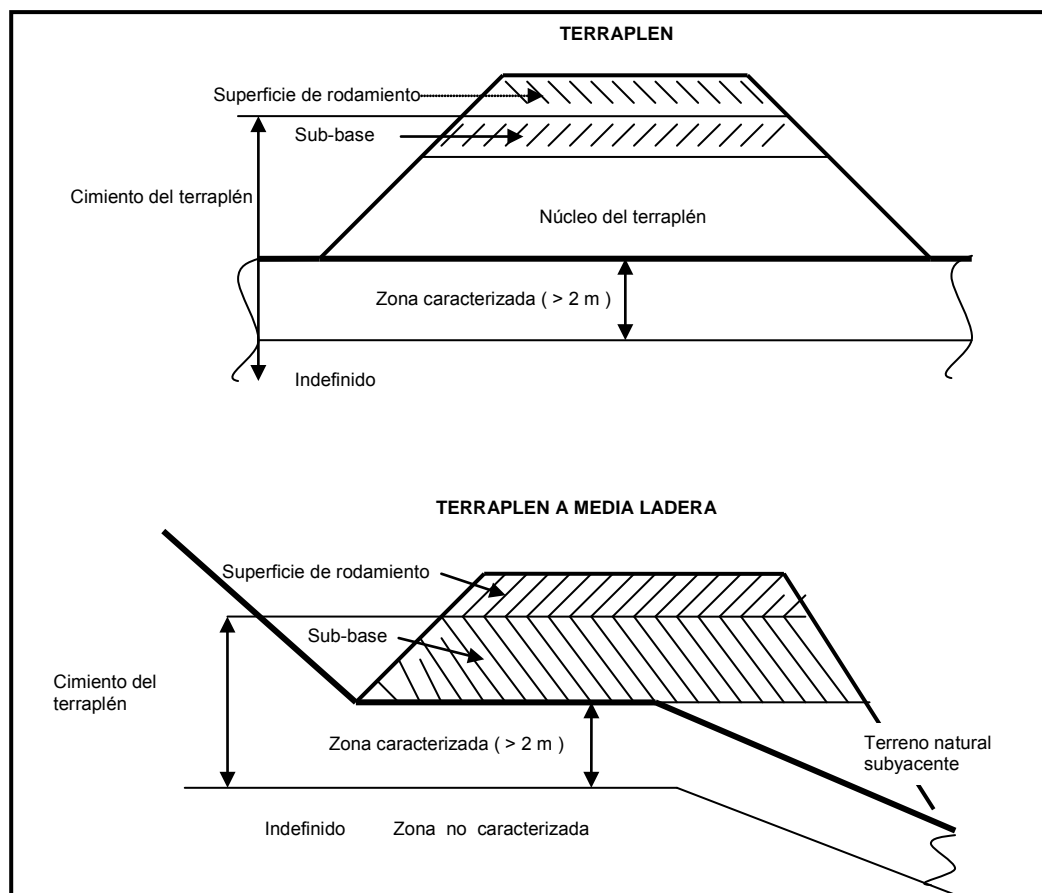


Fig. IV.2.- Secciones transversales de relleno, explanación y firme de una carretera.

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 los 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/cm ³ H opt = 15%	SELECCIONADO	D max = 1.73 kg/cm ³ 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 subdimensionamiento 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 en 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 envajado. 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]

Capítulo V

Casos de éxito.

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

CAPITULO V.

En los siguientes párrafos se presenta al gunos casos donde se aplican los RCD's a la obra civil, cabe destacar que estos proyectos uno fue realizado en España y otros fueron construidos en México, cada uno con sus respectivas normas de construcción.

V.1.- PROYECTO DEL INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CHETUMAL.

Se colectaron los escombros de la ciudad de Chetumal de diferentes lugares, por lo que se juntaron 42 m³ de RCD's, de los 42 m³ se obtuvieron, 15 m³ de agregados finos, 5m³ de gravilla y 12 m³ de agregado grueso, con el mismo procedimiento de obtención de los agregados naturales para tener un punto de referencia de acuerdo a las normas mexicanas y las ASTM.

V.1.1.- Elaboración de los bloques.

Para la elaboración de los bloques se utilizó:

133 litros de agregado fino.

57 litros de gravilla.

16.5 litros de cemento Pórtland CPC-30R (25 kg).

Con esta dosificación se construyeron 25 bloques huecos de 3 celdas cada uno, de 15*20*40 cm.



Fig. V.1.1.- Elaboración de bloques.

FUENTE: Domínguez J., Martínez L., Reinserción de los residuos de construcción y demolición al ciclo de vida de la construcción de viviendas., Artículo de Investigación, Revista Ingeniería 11-3, México 2007.

V.1.2.- Elaboración de mosaicos.

Para las capas de los mosaicos se utilizaron:

- **Pasta:** 9.5 litros de cemento Pórtland blanco, 9.5 litros de arena de mar, 150 gr. de pintura mineral en polvo y 9.5 litros de agua.
- **Material seco:** 19 litros de cemento Pórtland gris CPC 30-R y 19 litros de agregado fino.
- **Material húmedo:** 19 litros de cemento Pórtland gris CPC 30-R, 19 litros de agregado fino y 19 litros de agua.

Con este proporcionamiento se fabricaron 30 mosaicos de 30*30*2 cm.

V.1.3.- Dosificación de adoquines.

Para la obtención de los adoquines se utilizaron mezclas, con el siguiente proporcionamiento:

- 133 litros de agregado fino, 133 litros de gravilla, 50 kg, de cemento Pórtland gris CPC 30-R.
- 6 kg, de pintura mineral en polvo.
- Obteniendo con cada una de estas mezclas de 80 piezas del tipo “trébol”. Se fabricaron 100 adoquines reciclados y 20 naturales. En la figura V.1.3, se pueden apreciar bloques, mosaicos y adoquines reciclados, listos para su uso.



