



Maestría en
Ingeniería Ambiental



ESPECIALIZACIÓN en INGENIERÍA AMBIENTAL
TRABAJO FINAL INTEGRADOR

VALORIZACIÓN DE AGREGADOS RECICLADOS DE HORMIGÓN Estudio experimental de laboratorio

AUTOR

Begliardo, Hugo Félix
INGENIERO CIVIL

Facultad Regional Santa Fe
Universidad Tecnológica Nacional – U.T.N.

2011

Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional – edUTecNe

<http://www.edutecne.utn.edu.ar>

edutecne@utn.edu.ar

© [Copyright] La Editorial de la U.T.N. recuerda que las obras publicadas en su sitio web son de libre acceso para fines académicos y como un medio de difundir el conocimiento generado por autores universitarios, pero que los mismos y edUTecNe se reservan el derecho de autoría a todos los fines que correspondan.

INDICE

Página

RESUMEN TÉCNICO	5
------------------------------	---

Capítulo 1

LOS RESIDUOS DE HORMIGÓN: EL PROBLEMA DE LA DISPOSICIÓN FINAL Y LA IMPORTANCIA DE SU RECICLADO	7
1.1. Introducción.....	7
1.2. El hecho observado.....	8
1.3. El problema.....	8
1.4. Reciclado de hormigones. Antecedentes.....	9
1.5. Hipótesis de la investigación.....	9
1.6. Objetivos.....	10
1.7. Justificación de la investigación en el ámbito de la UTN.....	10

Capítulo 2

VALORIZACIÓN DE LOS RESIDUOS DE CONSTRUCCION Y DEMOLICIÓN. MARCO JURÍDICO	13
2.1. Introducción.....	13
2.2. Legislación nacional.....	13
2.2.1. Constitución de la Nación Argentina.....	13
2.2.2. Ley 25675. Ley General del Ambiente.....	13
2.2.3. Ley 25612. Gestión Integral de Residuos de origen industrial y actividades de servicio.....	15
2.2.4. Ley 25916. Gestión Integral de Residuos Domiciliarios.....	15
2.2.5. Conclusiones.....	17
2.3. Legislación provincial.....	17
2.3.1. Ley 11717. Ley General del Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable.....	17
2.3.2. Resolución 128/2004.....	18
2.3.3. Ley N° 13.055. Residuos Sólidos Urbanos. Basura Cero.....	19
2.4. Legislación municipal.....	21

Capítulo 3

MATERIALES Y MÉTODOS	23
3.1. Introducción.....	23
3.2. Metodología.....	24
3.2.1. Materiales: caracterización y análisis.....	26
3.2.2. Desarrollo experimental.....	27
3.2.2.1. Hormigón estructural.....	27
3.2.2.2. Hormigón no estructural.....	28

Capítulo 4

RESULTADOS Y DISCUSIÓN	31
4.1. Agregados gruesos.....	31
4.2. Hormigones estructurales.....	31

4.3. Hormigones no estructurales.....	33
---------------------------------------	----

Capítulo 5

CONCLUSIONES	35
5.1. Conclusiones.....	35
5.1.1 Técnicas.....	35
5.1.2. En relación a los objetivos.....	35
5.2. Contribución al conocimiento científico-tecnológico y transferencia al medio	35
5.3. Futuras líneas de investigación.....	36
REFERENCIAS	37

RESUMEN TÉCNICO

El hormigón es uno de los materiales más empleados en las construcciones civiles. Como tal, es un compuesto resultante de la combinación o mezcla íntima de agregados (piedras y arenas), cemento portland y agua, pudiendo usárselo tanto con fines estructurales como no estructurales.

Los agregados que intervienen en su composición suelen ser de dos tipos, finos y gruesos. En nuestra región, normalmente, los agregados finos son las arenas provenientes de río. Los agregados gruesos generalmente derivan de la trituración de piedras de cantera, aunque también pueden proceder de río, como el canto rodado, cuando conviene por razones especiales o económicas.

En rigor, no se agotan las posibilidades de elaboración de hormigones empleando sólo el tipo de áridos mencionados. En años recientes ha cobrado mayor fuerza e importancia el reciclado y reutilización de los residuos de construcción y demolición, fundado ello tanto en razones de valorización comercial como medioambientales. Precisamente, a partir de estos residuos es posible obtener nuevas variedades de agregados factibles de utilizar en la elaboración de hormigones.

El motivo del presente trabajo es poner en conocimiento de la comunidad científica, política y empresarial, experiencias de laboratorio en relación a la valorización de residuos de hormigón llevados al estado granza de diferentes granulometría para su empleo en nuevos hormigones, tanto de uso estructural como no estructural. Tales experiencias fueron realizadas en el Laboratorio de Ingeniería Civil de la UTN F.R. Rafaela durante el año 2008.

Capítulo 1

LOS RESIDUOS DE HORMIGÓN: EL PROBLEMA DE LA DISPOSICIÓN FINAL Y LA IMPORTANCIA DE SU RECICLADO

1.1. Introducción

El *hormigón* es uno de los materiales más empleados en las construcciones civiles. Tal designación involucra una amplia gama de materiales componentes, así como diferentes posibilidades de aplicación.

Como material, es un compuesto resultante de la combinación o mezcla íntima de agregados gruesos y finos (piedras y arenas), cemento portland y agua. Se lo puede usar tanto con fines estructurales como no estructurales. Combinado con acero se obtiene el llamado *hormigón armado*, de uso básicamente estructural.

La elaboración de hormigones supone su diseño previo para dosificar adecuadamente sus componentes, conforme al fin, uso o aplicación que se les dará:

- El *agua* empleada en su composición debe responder a determinados requisitos físicos y químicos de aptitud, de modo que no cause ataques tanto al cemento portland con el cual reaccionará, como a las armaduras, o bien otros efectos nocivos sobre la resistencia y/o durabilidad. El pH debe estar comprendido entre 5,5 y 8, aceptándose la presencia limitada de determinadas sustancias disueltas, sulfatos, ión cloro, etc. En tal sentido, existen Normas o Instructivos a nivel nacional que fijan tales límites. El agua potable es considerada apta [1,2].
- El *cemento portland* mezclado con el agua conforma la llamada “pasta de cemento”, la cual habrá de envolver a los agregados a fin obtener el nuevo material “hormigón”, cuyas propiedades, una vez fraguado y endurecido, se distinguirán de la de sus componentes. Existen muchos tipos y categorías de cemento portland elaborados expresamente para diferentes usos [3,4]. En nuestro país las Normas IRAM 50000:2000 y 50001:2000 [5,6] regulan sus características y fabricación.
- Los *agregados* empleados, también llamados “áridos”, suelen ser de dos tipos, *finos* y *gruesos*, distinción que obedece a una mera clasificación granulométrica pero que, en general, da un indicio de su procedencia conforme a la región donde se elaboren los hormigones. En nuestra zona, normalmente, los agregados finos son las arenas provenientes de río. Excepcionalmente suelen emplearse finos procedentes de trituración de canteras. La arena para elaborar hormigones se distingue técnicamente por el llamado módulo de finura (MF). Para simplificar su expendio, comercialmente se las llama “gruesa” ($MF > 2,5$), “mediana” ($2,5 > MF > 2$) o “fina” ($MF < 2$). Los agregados gruesos normalmente derivan de la trituración de piedras de cantera, aunque también pueden proceder de río (canto rodado) cuando conviene por razones especiales o económicas. Los agregados también deben responder a ciertos requisitos de aptitud establecidos por Reglamentos y Normas de alcance nacional [2,7].

Ciertamente, no se agotan las posibilidades de elaboración de hormigones empleando sólo el tipo de áridos mencionados. En años recientes ha cobrado mayor fuerza e importancia el reciclado y reutilización de los residuos de construcción y demolición (RCD), fundado ello tanto en razones de valorización comercial como medioambientales. Precisamente, a partir de estos residuos es posible obtener nuevas variedades de agregados factibles de utilizar en la elaboración de hormigones.

Desde el punto de vista puramente económico, el reciclaje de residuos de construcción resulta solamente atractivo cuando el producto reciclado es competitivo con las materias primas en relación al costo y la calidad. Los materiales reciclados serán normalmente competitivos donde falten las materias primas o lugares de vertido adecuados. Con el uso de los materiales reciclados se pueden obtener grandes ahorros en el transporte de residuos de la construcción e insumos [8].

