



Centro UC
Innovación del Hormigón

REPORTE TÉCNICO

Uso de áridos reciclados en carreteras chilenas

Viviana Letelier
Marión Bustamante
Víctor Armijos
Eusebio Beroiza

Octubre 2024

Licencia de descarga

“Uso de áridos reciclados en carreteras chilenas”

El Reporte Técnico “Uso de áridos reciclados en carreteras chilenas” (en adelante “Reporte Técnico”) fue creado por Viviana Letelier, Marion Bustamante, Víctor Armijos y Eusebio Beroiza.

Los titulares del Reporte Técnico son la Universidad de la Frontera de Chile (UFRO) y Sacyr Chile, entidades afiliadas al Centro de Innovación del Hormigón de la Pontificia Universidad Católica de Chile (UC).

Se autoriza a los usuarios que acepten cumplir las condiciones de esta licencia, para que accedan a este Reporte Técnico bajo las condiciones que se señalan a continuación:

- 1.** Acceder gratuitamente al Reporte Técnico y reproducir una única copia con la sola finalidad de facilitar su lectura.
- 2.** Se prohíbe expresamente al usuario que adapte, modifique o traduzca, total o parcialmente el Reporte Técnico, sin autorización previa y expresa de los titulares.
- 3.** Se prohíbe la comunicación pública y su puesta a disposición por cualquier medio o procedimiento, así como la utilización del Reporte Técnico para otros fines distintos a los expresamente autorizados sin previo consentimiento por escrito de los titulares.
- 4.** Se prohíbe expresamente la distribución por cualquier medio del Reporte Técnico, ya sea, gratuita u onerosamente.

-©2024. Universidad de la Frontera y Sacyr Chile, “Uso de áridos reciclados en carreteras chilenas”. Todos los derechos reservados.

Agradecimientos

Este reporte se basa en resultados obtenidos del proyecto FONDEF ID21110278 con financiamiento de la Agencia Nacional De Investigación (ANID), el cual fue dirigido por la Dra. Viviana Letelier González de la Universidad de La Frontera de Chile, y codirigido por el Dr. Mauricio López Casanova y por la Dra. Wendy Franco de la Pontificia Universidad Católica de Chile. Este proyecto contó con el apoyo de diferentes entidades asociadas a lo largo de los dos años de ejecución, tales como Melón Hormigones S.A, Sacyr Chile S.A, Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile (ICH), Laboratorio Nacional de Vialidad y de la Dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas de la República de Chile. Finalmente, la ejecución del tramo de prueba no hubiese sido posible sin el apoyo de las empresas Revaloriza y Río Claro, encargadas de procesar residuos de hormigón, y de la empresa ENEL, proveedores de los postes en desuso que se emplearon para la obtención de los áridos reciclados de hormigón.

Uso de áridos reciclados en carreteras chilenas

VIVIANA LETELIER

Depto. Ingeniería Obras Civiles Universidad de la Frontera - Centro de Innovación del Hormigón UC

MARIÓN BUSTAMANTE

Depto. Ingeniería Obras Civiles Universidad de La Frontera

VÍCTOR ARMIJOS

Sacyr Chile S.A. – Empresa socia Centro de Innovación del Hormigón UC

EUSEBIO BEROIZA

Sacyr Chile S.A. – Empresa socia Centro de Innovación del Hormigón UC

Resumen

Este documento detalla el último hito del proyecto FONDEF ID21I10278 “Desarrollo de un nuevo árido reciclado de hormigón de mejor calidad en base a tratamientos de absorción de CO₂”, que se inició en 2022 con el objetivo de aportar a la problemática de los áridos reciclados a nivel nacional. El proyecto buscaba impulsar el uso de áridos reciclados de hormigón y eliminar las barreras ideológicas asociadas a su uso.