Fig., V.1.3.- Elementos constructivos reciclados.

FUENTE: Domínguez J., Martínez L., Reinserción de los residuos de construcción y demolición al ciclo de vida de la construcción de viviendas., Artículo de Investigación, Revista Ingeniería 11-3, México 2007.

V.1.4.- Diseño de concretos.

En el proceso de diseño de mezclas se utilizó la norma ACI-211.1, los concretos se diseñaron para una resistencia de 150, 200 y 250 kg/cm²., como concretos sin aire incluido, con revenimientos de entre 8 y 10 cm., con un TMA de 20 mm para las gravas recicladas y de 25 mm para las gravas naturales.

MATERIAL	RECICLADO						NATURAL					
	Resistencias de diseño kg/cm ²						Resistencias de diseño kg/cm ²					
	150		200		250		150		200		250	
UNIDADES	kg	lt	kg	lt	kg	lt	kg	lt	kg	lt	kg	lt
CEMENTO	250	227	286	260	323	294	244	222	279	254	315	286
AGREGADO FINO	639	489	617	472	595	456	685	550	662	532	638	512
AGREGADO GRUESO	729	646	729	646	729	646	785	740	785	740	785	740
AGUA	200	200	200	200	200	200	195	195	195	195	195	195

Tabla V.1.4.- Proporcionamiento para concretos con agregados reciclados y naturales.

Fuente: Domínguez J., Martínez L., Reinserción de los residuos de construcción y demolición al ciclo de vida de la construcción de viviendas., Artículo de Investigación, Revista Ingeniería 11-3, México 2007.

V.1.5.- Pruebas de laboratorio.

Pruebas de laboratorio a los bloques

Para este elemento se llevaron a cabo las siguientes pruebas tanto a los materiales reciclados como a los naturales, tomando en cuenta las especificaciones correspondientes: A partir de la Norma NMX-C-404-1997-ONNCCE:

- a) Determinación de las dimensiones. (NMX-C-038- 1974).
- b) Resistencia a la compresión. (NMX-C-036-1983).
- c) Determinación de la absorción del agua. (NMX-C- 037-1986).

Pruebas de laboratorio a los mosaicos

Estas se desarrollaron a partir de la Norma NOM-C- 8-1974. Las pruebas efectuadas fueron las siguientes:

- a) Dimensiones (Inciso 5.1.)
- b) Acabado (Inciso 3.1.2.4.)
- c) Determinación de la absorción del agua (Inciso 5.6.)
- d) Prueba de resistencia a la flexión (módulo de ruptura), (Inciso 5.4.)

Pruebas de laboratorio a los adoquines

Estas se desarrollaron de acuerdo a la Norma NOMC- 314-1986. Las pruebas a las cuales fueron sometidos son las siguientes:

- a) Determinación de las dimensiones (Inciso 5.3.1.)
- b) Determinación de la absorción del agua (Inciso 7.2.)
- c) Resistencia a la compresión (Inciso 7.1.)

Pruebas de laboratorio a los concretos.

- a). Revenimiento. Se realizó de acuerdo a la norma ASTM-C143M-00 (Standard Test Method for Slump of Hydraulic Cement Concrete).
- b). Resistencia a la Compresión. Se utilizó la norma ASTM-C39M-01 (Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens), y para la preparación y cabeceo de los cilindros se utilizó la norma ASTM-C617-98 (Standard Practice for Capping Cylindrical Concrete Specimens).

Características de la muestra	Unidad	Material natural	Material reciclado
Peso volumétrico seco y suelto	kg/m ³	1,061.00	1,129.00
Peso volumétrico seco y compacto	kg/m ³	1,138.00	1176.00
Densidad	kg/lt	2.03	1.99
Absorción	%	13.64	11.82
Abrasión	%	35.70	43.40

Tabla V.I.4.1.- Características físico-mecánicas del agregado grueso.

Características de la muestra	Unidad	Material natural	Material reciclado
Peso volumétrico promedio, seco y suelto	kg/m ³	1,245.00	1,306.00
Densidad	kg/lt	2.10	1.91
Absorción	%	7.99	14.03
Módulo de finura	-----	2.53	2.82

Tabla V.I.4.2.- Características físico-mecánicas del agregado fino.

Malla #	Material NATURAL % que pasa	Material RECICLADO % que pasa	Especificación ASTM C-136 3/4" a #4
2"	100	100	0
1 1/2"	100	100	0
1"	100	100	100
3/4"	93	97	90-100
1/2"	35	54	0
3/8"	12	30	20-55
No. 4	10	21	0-15
No. 8	0	0	0-5

Tabla V.I.4.3.- Granulometría del agregado grueso.

Malla #	Material NATURAL % que pasa	Material RECICLADO % que pasa	Especificación ASTM C-33 3/4" a #4
3/8"	100	100	100
No. 4	100	99	95-100
No.8	86	77	80-100
No.16	63	55	50-85
No. 30	44	38	25-60
No.50	30	29	10-30
No 100	24	20	2-10

Tabla V.I.4.4.- Granulometría del agregado fino

Fuente: Domínguez J., Martínez L., Reinserción de los residuos de construcción y demolición al ciclo de vida de la construcción de viviendas., Artículo de Investigación, Revista Ingeniería 11-3, México 2007.

V.1.6.- Construcción de la vivienda.

La construcción fue de forma tradicional de la región, con base de cimientos de mampostería, muros de block, dadas de repartición de cargas, castillos rigidizantes y losa maciza de concreto. Estas viviendas se encuentran en los territorios del Instituto Tecnológico de Chetumal.