El motivo del presente trabajo es poner en conocimiento de la comunidad científica, política y empresarial, experiencias de laboratorio en relación a la valorización de residuos de hormigón llevados al estado granza de diferentes granulometría, para su empleo en nuevos hormigones, tanto de uso estructural como no estructural. Tales experiencias fueron realizadas en el Laboratorio de Ingeniería Civil de la UTN F.R. Rafaela durante el año 2008.

1.2. El hecho observado

En los últimos años y aunque con altibajos, en Argentina ha tenido lugar un incremento notable en el índice de edificación y la obra pública. Dentro del importante volumen de RCD que se ha generado como consecuencia de lo acontecido, se destacan las roturas de hormigón provenientes de pavimentos, obras de arte y edificios por el espacio que ocupan al ser llevados a disposición final.

La ciudad de Rafaela (Santa Fe) no ha quedado exenta de ello [9,10]. En esta localidad, próxima a los 100.000 habitantes, el volumen de residuos de construcción y demolición generados en la obra pública y privada con motivo de expansión de la construcción habida en años recientes, pasó a ser una preocupación muy importante para las autoridades locales, entre otras razones por contribuir considerablemente al temprano agotamiento de la capacidad del relleno sanitario (RS) municipal [10,11]. De tales residuos, los escombros de hormigón son los que ocupan el espacio más significativo, debido al tamaño de las roturas y la gran cantidad de vacíos desperdiciados entre las fracciones, como se aprecia en las Figuras 1 y 2.



Figura 1. Roturas de pavimentos rígidos



Figura 2. Caños de hormigón para desagües

1.3. El problema

Frente al hecho observado, la pregunta que ha motivado la investigación que diera lugar a los estudios experimentales de laboratorio que se presentan, ha sido:

¿Cómo prolongar la vida útil de las celdas del RS?

Desde lo fáctico, se tienen dos caminos como respuesta al planteo:

1. Reducir las grandes fracciones de hormigón al momento de disponerlas finalmente en el RS.
2. Incorporar los escombros de hormigón como áridos reciclados en nuevos hormigones.

El primero de ellos es claramente oneroso para el fin perseguido. El segundo es el más viable y es el que ha sido aplicado en los estudios de laboratorio en UTN FRRa.

Ante circunstancias similares, la tendencia actual en muchos países es reciclar este material procediendo a triturarlo en fracciones de distinto tamaño, y volver a emplearlo en la fabricación de nuevos hormigones [12]. En tal sentido, las primeras investigaciones en reciclado de hormigones se iniciaron en Estados Unidos en tiempo de posguerra [13].

Ciudades como Rafaela carecen de canteras o ríos para proveerse de áridos. La arena fina empleada procede del río Paraná (Santa Fe), la gruesa de ríos de la Provincia de Córdoba (Arroyito) y la mediana, de menor demanda, de algunos bancos de ríos de la región. La piedra empleada normalmente es partida granítica proveniente de las serranías cordobesas. Todo ello deriva en grandes costos de transporte que contribuyen a encarecer el producto final.

Por consiguiente, el aprovechamiento de agregados reciclados para la elaboración de nuevos hormigones, además de aportar una solución al problema, otorga beneficios adicionales, económicos y medioambientales, por cuanto:

- a) Contribuye a la reducción de costos del producto final, al mermar el transporte de áridos desde su fuente de procedencia al lugar de elaboración de los hormigones.
- b) Evita la explotación y consecuente merma de recursos naturales no renovables (canteras).
- d) Disminuye el gasto energético.

1.4. Reciclado de hormigones. Antecedentes

La fabricación de hormigones con agregados reciclados procedentes de hormigones no es un hecho reciente, sino que se ha potenciado en los últimos años por las indicadas razones económico-medioambientales.

Como se expresó en la sección 1.3., ya en tiempos de posguerra se iniciaron en los Estados Unidos las primeras investigaciones en este sentido obteniendo los agregados a partir de la molienda de viejas construcciones (edificios, obras de arte). Esta fuente de obtención de áridos reciclados continúa hasta la fecha. Sin embargo, más recientemente y en razón de la expansión del uso del hormigón elaborado en plantas específicas frente al confeccionado en el lugar de las obras, se ha generado un importante cúmulo de material sobrante o retenido en los camiones mezcladores (mixers) por excedente o fragüe prematuro, que obliga a los proveedores a desprenderse del mismo en el proceso de vaciado y limpieza de los tambores de dichos equipos. Lo señalado ha dado lugar a potenciar las investigaciones sobre su aprovechamiento en procura de la obtención de hormigones, fundamentalmente estructurales, de la mejor calidad posible [14,15].

Asimismo, muchas de las firmas proveedoras ven en lo anterior una fuente de reducción de costos y solución al problema de escoger el lugar de vertido de tales residuos, por lo cual ya se cuenta con plantas elaboradoras de hormigón a partir del hormigón reciclado. En los países del hemisferio norte se tienen los primeros antecedentes [12,13]. En Argentina también se han encarado iniciativas similares. En la ciudad de Rafaela una de las firmas proveedoras locales ha comenzado desarrollos en tal sentido, aunque la tecnología implementada difiere de la propuesta en este trabajo por cuanto se basa en el lavado del material residual en estado aún fresco, para recuperar los agregados naturales en su forma más limpia posible, en lugar de la trituración y cribado de los restos de hormigón ya endurecido.

1.5. Hipótesis de la investigación

La investigación llevada a cabo en los Laboratorios de la UTN F.R.Rafaela se fundó en las siguientes hipótesis:

- a) Hipótesis Fundamental (HF):

La incorporación de granza de residuos de hormigones fabricados con piedra partida en la elaboración de nuevos hormigones, permite lograr en éstos capacidades resistentes y propiedades mecánicas similares a los convencionales.

b) Hipótesis Presupuesta (HP):

Si las resistencias mecánicas son aceptables, podrán emplearse hormigones reciclados tanto en usos estructurales como no estructurales.

c) Hipótesis Derivada (HD):

Si las pruebas con áridos reciclados con piedra partida son satisfactorias, es de esperar similar comportamiento si éstos contienen canto rodado.

Los estudios que se presentan se llevaron a cabo sobre hormigones *convencionales*. Los hormigones convencionales son aquellos tradicionales, de elaboración conocida por el común de la gente. Se los designa convencionales para distinguirlo de los llamados *no convencionales*, como es el caso de los autocompactantes (H.A.C.), los cuales representan una forma más reciente y novedosa de elaborar hormigones [16-18]. Estos se caracterizan por poseer un grado de fluidez tal que tienden a autonivelarse y no necesitan ser vibrados tras volcarlo al encofrado.

El residuo recuperado, luego de triturado, fue sometido en Laboratorio a ensayos de caracterización física y química. Tras ello, se elaboraron hormigones conteniendo porcentajes crecientes de agregado reciclado, además de un hormigón patrón de comparación para aquellos de uso estructural y otro para los de uso no estructural. Las probetas extraídas fueron sometidas a ensayos físicos y observaciones a diferentes edades.

1.6. Objetivos

Los estudios realizados han tenido los siguientes objetivos:

a) Generales:

1. Proponer la utilización en obras civiles de hormigones elaborados con agregados de material reciclado de hormigón.
2. Informar a la comunidad científica, política y empresarial sobre los resultados de la investigación.

b) Específicos:

1. Valorizar los residuos de hormigón mediante su reutilización en nuevos hormigones.
2. Lograr una solución ambientalmente sostenible frente al problema del acortamiento de la vida útil de los Rellenos Sanitarios, por vuelco no regulado de residuos de hormigón.

1.7. Justificación de la investigación en el ámbito de la UTN

El reaprovechamiento de los áridos presentes en los hormigones a reciclar o reutilizar se inserta dentro de las áreas Medio ambiente y Recursos Mineros, señaladas como dos de las dieciséis áreas temáticas prioritarias del documento *“Bases para un Plan Estratégico de Mediano Plazo en Ciencia, Tecnología e Innovación”*, emitido en el año 2005 por la SeCyT (Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva), dependiente del Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología de la Nación [19]. Estas áreas temáticas tienen por objetivo estratégico la

*“Creación y aplicación de conocimiento para la **explotación responsable de los recursos naturales**, protegiendo el ambiente”* (punto 7.3 del documento).