Como resultado, en enero de 2024, se logró fabricar una base granular compuesta en un 100% de áridos reciclados de hormigón para ser empleada en un tramo de prueba en el proyecto Ruta de La Fruta, Ruta 66, caracterizada por su alto tráfico de vehículos de carga pesada.

A continuación, se detalla la ejecución de esta primera y exitosa actividad respecto del uso de áridos reciclados de hormigón en bases granulares a nivel país.

1. Introducción

En la actualidad, tendencias de reciclaje o circularidad de materiales están presentes en la cotidianeidad. De acuerdo con su definición, la palabra reciclar tiene relación con someter un material ya empleado a un nuevo proceso que le permita ser utilizado nuevamente. Nos podemos encontrar con diferentes tipos de áridos reciclados, los cuales varían respecto al material de origen que haya sido procesado a partir de molienda o trituración. Debido a su origen, los áridos reciclados de hormigón (ARH) han sido bastante estudiados ya que, como sabemos, el hormigón es el segundo material más consumido a nivel mundial luego del agua [1].

La ruta de reciclaje de este material para producir ARH a nivel internacional ya es una realidad, siendo su uso más frecuente en capas granulares para carreteras, ya que comúnmente el desempeño o requisitos de estos materiales son menos exigentes que en hormigones estructurales [2].

Árido reciclado de hormigón



Árido reciclado de albañilería



Árido reciclado mixto



Fig. 1. Tipos de áridos reciclados según el material de origen.

En Japón por ejemplo, el uso de ARH se encuentra detallado en el Manual de Pavimentación de Carreteras para proyectos de subvención JICA. En el caso de España, las especificaciones se refieren a la utilización de ARH en la construcción de capas firmes de carreteras que se encuentran dentro de la normativa UNE-EN [3], [4], [5].

Según la Asociación Europea de Agregados (EAA, 2018), los componentes minerales de los residuos de construcción y demolición (RCD) producidos en los 28 estados miembros de la Unión Europea (UE), fue de alrededor de 300 millones de toneladas en 2015, lo que correspondería al 11% de la demanda de agregados de construcción en Europa si hubiesen sido convertidos en agregados reciclados [6].

Por otra parte, a nivel latinoamericano, la estandarización es aún bastante atrasada. En el caso de Brasil, se cuenta con una norma desde el año 2004 [7], mientras que en Colombia durante el año 2021, la norma NTC 6421:2021 entró en vigor permitiendo el uso solo de agregados gruesos en hormigones hidráulicos [8]. A nivel país, en cambio, la

modificación de la NCh163, que permite el uso de un porcentaje de áridos reciclados y artificiales, se encuentra recientemente publicada. Por su parte, la Dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas de la República de Chile (en adelante Dirección de Vialidad), ya anunció que la versión 2024 del Manual de Carreteras incorpora la posibilidad de utilizar áridos reciclados de hormigón tanto en subbases, bases y capas granulares para la construcción de pavimentos de hormigón.

Debido a su trituración, los ARH pueden adoptar tamaños y características similares a las de un árido natural. Sin embargo, tal como se puede apreciar en la Fig. 2, la fracción gruesa (grava o gravilla), es una mezcla entre árido natural y mortero del antiguo hormigón. Mientras que, a medida que el tamaño del árido va disminuyendo, la porción de árido natural es menor hasta llegar en algunos casos a que la fracción fina (arena) solo esté conformada por mortero, lo que provoca que algunas propiedades como la densidad o absorción sean deficientes en comparación con las de un árido natural.



Fig. 2. Comparación visual de un árido natural y un árido procesado de escombros de hormigón.

2. Programa Experimental

En una etapa inicial del proyecto FONDEF ID21110278, se realizó un reconocimiento y estudio del mercado de ARH a nivel nacional con datos hasta el año 2023. De acuerdo con esta investigación, a la fecha existían dos empresas autorizadas para la producción de áridos reciclados en Chile:

- a) Revaloriza: ubicada en el sector Lajarilla, Viña del Mar, V Región de Chile. Esta empresa recibe y valoriza todo tipo de residuos de la construcción y cuenta con un chancador de tipo secundario.
- b) Río Claro: ubicada en Tiltil en la Región Metropolitana. Se dedican sólo a la valorización de áridos reciclados y alternativos provenientes de hormigones y escorias de arco eléctrico. Poseen diferentes tipos de chancadores primarios, secundarios y de finos.