Las dimensiones son las siguientes: de 3.5*4 m. y una altura de 2.80 m. ^[25]



Fig. V.I.6.- Muros, dalas y castillos.

FUENTE: Domínguez J., Martínez L., Reinserción de los residuos de construcción y demolición al ciclo de vida de la construcción de viviendas., Artículo de Investigación, Revista Ingeniería 11-3, México 2007.

V.2.- PROYECTO “TATO” (ESPAÑA).

Este proyecto es la primera experiencia de utilización de los agregados reciclados en Madrid, España donde toda la construcción está construida al 100% con gravas recicladas y arenas para elaboración de morteros, el edificio consta de 2 plantas con sótano y un voladizo, con una superficie de 300 m² por planta.

El proyecto es una obra de sustitución de edificación en Madrid y contempla, entre otros condicionantes medioambientales, la reutilización y reciclado de la demolición, reutilización de tierras vaciadas, ahorro energético mediante la combinación de energía solar, gas y electricidad, cubierta ecológica ajardinada y utilización de materiales reciclados. [27]

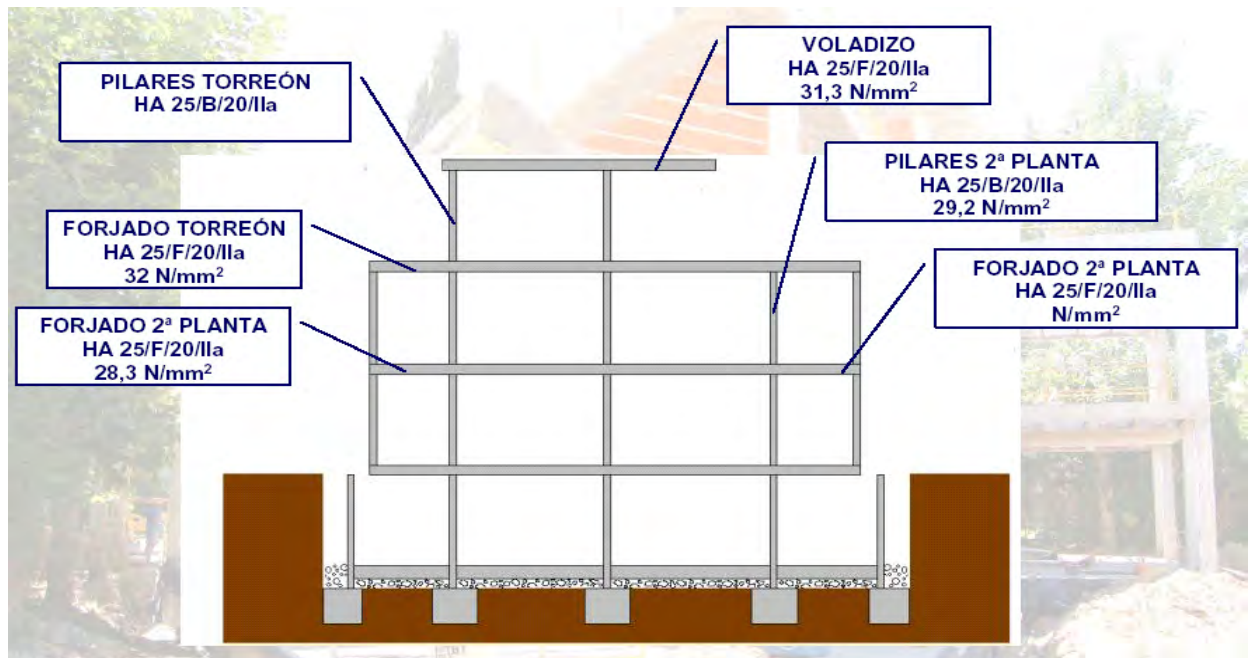


Fig. V.2 Datos de la obra.

FUENTE: Tetre J.I., "Proyecto TATO 14", TECREC, Madrid, España, 2004

V.2.1.- Origen del agregado reciclado.

La grava reciclada empleada en la fabricación del concreto procede de las demoliciones de las zapatas de cimentación de la fábrica de perfumerías GAL, en Alcalá de Henares en Madrid.

Se caracterizó el concreto de la cimentación para determinar la resistencia a compresión inicial. Se extrajeron dos muestras prismáticas que dieron como resistencia media de 370 kg/m².



Fig. V.2.1.- Demolición de la fábrica de perfumes GAL.

FUENTE: Tertre J.I., "Proyecto TATO 14", TECREC, Madrid, España, 2004

En general, a mayor resistencia de compresión del concreto de entrada, el agregado pétreo reciclado final presentará mayor resistencia a la fragmentación, o sea, menor coeficiente de los Ángeles y menor contenido de finos.

V.2.2.- Caracterización de la grava reciclada.

De todo el conjunto de grava reciclada se tomó una muestra representativa sobre la cual el LOEMCO, se encargó de los ensayos estipulados en la norma UNE-EN 12620 "Agregados pétreos para concreto". El laboratorio CEMEX preparó dosificaciones con distintos porcentajes de agregado reciclado frente al total de fracción gruesa natural.