El apartado 7.3.3 (Medio Ambiente) amplía sobre ello señalando que la extracción de los recursos naturales es una de las “líneas prioritarias de I+D contenidas en el Plan Estratégico” y, el apartado 7.3.4 (Recursos Mineros), indica:

*“Los minerales (...) son recursos esenciales para mantener y mejorar la calidad de vida, el desarrollo económico y la equidad entre las generaciones actuales y futuras; su producción, uso, **reutilización, reciclaje** y disposición segura en el ambiente se integran en el concepto de desarrollo sustentable(...). Por tales motivos, es indispensable que la ciencia y la tecnología apunten a maximizar los aportes sociales, económicos y ambientales que la actividad minera pueda hacer para un desarrollo sustentable durante todo el ciclo de vida de los minerales(...). A partir de tales consideraciones, se considera conveniente establecer las siguientes líneas prioritarias:*

(...)

a) Nuevos productos

Nuevos productos vinculados con los minerales industriales y **materiales de construcción**, que ofrezcan distintas opciones comerciales para ampliar la oferta minera.”

La Universidad Tecnológica Nacional, en su Documento de Trabajo N° 7, “Criterios que orientan la política de Ciencia y Tecnología de U.T.N.” [20], establece en el apartado V. PROGRAMAS que el campo “Materiales, Estructuras, Manufacturas, Producción de Bienes y Servicios” es uno de los que puede ser tratado como Programa en el ámbito de la misma.

En este Trabajo Final Integrador (TFI) se presentan los resultados de una investigación llevada a cabo en el Laboratorio de Ingeniería Civil de la UTN Facultad Regional Rafaela, bajo la dirección del autor. Con ella se pretende valorar un residuo inerte, inocuo y, fundamentalmente, por encontrarse en un estadio de su ciclo de vida de mucha utilidad. Tal **investigación aplicada** es consonante con los lineamientos dictados en el punto 21 del apartado IV. PRIORIDADES del mencionado documento, el cual señala:

*“La Universidad Tecnológica Nacional atenderá prioritariamente a la **investigación aplicada** y al **desarrollo tecnológico e innovación** que le sea requerido por el Estado Nacional, las Provincias y Municipios y el sector productor de bienes y servicios permitiendo satisfacer el concepto ínsito a la ingeniería de utilizar en forma económica los materiales y fuerzas de la naturaleza en beneficio de la humanidad”.*

El punto 28 del mismo documento establece:

“Será admitido el desarrollo requerido o promovido desde el propio ámbito de la Universidad Tecnológica Nacional para incrementar su capacidad instalada para la enseñanza de la ingeniería y/o en campos y disciplinas de interés a efectos de incrementar su proyección e inserción en el sector productivo. En particular será promovido, según un esquema matricial, el que deban realizar los tesis de los posgrados que se pongan en marcha. En estos casos los desarrollos tendrán una finalidad pragmáticamente tangible, fácilmente comprensible para la comunidad universitaria y deberán ser socialmente aceptables, demostrando, con hechos, beneficios para la misma”.

Capítulo 2

VALORIZACIÓN DE LOS RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN. MARCO JURÍDICO

2.1. Introducción

El objeto de este apartado es destacar la atención, importancia y concomitante exigencia que plantean las leyes que conforman el incipiente “Derecho Ambiental” argentino, en relación a la valorización que habrá de darse a los residuos, a su reinserción en el ciclo de la vida útil, minimizando su generación y disposición final, así como a la utilización racional de los recursos naturales, entre otros aspectos, todo ello en un marco de concientización ambiental ciudadana a partir de la educación. Se destacarán de la normativa que se expone en las secciones que siguen, aquellos aspectos que dejan claramente fundamentada la utilidad de las investigaciones llevadas a cabo en el Laboratorio de Ingeniería Civil de la UTN F.R.Rafaela, como respuesta servicial a un problema real que excede lo local, pudiendo sus resultados ser aplicados en otras regiones.

2.2. Legislación nacional

2.2.1. Constitución de la Nación Argentina [21]

La Constitución de la Nación Argentina en su Primera Parte, Capítulo Segundo (Nuevos derechos y garantías), establece:

“Art. 41º(extracto)- Todos los habitantes gozan del derecho a un ambiente sano, equilibrado, apto para el desarrollo humano y para que las actividades productivas satisfagan las necesidades presentes sin comprometer las de las generaciones futuras; y tienen el deber de preservarlo. El daño ambiental generará prioritariamente la obligación de recomponer, según lo establezca la ley.”

“Las autoridades proveerán a la protección de este derecho, a la utilización racional de los recursos naturales, a la preservación del patrimonio natural y cultural y de la diversidad biológica, y a la información y educación ambientales.”

Con la inserción de este artículo, la Constitución del año 1994 incorpora la **cláusula ambiental**, garantizando a todos los habitantes el derecho a un ambiente sano y equilibrado, en tanto que **obliga** a las autoridades a la protección de este derecho, a la **utilización racional de los recursos naturales** y a la **preservación del patrimonio natural**, entre otros aspectos.

Este artículo se proyecta sobre toda la Nación e ilumina las leyes de presupuestos mínimos, las especiales y provinciales que se dictaron a posteriori, o se habrán de dictar en la temática ambiental.

2.2.2. Ley 25.675 - Ley General del Ambiente [22]

Esta ley establece los presupuestos mínimos para el logro de una **gestión sustentable y adecuada del ambiente**, la preservación y protección de la diversidad biológica y la implementación del **desarrollo sustentable**. Por su carácter de ley de presupuestos mínimos es de aplicación obligatoria en todo el territorio de la Nación (Art.3º). En consecuencia, las Provincias y Municipios deben velar y accionar en pro de su efectiva implementación dentro de sus respectivas jurisdicciones.

La misma indica en el Artículo 2° cuáles serán los objetivos de la política nacional ambiental, destacándose de él los siguientes incisos:

“a) Asegurar la preservación, conservación, recuperación y mejoramiento de la calidad de los recursos ambientales, tanto naturales como culturales, en la realización de las diferentes actividades antrópicas.”

“d) Promover el uso racional y sustentable de los recursos naturales.”

“g) Prevenir los efectos nocivos o peligrosos que las actividades antrópicas generan sobre el ambiente para posibilitar la sustentabilidad ecológica, económica y social del desarrollo.”

“h) Promover cambios en los valores y conductas sociales que posibiliten el desarrollo sustentable, a través de una educación ambiental, tanto en el sistema formal como en el no formal.”

Claramente se observa que en ellos se destaca la **promoción del uso racional y sustentable de los recursos naturales**, dentro de lo cual podemos entender a la explotación de canteras productora de áridos, así como la de los cambios en los valores y conductas de la sociedad que hagan posible la sustentabilidad ecológica, económica y social del desarrollo. Asimismo, pone énfasis en la **educación ambiental**, aspecto clave para poder entender, aceptar y promover la valorización de residuos como los que se estudian en este trabajo. Sobre ello vuelve en los Artículos 14° y 15°, donde establece:

“Art. 14°- La educación ambiental constituye el instrumento básico para generar en los ciudadanos, valores, comportamientos y actitudes que sean acordes con un ambiente equilibrado, propendan a la preservación de los recursos naturales y su utilización sostenible, y mejoren la calidad de vida de la población.”

“Art. 15°- La educación ambiental constituirá un proceso continuo y permanente, sometido a constante actualización que, como resultado de la orientación y articulación de las diversas disciplinas y experiencias educativas, deberá facilitar la percepción integral del ambiente y el desarrollo de una conciencia ambiental.”

Dentro de los principios de la política ambiental que guardan relación con la valorización de residuos, se destacan del Artículo 4° de la ley los siguientes:

“Principio de equidad intergeneracional: Los responsables de la protección ambiental deberán velar por el uso y goce apropiado del ambiente por parte de las generaciones presentes y futuras.”