3. Tramo de prueba – base granular

Luego del levantamiento de información, se procedió a gestionar y planificar el tramo de prueba. Dicho hito se llevó a cabo en la Ruta 66 conocida como la Ruta de la Fruta, tramo de gran relevancia por su alto tránsito vehicular, ya que es una de las principales carreteras para vehículos de carga pesada con destino a los puertos de San Antonio y Valparaíso. El emplazamiento de esta obra se realizó a la altura del “Cruce de las Arañas” en el Kilómetro 95, con un tramo de 100 metros de extensión.

Esta actividad fue organizada en conjunto con Sacyr Chile, empresa asociada al proyecto FONDEF y a cargo de la Concesión Vial de la Ruta de la Fruta. Sumado a esto, se contó con el apoyo de Dirección de Vialidad junto al

Laboratorio Nacional de Vialidad, quienes sugirieron diferentes aspectos técnicos que facilitaron la correcta caracterización de los áridos reciclados haciendo que su uso como base granular pudiese servir como ejemplo para futuras obras viales.

4. Especificaciones técnicas

A continuación, se detallan las Especificaciones Técnicas del Proyecto Vial - Ruta 66, y las recomendaciones del equipo del Laboratorio Nacional de Vialidad que se tomaron en cuenta para ejecutar el tramo de prueba.

4.1. Banda granulométrica

Las bases granulares de graduación cerrada, deberán ajustarse a la banda granulométrica TM-50b, TM-50c o TM-25, según lo establecido en la Tabla 8.101.1.B de las especificaciones técnicas descritas en el apartado 8.101.1 del MC-V8. En este caso, la banda granulométrica seleccionada fue la TM-25 detallada en la Tabla 4.

4.2. Requisitos de Ensaye

Los materiales a emplear, deben cumplir con los requisitos establecidos en la Tabla 5.301.202.A. del MC-V8 que se presenta a continuación en la Tabla 1. Además, en base a lo detallado en las Especificaciones Técnicas del Proyecto Vial – Ruta 66, se adicionan las características detalladas en la Tabla 2.

ENSAYE	EXIGENCIA CONCRETO ASFÁLTICO	MÉTODO
Material chancado	Min. 50%.	8.202.6
Capacidad de soporte CBR	Mín. 80%. Medido al 95% de la D.M.C.S.	8.102.11

Tabla 1. Requisitos de bases granulares según rodadura establecidos del MC-V8 (en base a lo indicado en la Tabla 5.301.201.A.).

ENSAYE	EXIGENCIA	MÉTODO
Límite líquido	Máx. 25%.	8.102.3 MC-V8
Índice de plasticidad	Máx. 6%.	8.102.4
Desgaste de Los Ángeles	Máx. 35%.	8.202.11
Material por el Tamiz N°40	Límite inferior 0%.	-
Material por el Tamiz N°200	Entre 0 y 15%	-

Tabla 2. Requisitos de bases granulares de acuerdo con las Especificaciones Técnicas Proyecto Vial – Ruta 66.

Tipo de árido	Árido reciclado de hormigón.		
Zona de origen	Zona costera, Región de Valparaíso.		
PROPIEDAD	REQUISITO	VALORES OBTENIDOS	CUMPLIMIENTO
Limite líquido	Máx. 25%	-	Cumple
Índice de plasticidad	Máx. 6%	N.P	Cumple
Desgaste de Los Ángeles	Máx. 35%	29,3%	Cumple
Cubicidad de partículas	Min. 50% chancado	-	-
Poder de soporte CBR	Min 80%	41	No cumple
Clasificación AASHTO Clasificación USCS		A1-a(0) GW	Cumple
Porcentaje de finos	Entre 0% y 15%	-	
Densidad neta ponderada		2.710 kg/m ³	
DMCS		1.890 kg/m ³	

Tabla 3. Características árido reciclado de hormigón tipo I.