PROPIEDAD	NORMA	VALOR
CONTENIDO DE FINOS	UNE-EN 933-1	0.31%
ÍNDICE DE LAJAS	UNE-EN 933-3	5 %
COEFICIENTE DE FORMA	UNE-EN 933-4	5 %
ANGULOSIDAD	UNE-EN 933-5	90%
COEFICIENTE L.A.	UNE-EN 1097-2	39%
ABSORCIÓN DE AGUA	UNE-EN 1097-6	4.59 %
MATERIA ORGÁNICA	UNE-EN 1744-1	0.00%
CONTENIDO TOTAL DE AZUFRE	UNE-EN 1744-1	1.05 %
SULFATOS SOLUBLES EN ÁCIDO	UNE-EN 1744-1	0.31%

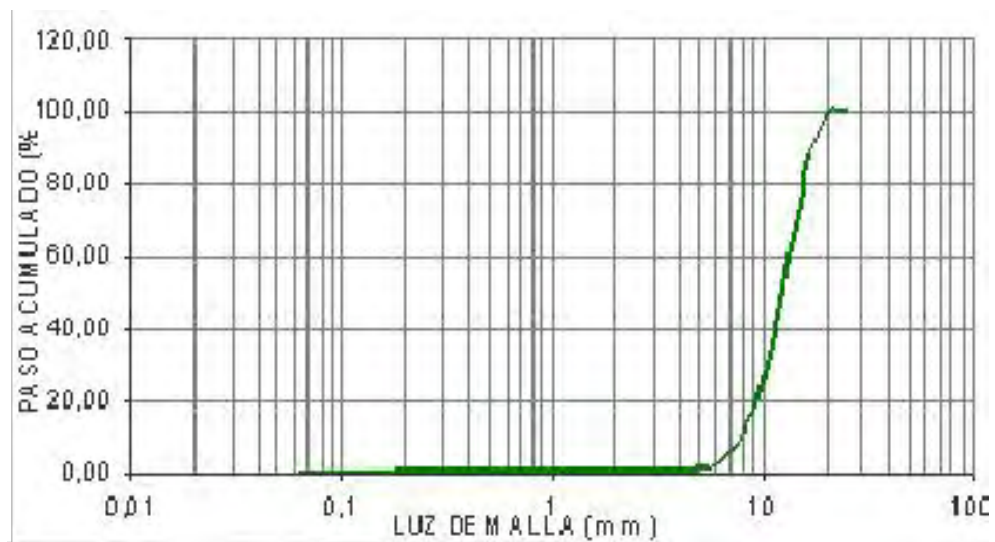


Fig. V.2.2.- Propiedades físicas y granulometría (Fuller) del árido reciclado.

CASOS DE ÉXITO.

	HA 25/B/20	HA 35/B/20
DOSIFICACIONES [kg]		
CEMENTO	306	370
GRAVA SiO	830	830
GRAVA RECICLADA	93	96
ARENA	918	970
POZZOLITH	2.44	2.96
RHEOBUILD	1.53	2.22
AGUA TOTAL	170	160
CARACTERÍSTICAS		
RELACIÓN A/C	0.56	0.44
CONSISTENCIA ABRAMS	7.5	7.5
DENSIDAD CONCRETO FRESCO	2.382	2.371
RESISTENCIAS MECÁNICAS A COMPRESIÓN [N/mm²]		
A 7 DÍAS	30.3	39
A 28 DÍAS	37.5	46

Tabla V.2.2.- Dosificación del concreto con un 10% de agregado reciclado.

	HA 25 / B / 20 Ia		HM 20 / B / 20 / IIa
	20%	30%	10%
DOSIFICACIONES [kg]			
CEMENTO	306	370	280
GRAVA SiO	830	830	760
GRAVA RECICLADA	93	96	190
ARENA	918	970	985
POZZOLITH	2.44	2.96	0.8
RHEOBUILD	1.53	2.22	0.2
AGUA TOTAL	170	160	0.48

Tabla V.2.2.1- Otras posibles dosificaciones.

FUENTE: Tetre J.I., "Proyecto TATO 14", TECREC, Madrid, España, 2004

V.2.3 Datos de la obra.

Todos los elementos de la estructura de la vivienda están contruidos con concreto que tiene agregados reciclados, utilizados para la cimentación, los muros del sótano, zanjas, zapatas, plantilla en pilares y forjados.

ELEMENTO	ZAPATAS	MUROS	ZANJAS	PLANTILLA
Tipo de concreto	HA 25/F/20/IIa	HA 25/P/20/IIa	HA 35/B/20/IIa	HA 25/F/20/IIa
Cantidad de concreto	32 m ³	85 m ³	6 m ³	50 m ³
Cantidad de agregado reciclado	2,976 kg	7,905 kg	570 kg	4,650 kg
Origen del agregado reciclado	Gal.	Gal.	Gal.	Gal.
Dosificación del agregado reciclado	10 %	10 %	10 %	10 %

	ESTRUCTURA	CIMENTACIÓN	TOTAL
Cantidad de concreto	156 m ³	211 m ³	367 m³
Cantidad de agregado reciclado	20,407.5 kg	19,065 kg	39,472.5 kg

Tabla V.2.3 Datos de la obra.

FUENTE: Tertre J.I., "Proyecto TATO 14", TECREC, Madrid, España, 2004



Fig. V.2.3.1.- Cimentación: zanja y zapatas.



Fig. V.2.3.2.- Muros.



Fig. V.2.3.3.- Plantilla.

FUENTE: Tetre J.I., "Proyecto TATO 14", TECREC, Madrid, España, 2004

La empresa TEC REC, pretendió con el proyecto en demostrar el óptimo comportamiento de los agregados reciclados en aplicaciones estructurales cuando se realiza el proceso con una tecnología adecuada, así pues, se puede utilizar estos productos para su comercialización en la dosificación de concretos no estructurales también. [26]

V.3.- PROYECTOS REALIZADOS EN EL D.F., POR LA EMPRESA: CONCRETOS RECICLADOS.

La actividad del reciclado, derivado de las condiciones topográficas de estos predios y de la similitud con la explotación de agregados pétreos donde se ubica la planta, facilita la actividad del reciclaje, es por eso que **Concretos Reciclados, S.A de C.V.**: una empresa 100% mexicana, se especializa en el reciclaje de desechos de la construcción, con tecnología de punta para aprovechar al máximo todos los recursos.