“Principio de sustentabilidad: El desarrollo económico y social y el aprovechamiento de los recursos naturales deberán realizarse a través de una gestión apropiada del ambiente, de manera tal, que no comprometa las posibilidades de las generaciones presentes y futuras.”

Surge de todo lo expuesto que los recursos naturales merecen especial atención en cuanto a su preservación y uso racional, tanto para beneficio de generaciones presentes como futuras. Todo ello debe ser apoyado con políticas educativas adecuadas que instruyan a la sociedad sobre la importancia de la preservación y valorización de los mismos, a partir de su explotación y uso tanto racional como sustentable. La ley, en tal sentido, les asigna a las autoridades grave responsabilidad a partir del principio de equidad intergeneracional.

2.2.3. Ley 25.612-Gestión Integral de Residuos de origen industrial y actividades de servicio [23]

La Ley Nacional N° 25.612, promulgada parcialmente en el año 2002^a y a la fecha no reglamentada, define al *residuo industrial* (Art.2º) como “cualquier elemento, sustancia u objeto en estado sólido, semisólido, líquido o gaseoso, obtenido como **resultado de un proceso industrial**, por la realización de **una actividad de servicio**, o por estar relacionado directa o indirectamente con la actividad, incluyendo eventuales emergencias o accidentes, del cual su poseedor productor o generador no pueda utilizarlo, se desprenda o tenga la obligación legal de hacerlo”.

Como se deduce de la definición precedente, los desechos tales como los restos de hormigones elaborados, o determinado tipo de residuos generados en la industria de la construcción o en sus actividades complementarias de servicio, deberán ser considerados residuos industriales y gestionados como tales.

Si bien la ley no los menciona expresamente, esta es la primera Ley Nacional que hace referencia a los RCD, al incluir la actividad de la construcción en el borrador de su decreto reglamentario titulado “Residuos de la construcción y demolición, incluyendo carreteras: hormigón, ladrillos, tejas y materiales cerámicos, maderas, vidrios, plástico, metales, hierro, acero, cables” [24]. De prosperar el mismo, se trataría, por consiguiente, de la primera mención específica hecha sobre esta clase de desechos.

Sin embargo se está ante una ley muy cuestionada por distintos especialistas en la materia dado que, a partir de lo que establece en el artículo 3º, convierte en “peligroso” a todo residuo proveniente de procesos industriales o actividad de servicio complementaria:

*“Art. 3 - Se entiende por gestión integral de residuos industriales y de actividades de servicio al conjunto de actividades interdependientes y complementarias entre sí, que comprenden las etapas de generación, manejo, almacenamiento, transporte, tratamiento o disposición final de los mismos, y que **reducen o eliminan los niveles de riesgo en cuanto a su peligrosidad, toxicidad o nocividad**, según lo establezca la reglamentación, para garantizar la preservación ambiental y la calidad de vida de la población.”*

Como se puede observar, al hacer mención a la reducción o eliminación presupone peligrosidad. Esta ley ha sido tildada de “defectuosa”, “ambigua” y de “un ejemplo acabado de lo que NO deber ser una ley ambiental” [25].

Para la ley 25.612 un residuo “industrial” generado en una actividad industrial o de servicio complementaria a ésta, como se puede presentar en el rubro de la construcción, que bajo el marco normativo de la ley 24.051^b era considerado “no peligroso”, debe recibir un tratamiento similar al que da esta última norma a los “residuos peligrosos” [26].

Sin embargo, y al margen de su inseguridad jurídica, redundancia y falta de autosuficiencia, es de aplicación efectiva al haber sido promulgada, por lo que debe tenerse por referente o complementaria en la gestión integral de los residuos de construcción derivados de procesos industriales o actividades de servicios, desde su generación hasta el tratamiento o disposición final, pasando por los estadios intermedios de manejo, almacenamiento y transporte.

2.2.4. Ley 25.916-Gestión Integral de Residuos Domiciliarios [27]

La Ley N° 25.916, sancionada en el año 2004 (B.O. 7/09/04), rige la gestión integral de los residuos domiciliarios. Por su carácter de ley de presupuestos mínimos, también obliga a las Provincias.

^a Por Decreto 1343/2002, el Poder Ejecutivo vetó los artículos 51º al 54º, sobre la responsabilidad penal y el primer párrafo del artículo 60º, que dejaba sin efecto la Ley 24051 de Residuos Peligrosos.

^b Ley 24.051/1992. Residuos Peligrosos.

En el Capítulo I, Artículo 1°, precisa el origen que pueden tener los residuos para ser considerados domiciliarios:

*“Art. 1°- Las disposiciones de la presente ley establecen los presupuestos mínimos de protección ambiental para la gestión integral de los residuos domiciliarios, sean éstos de origen residencial, **urbano**, comercial, asistencial, sanitario, industrial o institucional, con excepción de aquellos que se encuentren regulados por normas específicas.”*

En el Artículo 2° los define:

*“Art. 2° - Denomínese residuo domiciliario a aquellos elementos, objetos o sustancias que como consecuencia de los procesos de consumo y **desarrollo de actividades humanas**, son desechados y/o abandonados.”*

La norma utiliza el término *residuo domiciliario* en consonancia con la amplia gama de residuos integrados en el concepto **residuos sólidos urbanos** (RSU), ya que comprende residuos de origen no sólo residencial, que es lo que *prima facie* se puede interpretar por “domiciliario”, sino también a los provenientes del aseo urbano y los de demás orígenes asimilables a aquellos [28].

A partir de lo expresado en los artículos que anteceden, la gestión de los residuos sólidos urbanos es alcanzada por la ley. Asimismo, los residuos de construcción y demolición, originados en el ámbito urbano, entre los que se cuentan los desechos de hormigón que han sido objeto de la investigación, quedan implícitamente comprendidos. Como se indicaba en la sección 2.2.3, al margen del borrador del decreto reglamentario de la ley 25.612, no existe una normativa nacional o ley de presupuestos mínimos que aborde el tratamiento de estos últimos de modo específico. Conforme a ello, y sustentados en sus propias legislaciones provinciales, así lo han entendido muchos municipios al haber dictado ordenanzas que los incluyen dentro de la gestión de residuos sólidos urbanos, dándoles por lo tanto el carácter de domiciliarios o *asimilables* a estos, llamando de este último modo a los que pueden ser gestionados en forma conjunta [28].

El Artículo 3°, inciso f), define los conceptos de “tratamiento”, “acondicionamiento” y “valorización” dentro de la gestión integral:

*“f) **Tratamiento**: comprende el conjunto de operaciones tendientes al acondicionamiento y valorización de los residuos.*

*Se entiende por **acondicionamiento** a las operaciones realizadas a fin de adecuar los residuos para su valorización o disposición final.*

*Se entiende por **valorización** a todo procedimiento que permita el aprovechamiento de los recursos contenidos en los residuos, mediante el reciclaje en sus formas física, química, mecánica o biológica, y la reutilización.”*

Para ello se deberá practicar la *recolección diferenciada*, discriminando por tipo de residuo en función de su tratamiento y valorización posterior.

La ley establece sus objetivos en el Artículo 4°. Los incisos a), b) y d) promueven tanto la valorización como la búsqueda de minimización de los residuos, a partir de su manejo adecuado y racional, cristalizado en una gestión integral protectora del ambiente y la calidad de vida:

“Art. 4 - Son objetivos de la presente ley:

a) Lograr un adecuado y racional manejo de los residuos domiciliarios mediante su gestión integral, a fin de proteger el ambiente y la calidad de vida de la población;

- b) Promover la valorización de los residuos domiciliarios, a través de la implementación de métodos y procesos adecuados;
(...)
- d) Lograr la minimización de los residuos con destino a disposición final.”

2.2.5. Conclusiones

Del análisis de la legislación nacional se observa que en Argentina aún no existe normativa específica vigente que legisle de manera concreta sobre la clasificación, gestión y vertido de los RCD.

La Ley 25.612, cuestionada y tildada de defectuosa por peritos, refiere sólo a los residuos originados en procesos industriales o actividades de servicio complementarias, como los que pueden tener lugar en el rubro de la construcción, pero incurre en la obscuridad, no subsanada, de presuponerlos *prima facie* peligrosos, con las consecuencias legales que pueden derivar de ello.