5. Recomendaciones

Por parte del Laboratorio Nacional de Vialidad (Dirección de Vialidad - MOP), se recomendaron los siguientes ensayos para la validación del uso de los ARH en bases y subbases para pavimentos:

- Caracterización de los áridos sobrantes después de un año de la construcción de la base granular (deben mantenerse aireados, pero protegidos).
- Ensayo de desgaste en la máquina de Los Ángeles.
- Se recomienda dejar un tramo comparativo con áridos naturales, de igual dimensión y de similar proceso constructivo, que el llevado a cabo con áridos reciclados.
- Medir Deflectometría de Impacto: Un punto cada 20 metros, sobre subrasante, subbase granular, base granular y sobre superficie de rodadura.

- Medir IRI y ahuellamiento sobre superficie de rodadura (una medición al haber construido, y luego realizar mediciones a los 3 meses, 6 meses, 12 meses y 24 meses).

6. Propiedades de los áridos reciclados de hormigón

Las características físicas del primer ARH analizado, se presentan en la Tabla 3. Este ARH fue obtenido del chancado de escombros de hormigón de origen desconocido y no se tomaron medidas para evitar contaminación cruzada con otros residuos.

Este material, fue analizado por el Laboratorio de Materiales de la Universidad de La Frontera junto con el Laboratorio Eurocalidad de la ciudad de Santiago y el Laboratorio de Autocontrol de Sacyr Chile.



Fig. 3. Proceso de caracterización de árido zona costera.
 A) Acopio material. B) Toma de muestras. C) Detalle áridos reciclados de hormigón lavados.
 D) Detalle árido reciclado de hormigón.

Para esta caracterización se tomaron muestras de 200 kg respectivamente.

Luego de evaluar en dos oportunidades este tipo de ARH, se determinó que no cumplía con los requisitos para ser empleado en capas granulares. A pesar de que en una primera instancia no se cumplía con la banda granulométrica, en una segunda oportunidad se mezcló con áridos naturales del mismo proyecto, lo que no fue suficiente. Los principales motivos por lo que este material no cumplió con los requerimientos especificados, se debe a la morfología del árido natural que fue utilizado en el hormigón de origen, ya que visualmente se observaron áridos en proceso de sedimentación (Fig. 3 D), revelando que no existió control de calidad adecuado del hormigón de origen. A su vez, debido a la contaminación cruzada, los ARH se encontraban contaminados con otros materiales (es decir, cerámicos, asfaltos, tierra). A pesar de no ser un éxito para el proyecto, esta situación dio a conocer una realidad con la que un mandante puede llegar a encontrarse y que ocasionaría barreras en el

uso de estos materiales. Por esto es necesario tener una trazabilidad del residuo, así como medidas de acopio adecuadas ya sea en obra o en las mismas plantas revalorizadoras. De la misma manera, es necesario una inspección rápida del escombro de hormigón o determinar el origen de este.

Tamiz	ARH Tipo I	ARH Tipo II	Especificación TM-25
1 ½"	100	100	100
1"	99	100	100
¾"	98	93	70-100
½"	-	76	-
3/8"	58	69	50-80
Nº4	34	44	35-65
Nº10	21	29	25-50
Nº40	9	12	10-30
Nº200	3	8	0-15

Tabla 4. Distribución granulométrica de ambos tipos de ARH analizados.



Fig. 4. Proceso de caracterización árido proveniente de postes de electricidad.
 A) Acopio material. B) Toma de muestras. C) Detalle áridos reciclados de hormigón lavados.
 D) Detalle árido reciclado de hormigón.