V.3.1.- Delegación Iztapalapa.

En la actualidad, la Delegación de Iztapalapa está ejecutando la construcción de un pozo de captación y absorción de aguas pluviales para el recargue de los mantos acuíferos subterráneos. Se estima que ésta obra generará un volumen de 70,000 m³ de residuos en su proceso de excavación.

Éste material se está recibiendo en la planta de Concretos Reciclados para su trituración, tratamiento y su posterior reincorporación a la propia Delegación.

Se construyó la trotapista del parque Cuitláhuac con una longitud de tres kilómetros.



Fig. V.2.3.3.- Trotapista parque Cuitláhuac delegación Iztapalapa.

FUENTE: Granell E., *Concretos Reciclados*, México, 2004

V.3.2.- Delegación Xochimilco.

En el Área Natural Protegida (ANP) de los Ejidos de San Gregorio y Distrito de Riego del Exejido de Xochimilco, (Toda la zona fue nombrada Patrimonio de la humanidad por la UNESCO), existen alrededor de 100,000 m³ de escombros que se empezaron a acumular desde el sismo de 1985.

Concretos Reciclados recicló 16,000 m³ de este escombros y el producto resultante se empleó para la rehabilitación de aproximadamente 14 km de caminos cortafuegos y de acceso del propio Distrito de Riego.

Es importante aclarar que se seguirá trabajando con la Delegación de Xochimilco para el reciclado del escombros restante.

V.3.3.- Delegación Tlalpan.

La Delegación de Tlalpan y la Asociación de Corredores del Bosque de Tlalpan están rehabilitando brechas del Bosque de Tlalpan con una doble función; por un lado, como caminos corta-fuegos para evitar en lo posible la propagación de incendios y por otro, proporcionar a los corredores del propio bosque de Tlalpan una superficie confortable para llevar a cabo su actividad.

Para tal objetivo, la empresa Concretos Reciclados provee a la delegación con materiales reciclados de diferentes granulometrías para la rehabilitación de estos caminos.

En la actualidad se han rehabilitado 15 km. de estos caminos. ^[23]

COMENTARIOS Y CONCLUSIONES.

De acuerdo a lo antes presentado se puede observar que es necesario crear una Norma, que se encargue del manejo de los desechos de la construcción, en el Distrito Federal existe una Norma: NADF-007-RNAT-2004, ésta Norma se encarga de especificar los generadores de residuos que requieren de evaluación de impacto ambiental, pero como sabemos la aplicación es nula.

En México tenemos de las mejores cementeras del mundo, con las que se puede trabajar con los agregados reciclados para crear tecnologías y aditivos nuevos para comenzar a utilizar estos productos en nuestra vida cotidiana y así, dejar de sobre explotar nuestros yacimientos naturales y dejar de arrojar al la atmósfera gases contaminantes.

Este tipo de gravas abren otra forma de utilizar el reciclaje en la Ingeniería Civil, ya que, a estos agregados se les debe de poner más énfasis en cuanto a su estudio, lo que mejorará la Ingeniería Civil mexicana y abrirá puertas a el mundo entero lo que nos colocará dentro de los mejores, siempre y cuando la sociedad tome conciencia de la aplicación de éstas normas y leyes que existen para mejorar nuestro ambiente.

Por otra parte, se existen Tesis doctorales de la ETSICCP de la Universidad de Cataluña, España, en donde se experimentó con este tipo de agregados en estructuras pre-esforzadas, teniendo un óptimo desempeño.

De acuerdo con lo todo lo anterior podemos concluir:

Es viable y necesaria la utilización de agregado reciclado ya que posee propiedades demostradas por medio de la experimentación, obteniéndose resultados próximos en comparación con los agregados naturales, por otro lado, como se ha visto se tienen obras hechas con este tipo de agregados que son punto de referencia y como prueba de la eficiencia que pueden llegar a tener.

Es evidente la necesidad de un mercado atractivo para los áridos reciclados y de la aplicación de una normatividad que regule su utilización dentro del sector de la construcción y que favorezca su utilización en forma generalizada como se ha mencionado en este trabajo.

En el ámbito ambiental, la utilización de los RCD's reducirá la emanación de gases invernaderos, lo que reducirá en gran medida la contaminación que aporta la industria de la construcción.

Con la utilización de las gravas recicladas se reducirá la explotación de éstos recursos, que no son renovables y evitaremos que nuestros rellenos sanitarios se llenen con estos "desechos" que son reutilizables y aumentará la capacidad de los vertederos.

Deben establecerse controles más estrictos por parte de los organismos públicos, para evitar el vertido indiscriminado de los RCD, y estudiar las reglamentaciones existentes y crear las necesarias para fomentar la valoración de los residuos y minimizar el vertido.

COMENTARIOS Y CONCLUSIONES.

En cuanto a su utilización, se ha visto que como agregado para concreto que su módulo de elasticidad se ve reducida debido a las propiedades físicas, pero eso no cambia en mucho su resistencia a un concreto elaborado con agregados naturales.

Se debe de corregir la relación agua/cemento para la dosificación del concreto cuando se utilicen gravas recicladas, debido a que la alta porosidad que presentan éstas respecto a las gravas naturales.

Se ha observado que la sustitución total o parcial de agregados reciclados disminuye la resistencia nominal del concreto, esto varía de acuerdo con porcentaje de sustitución del agregado, pero no afecta en gran medida a su utilización en obra civil.

A partir de los tratamientos existentes hoy en día para obras de carreteras como estabilizaciones con cal o cemento, o reciclados en frío con cemento o emulsión, es posible aplicarlos satisfactoriamente a las redes locales de carreteras tanto si son vías locales pavimentadas como si se trata de caminos que no poseen capa de rodadura.