La Ley 25.916 implícitamente incluye a los residuos de construcción y demolición dentro de los residuos sólidos urbanos, al quedar comprendidos dentro de los desechos que son consecuencia del desarrollo de actividades humanas dentro de las urbes. Así también surgiría del texto denominado “Marco Legal de los Residuos Sólidos Urbanos en Argentina”, extractado de la Estrategia Nacional para la Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos (ENGIRSU) de la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación [28].

Sin embargo, es de destacar que los RCD pueden ser generados tanto en órbitas urbanas o fuera de estas jurisdicciones, como consecuencia de procesos que pueden, o no, tener un origen de actividad industrial o complementaria a ésta, por lo que la legislación nacional contiene vacíos y sombras que provocan dudas acerca de cómo gestionarlos íntegramente, desde su origen hasta su tratamiento o disposición final. Urge, por lo tanto, legislar claramente al respecto.

2.3. Legislación provincial

2.3.1. Ley 11.717- Ley General del Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable [29]

La Ley Provincial N° 11.717 General del Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable fue sancionada por el Poder Legislativo provincial el 18/11/1999. En lo que guarda relación con la valorización de residuos a partir de un desarrollo sustentable, se destacan los siguientes incisos del Artículo 2°:

“Art.2°- La preservación, conservación, mejoramiento y recuperación del medio ambiente comprende, en carácter no taxativo:”

“b) La **utilización racional** del suelo, subsuelo, agua, atmósfera, fauna, paisaje, gea, fuentes energéticas y demás **recursos naturales**, en función del **desarrollo sustentable**.”

“d) La preservación del patrimonio cultural y el **fomento y desarrollo de procesos culturales**, enmarcados en el **desarrollo sustentable**.”

“g) La sustentabilidad ecológica, económica y social del desarrollo humano.”

“h) La formulación de **políticas para el desarrollo sustentable**, y de leyes y reglamentaciones específicas acordes a la realidad provincial y regional.”

“j) Los **incentivos para el desarrollo de las investigaciones científicas y tecnológicas orientadas al uso racional de los recursos naturales** y a la protección ambiental.”

“k) La **educación ambiental** en todos los niveles de enseñanza y capacitación comunitaria.”

“l) La orientación, fomento y desarrollo de iniciativas públicas y privadas que estimulen la **participación ciudadana en las cuestiones ambientales.**”

“m) La coordinación de las obras, proyectos y acciones, en cuanto tengan vinculación con el ambiente, considerado integralmente.”

“n) La **promoción** de modalidades de **consumo y de producción sustentable.**”

Como se observa, esta ley que es anterior a la Ley Nacional 25.675 de presupuestos mínimos y no se contrapone a ella, vuelve a destacar la importancia del desarrollo humano sustentable basado en políticas concretas que incluyan la educación, el fomento de la producción y consumo sustentables, así como el incentivo a investigaciones científicas y tecnológicas orientadas al uso racional de los recursos naturales, como los llevados a cabo en UTN F.R.Rafaela.

2.3.2. Resolución 128/2004 [30]

La Resolución N° 128/2004 de la Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Provincia de Santa Fe, define el marco legal, formula precisiones y alcances, estableciendo “Normas Técnicas” sobre el tratamiento y disposición final de los RSU. En sus “considerandos” menciona sustentarse en la Ley Nacional N° 25.916 de presupuestos mínimos de protección ambiental para la gestión integral de residuos domiciliarios, en tanto que en el Artículo 2°, inciso c), destaca el recupero de materiales en la gestión de tales residuos:

“Los residuos sólidos urbanos deberán ser sometidos a alguno de los siguientes métodos de tratamiento y/o disposición final:”

*“c) **Recuperación de materiales:** mediante selección manual o mecánica, con disposición final en relleno sanitario de los materiales no recuperados”.*

El Artículo 23° precisa qué se entiende por valorización y las distintas clases de residuos comprendidos en los RSU.:

*“**Valorización:** Se entiende por valorización a todo procedimiento que permita el aprovechamiento de los recursos contenidos en los residuos.*

***Residuos sólidos urbanos:** comprenden los residuos sólidos domiciliarios, **residuos sólidos inertes** o **áridos** y residuos asimilables a urbanos:*

Residuos sólidos domiciliarios: entiéndese por tales a los materiales sólidos o semisólidos que comprenden los desechos de la actividad familiar, como resultado de la preparación de alimentos, desgaste de útiles, muebles, indumentaria, etc., los generados por locales comerciales tales como materiales provenientes de embalajes, envases (cartones, metales, maderas, vidrios, sogas, plásticos, entre otros) y los desperdicios de establecimientos expendedores de alimentos, los provenientes del servicio de barrido y limpieza de calles, mantenimiento de espacios verdes y jardines.

***Residuos sólidos inertes o áridos:** entiéndase por tales a los residuos que no experimentan transformaciones químicas, físicas o biológicas significativas. No afectan negativamente a otros materiales con los que entren en contacto.*

Residuos asimilables a urbanos: Entiéndase por tales a los residuos que habiéndoseles realizado los test de validación se constata que carecen de las características de peligrosidad, inflamabilidad, corrosividad, reactividad, toxicidad, patogenicidad, lixiabilidad, teratogenicidad, mutagenicidad, carcinogenicidad y radioactividad.”

Surge de lo anterior que las fracciones de hormigón utilizadas en las investigaciones realizadas en al UTN F.R.Rafaela, quedan incluidas en lo que la Resolución llama “residuos

sólidos inertes o áridos". La reutilización de este material en nuevos hormigones es plenamente consonante con el precitado Artículo 2° de la normativa, el cual propone la recuperación de materiales como una de las alternativas de tratamiento de los RSU.

2.3.3. Ley N° 13.055. Residuos Sólidos Urbanos. Basura Cero [31]

La Ley N° 13.055/2009 ratifica y reproduce las normas de diseño y prescripciones complementarias de los rellenos sanitarios consignados en la Resolución 128/2004, además de establecer definiciones, especificar quién será la Autoridad de Aplicación y marcar claramente un Programa de Reducción de la Producción de RSU, sustentándose en el concepto de "basura cero" como principio fundamental para la gestión de estos en su territorio.

En el Capítulo I, Definiciones, Metas y Objetivos, prescribe:

*"Art.2º.- Se establece como "Basura Cero", el principio de reducción progresiva de la disposición final de los residuos sólidos urbanos, con plazos y metas concretas, por medio de la adopción de un conjunto de medidas orientadas a la **reducción en la generación de residuos**, la separación selectiva, la recuperación y el reciclado."*

Dentro del programa de reducción progresiva de la disposición de residuos en rellenos sanitarios, se establece en el Artículo 3° que *"la prohibición de la disposición final en relleno sanitario de materiales tanto reciclables como aprovechables debe cumplirse para el año 2030"*.

La ley explicita sus objetivos generales y particulares en el Artículo 7°, observándose claramente en todos sus incisos la importancia del aprovechamiento de los residuos, del consumo responsable y del llevar a cabo acciones de concientización para con los habitantes en procura del cumplimiento de tales objetivos:

"Art.7º - Son objetivos generales de la presente ley:

*a) dar prioridad a las actuaciones tendientes a **prevenir y reducir la cantidad de residuos generados** y su peligrosidad.*

b) disminuir los riesgos para la salud pública y el ambiente mediante la utilización de metodologías y tecnologías de tratamiento y disposición final de los residuos sólidos urbanos.

c) incluir en el proceso a los recuperadores urbanos, favoreciendo la seguridad y eficacia de las actividades de gestión de los residuos.

d) asegurar la información a los ciudadanos sobre la acción pública en materia de gestión de los residuos, promoviendo su participación en el desarrollo de las acciones previstas.