Fue así como se decidió proseguir con un ARH de un origen controlado y de mejores características para los requisitos demandados por el proyecto. Para ello, se contó con la participación de la empresa Río Claro, que coordinó el acopio de más de 300 postes de electricidad de ENEL. Se comenzó con el proceso de chancado y pruebas de granulometría hasta obtener la banda deseada: TM-25 descrita en la Tabla 4. A continuación, en la Tabla 5, se detallan sus principales propiedades físicas.

Cabe destacar que estos resultados fueron obtenidos con el Laboratorio de Autocontrol Sacyr Chile junto al Laboratorio DECON y que luego fueron corroborados con el Laboratorio Nacional de Vialidad. De esta manera, con características que indicaban la aptitud del ARH para el uso en bases de carreteras, se presentaron los datos y solicitaron los permisos respectivos a la Inspección Técnica de la obra, aprobándose la ejecución del tramo de prueba.

Tipo de árido	Árido reciclado de postes de hormigón		
Zona de origen	Zona centro, Región Metropolitana.		
PROPIEDAD	REQUISITO	VALORES OBTENIDOS	CUMPLIMIENTO
Límite Líquido	Máx. 25%	-	Cumple
Índice de Plasticidad	Máx. 6%	N.P	Cumple
Desgaste de Los Ángeles	Máx. 35%	26%	Cumple
Cubicidad de partículas	Min. 50% chancado	66 - 85% Chancado 14 - 15% Rodado 0 - 1% Laja	Cumple
Poder de Soporte CBR	Min. 80%	108	Cumple
Clasificación AASHTO		A1-a(0-1)	Cumple
Clasificación USCS		GW-GM	
Densidad neta ponderada	-	2.692 kg/m ³	-

Tabla 5. Características árido reciclado de hormigón tipo II.

7. Ejecución del tramo de prueba



Fig. 5. Recolección y acopio de ARH para ser empleado como base granular.

Para la ejecución del tramo de prueba fue necesario trasladar los 200 m³ de ARH desde la planta revalorizadora hasta el acopio de la obra, lo cual se realizó a través de camiones de la empresa Sacyr Chile (Fig. 5). Luego de esto, el día 17 de enero con la presencia de representantes de las empresas ENEL, Río Claro, Laboratorio Nacional de Vialidad, Dirección de Vialidad y del Manual de Carreteras (MOP), se llevó a cabo la puesta de la base granular en una extensión de cien metros lineales y compuesta en un 100% de ARH.

Como es posible observar en la Fig. 6 y Fig. 7, el procedimiento realizado fue similar a uno con árido natural, compactando en capas de 0,14m de espesor hasta alcanzar un nivel de densificación mínimo de 95% de la densidad máxima compactada en seco (1.890 kg/m³).



Fig. 6. Detalles de la ejecución de tramo de prueba.



Fig. 7. Detalle de la base granular del tramo de prueba.

8. Ensayos y características de la capa granular

Luego de su ejecución, el Laboratorio de Autocontrol de la empresa Sacyr Chile realizó la toma de muestras respectivas, obteniendo las características de Tabla 6.

Debido a que esta concesión aún se encuentra en ejecución, se espera que dentro de los próximos meses se de inicio a la etapa de ensayos recomendados por el Laboratorio Nacional de Vialidad perteneciente a la Dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas de la República de Chile, y que tienen relación con posibles fallas producidas por el tráfico de vehículos.

9. Conclusiones

El empleo de ARH es autorizado normativamente en diferentes países y gracias a los cambios normativos del último año, también lo podrá ser en nuestro país.

No obstante, su aplicación aún es relativamente baja en la industria de la construcción, sobre todo en países latinoamericanos, lo que se debe en gran medida a la falta de conocimiento de las partes interesadas, desarrollo de normas, especificaciones y/o restricciones locales [6].