La vida útil de las trituradoras se ve reducida debido a que el escombros contiene acero de refuerzo lo que la trituración se da en un medio muy abrasivo.

Por último se han hecho experimentos en diversas partes del mundo con este tipo de agregados con las normas que rigen cada región y en ninguno de estos países se ha negado la utilización de las gravas y arenas recicladas, por lo que debemos cambiar nuestra forma de pensar en cuanto a su utilización.

APLICACIONES DE AGREGADOS RECICLADOS.



PUESTA EN OBRA

AEROPUERTO DE BARAJAS, MADRID

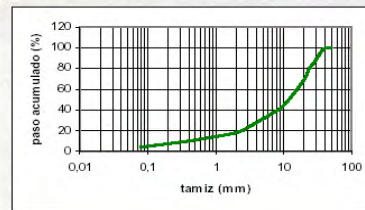
ÁRIDO UTILIZADO: Zahorra hormigón + Zahorra aglomerado

UNIDAD DE OBRA: Accesos nueva terminal

CANTIDAD DE ÁRIDO: 25.000 t

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

LÍMITES DE ATTERBERG	NO PLÁSTICA
EQUIVALENTE DE ARENA	67
RESISTENCIA A FRAGMENTACIÓN	24
LIMPIEZA SUPERFICIAL	1.73
ANGULOSIDAD	100%
FORMA	5%
COMPUESTOS TOTALES DE AZUFRE	0,00%



PUESTA EN OBRA





PUESTA EN OBRA

CARRIL BICI DEL AYUNTAMIENTO DE MADRID

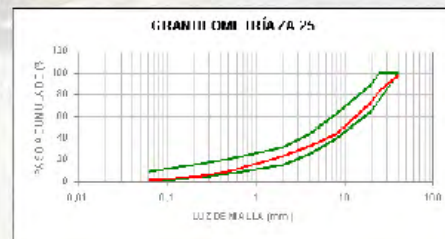
ÁRIDO UTILIZADO: Zahorra hormigón

UNIDAD DE OBRA: Base del carril

CANTIDAD DE ÁRIDO: 60.000 t

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Compuestos totales de azufre	0,30%
Coefficiente de limpieza	0,08%
Equivalente de arena	75
Índice de plasticidad	No Plástico
Coefficiente Los Ángeles	34%
Índice de lajas	7%
Partículas trituradas	95%
Granulometría	CUMPLE
Densidad	99%-100%



PUESTA EN OBRA





PUESTA EN OBRA

HOSPITAL DE VALLECAS, MADRID

ÁRIDO UTILIZADO: Zahorra hormigón

UNIDAD DE OBRA: Base accesos y
aparcamiento

CANTIDAD DE ÁRIDO: 60.000 t



GRANULOMETRÍA

UNE-EN 933-1:1998 y UNE-EN 933-1:1998/A1:2006

1. OBJETIVO DEL ENSAYO

Este ensayo tiene por objeto determinar la granulometría de los áridos de hasta 90 mm mediante su división y separación con una serie de tamices en fracciones granulométricas de tamaño decreciente.

2. INSTRUMENTAL Y EQUIPOS

El instrumental y equipos necesarios para realizar este ensayo son:

- Juego de tamices de ensayo (90-80-63-32-16-8-4-2-1-0,5-0,25-0,125-0,063) con tapa y fondo herméticos. (*)
- Estufa ventilada a $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$.
- Dispositivo de lavado (p.ej.: pila-fregadero con decantador)
- Balanza de precisión $\pm 0,1 \%$ de la masa de la muestra de ensayo
- Bandejas de diferentes tamaños, cardas y brochas
- Tamizadora (opcional)



(*) Serie básica

3. CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA

Este método se aplica a áridos de origen natural o artificial, incluidos los áridos ligeros, con una dimensión nominal de hasta 90 mm, excluyendo los fillers.

4. EJECUCIÓN DEL ENSAYO

Las etapas a considerar son las siguientes:



a

Selección de la cantidad mínima de muestra de árido necesaria

La masa mínima seca de la muestra de ensayo, reducida según UNE-EN 932-2:1999 se obtendrá de la siguiente tabla para áridos de densidades entre 2 t/m^3 y 3 t/m^3 .

Para áridos de densidades distintas a las indicadas deberá aplicarse a la masa mínima un factor corrector basado en la relación de las densidades.

Para áridos de otros tamaños, la masa mínima de la muestra puede obtenerse por interpolación de las masas de la tabla.

Se debe tomar una masa mínima superior en un 5-10 % a la indicada en la tabla para que la masa seca mínima sea el menos la de ésta. Esta masa se registra como M_s (Masa seca total)

Tamaño máximo D (mm)	Masa mínima seca de muestra en (kg)
90	80
63	40
32	10
16	2,6
8	0,6
≤ 4	0,2

b

Lavado (opcional)

Cuando el lavado pueda alterar las propiedades físicas del árido se deberá hacer el tamizado por vía seca.

En caso contrario, el lavado de los áridos no es necesario, pero permite una mayor precisión en los resultados obtenidos, eliminando previamente los finos como se indica:

- Inmersión de la muestra en un recipiente, agitándola con fuerza para conseguir la completa suspensión de los finos portantes.
- En la zona habilitada para el lavado, colocar el tamiz de 0,063 mm con otro de protección encima (4, 1, 0,125 mm, ...), vertiendo el contenido del recipiente en pequeñas cantidades en el tamiz superior, evitando que obturen los tamices. Se eliminan las partículas inferiores a 0,063 mm lavando hasta que el agua que fluya por el tamiz de 0,063mm no arrastre más finos (agua clara).





c

Determinación de la masa seca de la muestra lavada de árido

La determinación de la masa de árido que pasado por el tamiz de 0,063 mm se efectúa por diferencia de pesadas entre la masa inicial seca total (M_1) y la masa del árido una vez lavado y secado a una temperatura de $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$ hasta obtener masa constante (M_2)

NOTA: Se debe obtener la masa constante de la muestra no ensayo, para todas las retinas previamente al ensayo de muestra, en agua por separado en ensayo.

d

Tamizado

Verter el material lavado y secado (o directamente la muestra seca) en el juego de tamices previamente ensamblados y dispuestos, de arriba abajo, en orden decreciente de tamaños de abertura con el fondo y la tapa. Es necesario incorporar el tamiz de 0,063 mm, ya que el proceso de lavado no elimina todos los finos.