Son objetivos específicos de la presente ley:

*a) promover la **reducción del volumen y la cantidad total de residuos sólidos urbanos** que se producen.*

*b) promover una **toma de conciencia por parte de la población**, respecto de los problemas ambientales y de higiene urbana que los residuos sólidos generan, y sus posibles soluciones, como así también el desarrollo de programas de **educación ambiental** formal, no formal e informal.*

*c) promover el **aprovechamiento de los residuos sólidos urbanos**.*

*d) disminuir los efectos negativos que los residuos sólidos urbanos puedan producir al ambiente, mediante la **incorporación de nuevos procesos y tecnologías limpias**.*

- e) *promover la articulación con emprendimientos similares en ejecución o a ejecutarse en otras jurisdicciones.*
- f) **promover la participación** de micro emprendedores en forma individual o asociada, cooperativas y empresas pequeñas y medianas y organizaciones no gubernamentales en los distintos aspectos de la gestión de los residuos sólidos urbanos.
- g) **proteger y racionalizar el uso de los recursos naturales** a largo y mediano plazo.
- h) *incentivar e intervenir para propender a la **modificación de las actividades productivas y de consumo** que generen residuos difíciles o costosos de tratar, reciclar y reutilizar.*
- i) *fomentar el consumo responsable, concientizando a los usuarios sobre aquellos objetos o productos que, estando en el mercado, sus materiales constructivos, envoltorios o presentaciones, generen residuos voluminosos, costosos y difíciles de disponer.*
- j) **promover a la industria y al mercado de insumos o productos obtenidos del reciclado.**
- k) **fomentar el uso de objetos o productos en cuya fabricación se utilice material reciclado** o que permita la reutilización o reciclado posterior.
- l) *promover la participación de cooperativas y organizaciones no gubernamentales en la recolección y reciclado de los residuos, siempre y cuando esto no entre en competencia con el trabajo de los recuperadores urbanos.*
- m) *implementar gradualmente un sistema mediante el cual los productores de elementos de difícil o imposible reciclaje se harán cargo del reciclaje o la disposición final de los mismos.”*

El Artículo 11° les asigna a la autoridad de aplicación la responsabilidad en la elaboración de un programa de educación y concientización:

*“Art. 11°- La autoridad de aplicación, elaborará un **programa especial de educación y concientización de la población** que promoverá:*

- a) *la **reducción de la generación de basura** y la **utilización de productos** más duraderos o **reutilizables**.*
- b) *la **separación en origen**, **reutilización** y el **reciclaje de productos susceptibles de serlo**.”*

La ley transfiere a las Municipalidades y Comunas de la Provincia la responsabilidad de llevar a cabo sus prescripciones dentro de sus respectivas jurisdicciones, implementando las medidas necesarias para su cumplimiento:

*“Art. 14° - Las Municipalidades y Comunas son responsables de la **gestión integral de los RSU**, producidos en su jurisdicción, debiendo establecer normas complementarias necesarias para el cumplimiento efectivo de la presente ley, estableciendo sistemas de gestión de residuos adaptados a las características y particularidades de su jurisdicción, minimizando los posibles impactos sobre el ambiente y la calidad de vida de la población.”*

Es obvio que los dictados tan trascendentales que surgen de la ley, para poder concretarse en sus objetivos y tiempos establecidos no podrán realizarse si las acciones no se sujetan a un programa de reducción de la producción de RSU. El Capítulo V trata sobre ello. En lo atinente a la valorización de residuos, se destaca del mismo el inciso f) del artículo 19°:

“Art. 19° - La autoridad de aplicación conformará un Programa que promoverá y asistirá técnicamente la adopción de estrategias y técnicas de producción y distribución orientadas a:”

*“f) **incorporar materiales reciclados** en los procesos de producción.”*

Asimismo, al referirse al aprovechamiento de residuos, el Artículo 32° promueve en el inciso c) la *“recuperación, mediante la reobtención, en su forma original, de materiales incluidos en los residuos para volverlos a utilizar”*, lo cual sintoniza con uno de los métodos de reciclado de hormigón a partir del lavado del sobrante de mixers en estado fresco, mencionado en la sección 1.4.

2.4. Legislación municipal

Ante la ambigüedad e incertidumbre que deja la ley en relación a los RCD, al no hacerse mención expresa de ellos, algunos municipios han tomado partida en el tema incorporándolos dentro de los RSU. Tal es el caso de la Municipalidad de Rosario la cual, en la Ordenanza 7600, artículo 1°, define los RSUDyC (Residuos Sólidos Urbanos Domiciliarios y Compatibles) [32]:

*“Se denominan Residuos Sólidos Urbanos Domiciliarios y Compatibles (RSUDyC) a los fines de la presente ordenanza a aquellos elementos, objetos o sustancias que, como subproducto de los **procesos** de consumo domiciliario y **del desarrollo de las actividades humanas**, son desechados, con un **contenido líquido insuficiente como para fluir libremente** y cuyo destino natural debería ser su adecuada disposición final, salvo que pudiera ser utilizado como insumo para otro proceso.”*

En el mismo artículo esta Ordenanza incorpora dentro de estos últimos a los *“restos de construcción, en volumen mayor a $\frac{1}{4} m^3$ ”*, llamándolos *residuos inertes*. Asimismo, dentro de las definiciones de RSU incluye al de *residuos voluminosos*, nombre con que designa a *“aquellos que por su tamaño y peso no podrán ser retirados con el resto de los residuos por el servicio de recolección convencional y requerirán la **utilización de camiones y equipos especiales**”*, dentro de lo cual también quedan comprendidos los originados en la actividad constructiva urbana.

En el caso de la ciudad de Rafaela, donde se ha centrado esta investigación, se tiene que, en la estructura actual de gestión municipal, es la Secretaría de Servicios y Espacios Públicos y Medio Ambiente la dependencia encargada de llevar adelante las acciones, dispuestas tanto por las normativas provinciales destacadas en la sección anterior como por las propias Ordenanzas sobre la materia dictadas por el Municipio

Mediante Ordenanza 3.618 del 27/11/03, al referir a la Ley Provincial 11.717/99 de Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable, deja claramente establecido en sus “considerandos” que *“no corresponde (a la Municipalidad) mantener normas de rango inferior que se superpongan”*. Asimismo, al destacar que *“en la práctica la función del Municipio es velar por el cumplimiento de la legislación Provincial, promoviendo la intervención de dicho ente en los casos que se detecten incumplimientos a la Ley Provincial”* manifiesta expresamente su adhesión a la misma. El Artículo 3° de la Ordenanza es elocuente al expresar:

“Art. 3° - El Municipio llevará adelante acciones tendientes a promover e impulsar iniciativas públicas y privadas que estimulen la participación ciudadana en las cuestiones relacionadas al medio ambiente y la promoción de modalidades de consumo y producción ambientalmente sostenibles.”

Surge del mismo el claro e inevitable apoyo que debe prestar el Municipio a las iniciativas privadas de participación en *“cuestiones relacionadas al medio ambiente y la promoción de modalidades de (...) producción ambientalmente sostenibles”*, como las que se ponen en conocimiento por medio de este trabajo.

Capítulo 3

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Introducción

El tipo y cantidad de residuos de construcción y demolición generados dependen de las características constructivas y del nivel económico del país [33]. Asimismo, el problema que provoca su acumulación afecta tanto a grandes como a pequeñas ciudades.

En la ciudad de Rafaela, el crecimiento de la generación de RCD medido a partir de su ingreso al relleno sanitario, ha pasado de 0,40 kg/habitante-día en el año 2005, a 1,49 kg/habitante-día en el año 2007, lo que llevó a representar el 49% del total de

RSU. Ello ha sido el reflejo de la reactivación operada en la actividad de la construcción que se ha dado en toda la Argentina en los últimos años. Aproximadamente un 84% de tales residuos de la construcción corresponde a escombros. El resto a tierra (10%), metales ferrosos, no ferrosos, y plásticos [10,11] (Figura 3).

Dentro del volumen de RCD, como se señalaba en la sección 1.2., los escombros de hormigón ocupan el espacio más significativo por el tamaño de las roturas y la gran cantidad de espacios vacíos desperdiciados en razón de ello (Figura 4). El vertido de este tipo de inertes en los RS, de manera controlada, facilita el desplazamiento de la topadora en su tarea de distribuir y compactar los residuos. También se lo suele utilizar para estabilizar los caminos para la circulación vehicular dentro del predio. Un exceso o descontrol en dicho vertido conduce a lo que, a entender de algunos observadores e investigadores, debe ser considerado un despropósito, al emplearse una cava o recinto de vuelco, de alto costo constructivo, para materiales no biodegradables. Tal parece haber sido el caso que se planteó y preocupó en su momento a las autoridades municipales de la ciudad, motivando las investigaciones llevadas a cabo en los Laboratorios de la UTN F.R.Rafaela, cuyos resultados, que se transcriben en este trabajo, dieron lugar a diferentes presentaciones en Congresos y Encuentros científicos, así como a publicaciones varias y un Proyecto Final de grado en Ingeniería Civil [34-37].