Sin embargo, los resultados presentados en este Reporte Técnico, confirman que el reciclaje de escombros de hormigón es una

MATERIAL	Base granular ARH	
FECHA	11-01-2024	
PROCEDENCIA	Km. 92.790	
ENSAYE	VALORES OBTENIDOS	ESPECIFICACIÓN TM-25
<i>Densidad máxima compactada en húmedo</i>	2.180 (kg/m ³)	--
<i>Humedad óptima</i>	10,5 %	--
<i>Densidad máxima compactada en seco</i>	1.970 (kg/m ³)	--
<i>Poder de soporte CBR</i>	141	Min 80%
<i>Densidad de partículas sólidas</i>	2,740 (g/cm ³)	--
<i>Equivalente de arena(%)</i>	55	Min 25%
<i>Chancado total (%)</i>	55	Min 50%
<i>Rodado total (%)</i>	45	-
<i>Desgaste (%)</i>	-	Max.35 %

Tabla 6. Análisis de material obtenido por el Laboratorio de Autocontrol de la empresa Sacyr Chile.

clara alternativa en la gestión de residuos a nivel país. Ahora bien, para poder llevar a cabo este hito, fue clave la gestión y comunicación entre las partes interesadas, quienes gracias al adecuado conocimiento y coordinación, lograron trabajar con un residuo de origen controlado y un proceso de chancado que resultó en un ARH de granulometría y propiedades físicas aptas para su uso en bases granulares, obteniendo un poder de soporte de un 141% muy por sobre la mínima requerida por el Manual de Carreteras.

Es imprescindible que las industrias revalorizadoras se expandan a lo largo de todo el territorio nacional, considerando además que en diversas regiones no se cuenta con escombreras legales para este tipo de residuos. Ahora bien, no cabe duda de que el reciclaje es más efectivo si es impulsado por el cliente y se planifica desde el inicio del proyecto, por lo que sería clave la incorporación de obligaciones y/o beneficios en licitaciones que promuevan el uso de este material.

10. Bibliografía

- [1] S. M. Levy y P. Helene, «Durability of recycled aggregates concrete: a safe way to sustainable development», *Cem. Concr. Res.*, vol. 34, n.º 11, pp. 1975-1980, nov. 2004, doi: 10.1016/j.cemconres.2004.02.009.
- [2] M. Etxebarria, A. R. Marí, y E. Vázquez, «Recycled aggregate concrete as structural material», *Mater. Struct.*, vol. 40, n.º 5, pp. 529-541, jun. 2007, doi: 10.1617/s11527-006-9161-5.
- [3] «UNE-EN 12620:2003+A1:2009 Áridos para hormigón.» Accedido: 26 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en:

<https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0043155>

- [4] «UNE-EN 13043:2003 Áridos para mezclas bituminosas y tratamient...» Accedido: 26 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0030310>

- [5] «UNE-EN 13242:2003+A1:2008 Áridos para capas granulares y capas...» Accedido: 26 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0040948>

- [6] R. K. Dhir, J. de Brito, R. V. Silva, y C. Q. Lye, «14 - Potential for the Recycled Aggregate Market», en *Sustainable Construction Materials*, R. K. Dhir, J. de Brito, R. V. Silva, y C. Q. Lye, Eds., en Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering. , Woodhead Publishing, 2019, pp. 585-601. doi: 10.1016/B978-0-08-100985-7.00014-5.

- [7] NBR15116 DE 06/2021 Agregados reciclados para uso em argamassas e concretos de cimento Portland - Requisitos e métodos de ensaios.

- [8] «NTC 6421:2021 Agregados gruesos reciclados para uso en el concreto hidráulico». Accedido: 26 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://tienda.icontec.org/gp-agregados-gruesos-reciclados-para-uso-en-el-concreto-hidraulico-ntc6421-2021.html>



Centro UC
Innovación del Hormigón

www.centrohormigon.uc.cl
hormigon@uc.cl