Aplicar un movimiento de planetario sobre la columna en la tamizadora o, en caso contrario, de forma manual, comenzando con el de mayor tamaño de abertura.

El tamizado siempre debe finalizarse manualmente, dándose por terminado cuando la masa de árido retenida en cada tamiz no varíe en más de un 1 % en un minuto de tamizado manual.

NOTA: El número de tamices a emplear viene definido por el tamaño máximo del árido (R_1), empleando siempre la columna de tamices de apertura más próxima a) de 0,063 mm.



e

Pesaje de las fracciones obtenidas

Pesar el material retenido por el tamiz de mayor tamaño de abertura y registrar su masa como R_1 , continuando en orden decreciente hasta llegar al tamiz de 0,063 mm registrando las masas de las diferentes fracciones de material retenido como R_2, R_3, \dots, R_n .

Pesar el material tamizado que quede en la bandeja del fondo, y registrando su masa como P.

5. CÁLCULO Y EXPRESIÓN DE RESULTADOS

La masa de las partículas retenidas en los diferentes tamices se expresa como porcentaje respecto de la masa seca total del material.

Los porcentajes acumulados que pasan por cada tamiz se presentan en forma numérica y, si es necesario, en forma gráfica.

Los pasos a seguir para el cálculo de los resultados son:

Expresar el % de la masa retenida en cada tamiz respecto de la masa seca total.

$$\text{Porcentaje retenido en el tamiz } i = \frac{R_i}{M_1} \times 100$$

Calcular el % acumulado de la masa seca total que pasa por cada tamiz, excluyendo el tamiz 0,063 mm.

$$\text{Porcentaje que pasa por el tamiz } i = 100 - \left(\frac{\sum R_i}{M_1} \times 100 \right)$$

Calcular el % de finos (f) que pasa por el tamiz de 0,063 mm utilizando la siguiente expresión:

NOTA: Si la muestra no se lavó, $M_2 = M_1$.

$$f = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} \times 100$$

Validar los resultados obtenidos, comprobando que la suma de las masas de todas las fracciones (R) y la masa de material tamizado que queda en el fondo (P) no difiere en más de un 1 % de la masa M_2 . En caso contrario habría que repetir el ensayo.

NOTA: La fórmula en el valor absoluto.

$$\frac{M - (\sum R + P)}{M} \times 100 \leq 1 \%$$

Donde:

R_i es la masa retenida por el tamiz i (kg)

M_1 es la masa seca de la muestra de ensayo (kg)

M_2 es la masa seca tra el lavado (kg)

P es la masa de material tamizado que queda en el fondo (kg)

PRUEBAS MENOS COMUNES EN AGREGADOS, (CEMENTERA CRUZ AZUL).

Prueba de abrasión, máquina de los Ángeles (NMX-C-196-1990)
 Límites de consistencia y contracción lineal (NMX-C-416-ONNCCE-2003)
 Equivalente de arena (NMX-C-416-ONNCCE-2003)
 Coeficiente de forma (NMX-C-436-ONNCCE-2004)
 Partículas planas y alargadas ASTM-D-4791-95)
 Efecto de materia orgánica (NMX-C-088-1997-ONNCCE)
 Análisis petrográficos (NMX-C-265-1984)
 Determinación del contenido de sales solubles en agua (cloruros y sulfatos)
 Reactividad potencial (Método químico) NMX-C-271-ONNCCE-1999
 Reactividad potencial (Método de las barras de mortero) NMX-C-180-ONNCCE-2001
 Intemperismo acelerado (sanidad) NMX-C-075-ONNCCE-2006
 Determinación de grumos de arcilla y partículas deleznable, NMX-C-071-ONNCCE-2004
 Determinación de partículas ligeras, NMX-C-072-1997-ONNCCE
 Muestreo de agregados en banco o almacén (NMX-C-030-ONNCCE-2004)

DETERMINACION DE PROPIEDADES FISICAS DE AGREGADOS (NMX-C-030-ONNCCE-2004, NMX-C-073-ONNCCE-2004, NMX-C-077-1997-ONNCCE, NMX-C-084-1990, NMX-C-088-1997-ONNCCE, NMX-C-164-ONNCCE-2002, NMX-C-165-ONNCCE-2004, NMX-C-166-1990, NMX-C-170-1997-ONNCCE)

Pruebas físicas de muestra de grava o arena, incluye: granulometría, masa específica, absorción, masas volumétricas suelta y varillada, materia orgánica y pérdida por lavado.