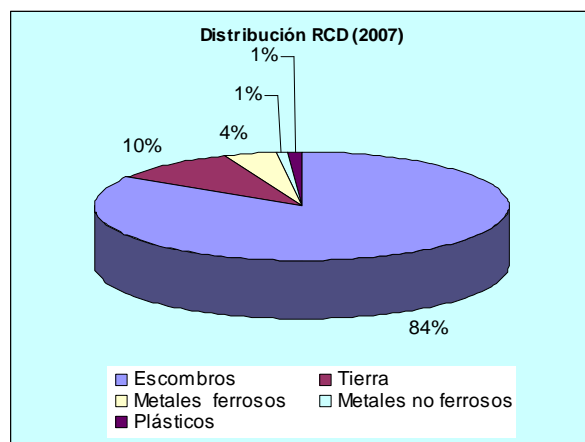


Figura 3. Distribución de los RCD en Rafaela.

El estudio, por consiguiente, atiende las necesidades planteadas en la ciudad de Rafaela, Provincia de Santa Fe. Como ya se citara en la sección 1.6, el mismo ha tenido por objeto la

valorización de residuos de hormigón a partir de su aprovechamiento como material inerte (granza) en nuevos hormigones, de uso tanto estructural como no estructural.



Figura 4. Desechos de hormigón en el Relleno Sanitario de Rafaela

3.2. Metodología

Ante la inexistencia de normas municipales que ordenen la demolición selectiva en obras, estableciendo responsables en la separación inicial de los RCD y en la cuantificación de sus volúmenes, se tiene como consecuencia que los escombros de hormigón tampoco cuentan con una separación adecuada, acorde a sus usos y calidades de origen. Lo habitual es depositarlos entremezclados entre sí y con otros contaminantes (maderas, hierro, papeles, tierra, etc.). Frente a esta circunstancia, y con el fin de no ceñirse a un hormigón de uso determinado y calidad especificada, para llevar a cabo el estudio se recogieron escombros de diversa procedencia, sin seleccionar su origen, identificándose partes de pavimentos rígidos, roturas de rampas de accesos vehiculares y probetas ya ensayadas en laboratorio.

El hormigón recogido se fraccionó con una trituradora a mandíbulas equipada con un motor diesel de 9 HP, con capacidad de producción de 4 m³/hora (Figura 5). De dicho proceso se obtuvieron tres tamaños de agregados, designados en función de sus T.M. (tamaños máximos) AR 37,5, AR 25,4 y AR 9,5^c. Esta última fracción se descartó para su empleo en hormigón estructural debido al elevado porcentaje de mortero adherido. Normalmente se recomienda no utilizar la fracción menor a 4,75 mm, en razón de su significativo contenido de mortero que incide negativamente en algunas propiedades del hormigón, tales como la resistencia, el módulo de elasticidad, problemas asociados a la durabilidad, etc. [13,38-40].



Figura 5. Equipo utilizado para la obtención de granza de hormigón.

^c AR: Agregado Reciclado. El número a la derecha indica el tamaño máximo en mm, definido como el correspondiente al tamiz por el que pasa no menos del 95% de la muestra en estudio.

La contribución volumétrica de los tamaños obtenidos se indica en la Tabla 1. En la Figura 6 se muestra una típica rotura del hormigón recuperado para reciclar, y en las Figuras 7 a 9 se ilustra sobre las fracciones obtenidas por trituración.

Tabla 1. Agregados reciclados

Designación	Vol (m3)	Vol (%)
AR 37,5	1,13	31,22
AR 25,4	1,57	43,37
AR 9,5	0,92	25,41
Totales	3,62	100,00



Figura 6. Rotura de hormigón de demolición



Figura 7. Agregado reciclado AR 37,5



Figura 8. Agregado reciclado AR 25



Figura 9. Agregado reciclado AR 9,5 (Uso no estructural)

El residuo recuperado, luego de triturado, fue sometido en Laboratorio a ensayos de caracterización física y química. Tras ello, se elaboraron hormigones conteniendo porcentajes crecientes de agregado reciclado, además de un hormigón patrón de

comparación. Las probetas extraídas fueron sometidas a ensayos físicos y observaciones a diferentes edades.

Es de práctica recomendada por autores que han trabajado en la materia, no emplear en **hormigones estructurales** la fracción más fina resultante de la trituración, tanto por contener un elevado porcentaje de mortero como por su grado de contaminación [12]. Puesto que el volumen que habitualmente se obtiene de esta fracción por trituración suele ser considerable (en este caso el 25% del total), en buena medida debido a que el mortero componente del hormigón recuperado, por lo general, es la parte más débil y disgregable del mismo, se tuvo como premisa de trabajo darle uso en **hormigones no estructurales** para contrapisos.

En el análisis económico practicado, a escala de los volúmenes empleados para los ensayos de laboratorio, el costo de producción del m³ granza de hormigón, incluyendo fletes, ha sido del 33% del costo de igual volumen de piedra partida granítica puesta en obra (a valores del año 2008).

3.2.1. Materiales: caracterización y análisis

Como agregados naturales se emplearon arena sílicea mediana del río Paraná y dos tamaños de piedra partida de origen granítico, provenientes de Córdoba. En la Tabla 2 se resumen las características más salientes de éstos junto a la de los agregados reciclados, extractadas de Tonda et al. [35,36]. En estos últimos, dada su mayor porosidad en relación a la piedra natural, se halló la evolución de la absorción en el tiempo, factor que ha sido de utilidad para regular la trabajabilidad en la elaboración de los pastones de ensayo.

Particularmente, el control de absorción a los 10 minutos parece ser un buen criterio para la selección o descarte del árido reciclado, si los valores están en el orden del 5,3%, conforme lo sugiere Sánchez de Juan [12].

Tabla 2. Caracterización física de agregados naturales y reciclados

Designación	T.M. (mm)	M.F.	Dens.rel. (s.s.s.)	Absorción		
				5 minutos	10 minutos	24 hs.
Arena	--	2,54	2,49	--	--	0,18%
AN 37,5	37,5	7,64	2,67	--	--	0,71%
AN 25	25,4	6,64	2,56	--	--	0,73%
AR 37,5	37,5	7,73	2,52	3,11%	3,66%	4,43%
AR 25	25,4	6,55	2,47	3,56%	4,37%	5,19%
AR 9,5	9,5	3,9	--	--	--	8,46%

Observaciones:

AN: Agregado natural (piedra partida granítica)

AR: Agregado reciclado

El cemento portland empleado fue CPN 40, utilizándose agua de red, la cual cumple con los requisitos normados para su uso en hormigones. No fueron empleados aditivos de ninguna índole.

Asimismo, en el Laboratorio de Química se practicaron determinaciones sobre el hormigón triturado. Se comprobó la presencia de cloruros y sulfato siendo el valor hallado de ambos menor que el límite prescrito en Norma IRAM 1531:1994 [41] y Reglamento CIRSOC 201-2005 [2]. El mortero adherido a los fragmentos se cuantificó a partir de la inmersión de muestras en ácido clorhídrico concentrado (Tabla 3). Si bien sus valores son aproximados,

brindan información sobre la magnitud de su presencia en cada tipo de fracción granulométrica.

Para la confección del **hormigón no estructural**, se emplearon granza y polvo de ladrillos comunes disponibles en plaza, los cuales no fueron caracterizados por la variedad que suelen presentar en cuanto a la presencia de impurezas (tierra, papeles, plásticos, etc.), aún cuando fuesen producidos y suministrados por el mismo proveedor.