Normas para agregados

NMX-C-030-ONNCCE-2004	Industria de la construcción - Agregados - Muestreo
NMX-073-ONNCCE-2004	Industria de la construcción - Agregados - Masa volumétrica - Método de prueba
NMX-077-1997-ONNCCE	Industria de la construcción - Agregados para concreto - Análisis granulométrico - Método de prueba
NMX-C-084-1990	Industria de la construcción - Agregados para concreto - Partículas más finas que la criba f 0.075 (no. 200) - Por medio de lavado - Método de prueba.
NMX-C-164-ONNCCE-2002	Industria de la construcción - Agregados - Determinación de la masa específica y absorción de agua del agregado grueso
NMX-C-165-ONNCCE-2004	Industria de la construcción - Agregados - Determinación de la masa específica y absorción de agua del agregado fino - Método de prueba
NMX-C-166-1990	Industria de la construcción - Agregados - Contenido total de humedad por secado - Método de prueba
NMX-C-170-1997-ONNCCE	Industria de la construcción - Agregados - Reducción de las muestras de agregados obtenidas en el campo al tamaño requerido para las pruebas

CAPÍTULO I.

- [1] Aguilar, Alfonso,
Reciclado de materiales de construcción,
Revista Residuos, España, <http://www.bitmap.es/residuos>,
fecha de consulta: 6 de octubre 2008.
- [2] Cortinas de Nava, Cristina,
Manual de capacitación para minimizar residuos a nivel municipal, a través de reducir, reutilizar y reciclar, Ed. Talleres Gráficos de la Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión,
México, D.F.,
- [3] Geoscopio/Madrid,
CEMEX hace pruebas con concreto elaborado a partir de agregado reciclado,
<http://plasticulture.com/topicos/noticias.cgi?topico=med&idnoticias=9170>,
Fecha de consulta: 8 de noviembre de 2008.
- [4] Ingeniería Civil,
Órgano oficial de Colegio de Ingenieros Civiles de México,
Num. 477, Enero de 2009.
- [5] Mehta, P.K., "*Reduciendo el impacto ambiental del concreto*",
Concrete International, núm. 10, octubre de 2000.
- [6] SEMARNAP, PROFEPA. 2000.
Presenta la PROFEPA índices de cumplimiento de la Normatividad Ambiental.
Boletín Informativo No. 5, Enero 1999.
- [7] Varela Arámbulo, José S.,
"El mercado ambiental de los residuos de la construcción",
Foro internacional "Hacia la Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos",
MUTEC Ciudad de México,
25 de Mayo 2006.

CAPÍTULO II.

- [1] Aguilar A., *Reciclado de materiales de la construcción*,
<http://habitat.aq.upm.es/boletin/n2/aconst1.html> ,
Fecha de consulta: 10 de Octubre 2008
- [8] El yeso, *Fabricación: trituración secundaria*,
<http://iq.ua.es/Yeso/secundaria.htm>,
Fecha de consulta: 5 noviembre de 2008.
- [9] García V., *Medio Ambiente y los materiales*,
Curso 2006-2007, Mallorca, España, 2006,
Fecha de consulta: 13 octubre 2008.

- [10] GERD Artículo,
Proceso de reciclaje de los RCD y de la producción de las gravas recicladas,
<http://www.gerd.es/index.php/index.php?secc=reciclagercd>,
Fecha de consulta: 4 febrero 2009.
- [11] <http://es.wikipedia.org/wiki/Trituraci%C3%B3n>,
Fecha de consulta: 30 Septiembre 2008.
- [12] Martínez Abella F.,
La utilización de agregados reciclados en la construcción,
II jornada Técnica Anual, Universidad de Coruña, España, 2008.
- [13] Plan director de gestión de los residuos,
<http://www.errausketarikez.org/pdf/7>.
Selección clasificación reutilización y reciclaje .pdf,
Fecha de consulta: 5 diciembre 2008
- [14] RCIR, *Centro de Clasificación y Transferencia de RCD de Moralarzal*,
http://www.rcir.es/8_moralzarzal/8_2_Moralzarzal_proceso.html,
Fecha de consulta: 3 enero de 2009.
- [15] Rodríguez A., Sanz A. , Lainez L.F.,
Ponencia realizada en el I Congreso Nacional de Demolición y Reciclaje,
ETSI Minas Madrid, España, 200
- [16] Sánchez de J., Marta,
Estudio sobre la utilización de agregado reciclado para la fabricación de concreto estructural
Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos,
España, 2004.
- [17] INTE RCD, *Tratamiento del R.C.D. en planta*, EGMASA,
Huelva, España 2006.

CAPÍTULO III.

- [18] Argulló I., Gómez J. y Vázquez E.
Cualidades físicas y mecánicas de los agregados reciclados de concreto
Aplicación en concretos,
Escuela de Caminos Canales y Puertos,
Universidad Politécnica de Cataluña, España, 2006
- [19] Astudillo B. y Parra J. L. ,
Análisis de los componentes en concretos preparados con agregados reciclados,
LOEMCO, Madrid, 200

CAPÍTULO IV.

- [20] 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.
- [21] Bustos G., "*Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3)*", Ediciones LITEAM, Madrid 2001.
- [22] Casilla G., Jorge, *Fabricación de concreto reciclado*,
Demoliciones y Reciclados, Madrid, España.
- [23] Granell E., *Soluciones para el residuos de la construcción*,
Concretos Reciclados, México DF.
- [24] Quingles C., *El reciclaje de superficies de rodamiento en frío "in situ" mediante mezclas bituminosas*,
Tesis de especialidad, ETSICCP-UPC, España 1997.

CAPÍTULO V.

- [23] Granell E., *Soluciones para el residuos de la construcción*,
Concretos Reciclados, México DF.
- [25] Domínguez J.A., *Reinserción de los residuos de construcción y demolición al ciclo de vida de la construcción de viviendas.*,
Artículo de Investigación, Revista Ingeniería,
Instituto Tecnológico de Chetumal, Quintana Roo, México 2007.
- [26] Tertre J.I., *Primera estructura de concreto fabricada en España con áridos reciclados.*, Fuego Editores, Madrid, España, 200
- [27] Tertre J.I., "*Proyecto TATO 14*", TEC-REC, Madrid, España, 2004