Tabla 3. Mortero adherido en el agregado reciclado

Designación	Mortero adherido (%)
AR 37,5	17,34
AR 25,4	41,83
AR 9,5	65,72

Tanto los agregados naturales como los reciclados utilizados fueron sometidos al ensayo de desgaste “Los Angeles” [42], registrándose para la piedra partida una abrasión del 16.90% y, para el árido reciclado, del 41,94%. El valor hallado para el reciclado se enmarca dentro del rango mencionado por otros investigadores [12,38]. Ambos tipos de agregados se encuentran debajo del límite del 50%, máximo prescrito en el Reglamento CIRSOC 201:2005, en vías de aprobación, el cual establece no superar el 30% de estar sometidos a una acción abrasiva severa (transporte vehicular intenso, rodamientos del material a granel, etc.). La Instrucción española EHE 2007 [43] establece el 40% como límite máximo para su uso en hormigones estructurales.

3.2.2. Desarrollo experimental

3.2.2.1. Hormigón estructural

Se elaboraron tres hormigones con agregados reciclados (HR 25, HR 50, HR 75), a partir del hormigón de referencia (HR 0) confeccionado con áridos naturales^d. Este último se diseñó bajo las siguientes premisas:

- Resistencia característica: 25 MPa
- Desvío estándar esperado: 4 MPa
- Contenido de cemento: 350 Kg/m³
- Relación agua/cemento (r.a.c.): 0,50
- Asentamiento (cono de Abrams): dentro del entorno de consistencia media (5 a 10 cm), propio de los hormigones plásticos.

Se decidió emplear la vía de mezclado en seco de los componentes, con posterior incorporación del agua de amasado, en lugar de la presaturación de los agregados con 24 hs de antelación, técnica ésta utilizada por otros investigadores.

El criterio de operación seguido fue: a) mantener fijo el contenido de cemento, conservando la r.a.c.; b) procurar obtener asentamientos dentro del rango plástico, sin empleo de aditivos, lo cual se alcanzó mediante combinaciones adecuadas de los dos tipos de agregados gruesos naturales con los dos tamaños mayores de los reciclados, y con el control del tiempo de reposo de los pastones dentro de la homigonera.

En la Tabla 4 se indica la composición en peso seco de los hormigones que se elaboraron. La mejor aproximación a la curva de Füller, en procura de una adecuada trabajabilidad,

^d HR: Hormigón Reciclado. El número a la derecha indica la participación porcentual (en peso) del agregado reciclado sobre el total del agregado grueso componente del hormigón.

condujo a descartar el empleo de AN 37,5 en los hormigones HR50 y HR75. En dicha tabla se vuelcan los módulos de finura obtenidos para la mezcla de agregados.

Por cada hormigón se confeccionaron 15 probetas cilíndricas (15 x 30 cm) en tres pastones de igual composición, de 5 probetas cada uno, a fin de medir el desvío producto de la elaboración separada. En grupos de 3 probetas, se las ensayaron a compresión simple, por tipo de hormigón y a las edades de 7, 28 y 60 días. También se ensayaron a tracción por compresión diametral 3 probetas, por tipo de hormigón, a los 28 días. Las restantes fueron ensayadas para determinar el módulo de elasticidad y el coeficiente de Poisson. Asimismo, se moldearon 4 probetas prismáticas (7 x 7 x 20 cm), una por cada tipo de hormigón, para su corte y observación mediante lupa estéreo binocular.

Tabla 4. Composición de los hormigones estructurales

MATERIALES	HORMIGONES			
	HR 0	HR 25	HR 50	HR 75
Agua	175 Litros			
Cemento CPN 40	350 Kg.			
Relacion a/c	0,5			
Arena Silícea	610 Kg	610 Kg	610 Kg	610 Kg
AN 37,5	377 Kg	188 Kg	-----	-----
AN 25	814 Kg	702 Kg	588 Kg	294 Kg
AR 37,5	-----	172 Kg	343 Kg	343 Kg
AR 25	-----	103 Kg	208 Kg	479 Kg
Porcentaje real Arido Reciclado	0%	23,60%	48,37%	73,65%

Observaciones:

HR 0 : Hormigón con agregados naturales (0% árido reciclado)

HR 25 : Hormigón con 25% de agregado reciclado

HR 50 : Hormigón con 50% de agregado reciclado.

HR 75 : Hormigón con 75% de agregado reciclado.

3.2.2.2. Hormigón no estructural

Se elaboraron dos tipos de hormigones para contrapisos, uno de referencia a partir de cal, cemento portland, arena mediana, granza y polvo de cascotes de ladrillos, basados en una dosificación empírica de uso corriente en la práctica constructiva (Tabla 5). En el restante se reemplazaron las partes de arena y polvo de ladrillo por el agregado reciclado más fino (AR 9,5), y los cascotes por AR 37,5 en razón de la similitud de su tamaño (Tabla 6). La única premisa que se tuvo era la de obtener hormigones con asentamientos, medidos en el cono de Abrams, enmarcados dentro del rango de consistencia plástica.

Por cada uno de los hormigones se confeccionaron 6 probetas cilíndricas (15 x 30 cm), obteniéndose el promedio del ensayo de 5 de ellas a 26 días, con la provisión del desvío estándar. A modo de testigo y al solo efecto de medir la tendencia de la resistencia con la edad, la restante probeta de cada tipo de hormigón se ensayó, prematuramente, a los 14 días.

Tabla 5. Hormigón no estructural de cascotes

Material	Partes
Cal	1
Cemento CPN 40	1/4
Arena mediana	3
Polvo de ladrillo	2
Cascote de ladrillo	10

Tabla 6. Hormigón no estructural de agregados reciclados

Material	Partes
Cal	1
Cemento CPN 40	1/4
AR 9,5	5
AR 37,5	10

Capítulo 4

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Agregados gruesos

Como era previsible y coincidiendo con lo hallado en estudios afines [14,39], se ha corroborado que las densidades de los agregados gruesos reciclados son menores a las de los naturales y que disminuyen cuanto más pequeña se hace la fracción. Asimismo, se ha comprobado que la absorción a 24 horas es marcadamente mayor en los reciclados y se incrementa con la disminución del tamaño, debido al mayor volumen de mortero componente de los granos.

El elevado porcentaje encontrado en AR 9,5 ha sido una razón determinante para descartar su empleo en los experimentos sobre hormigones estructurales.

4.2. Hormigones estructurales

En la Figura 10 se grafican los resultados de los ensayos a compresión para los diferentes *hormigones estructurales* y a las distintas edades, en tanto que en la Tabla 7 se indican los desvíos estándar y los asentamientos medios para cada uno de ellos.

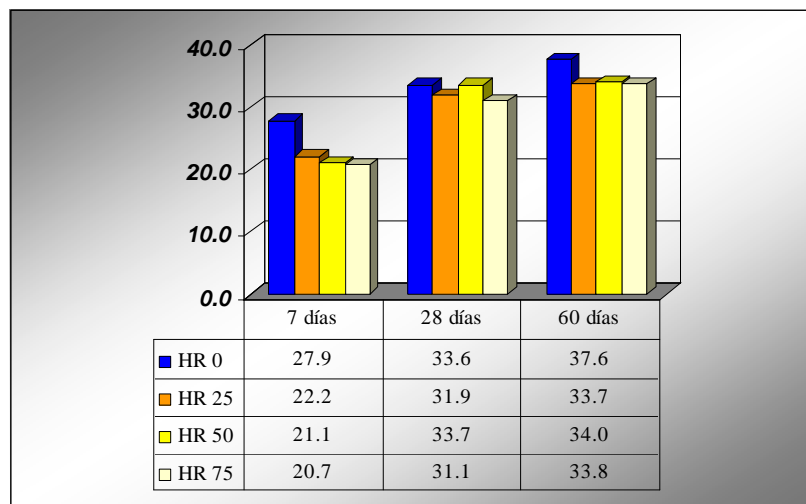


Figura 10. Resistencias a la compresión de los hormigones estructurales (valores en MPa)

Tabla 7. Desvíos estándar (MPa) y asentamientos medios

Designac.	7 días	28 días	60 días	Asentamiento
HR 0	0,93	1,92	2,00	5,0 cm.
HR 25	0,92	1,02	2,45	9,0 cm.
HR 50	2,18	0,58	2,67	8,8 cm.
HR 75	0,85	1,05	2,52	8,8 cm.

En el hormigón HR 25 el asentamiento se incrementó notoriamente respecto del patrón (9 cm contra 5 cm), no obstante continuó dentro del rango plástico pretendido. En los restantes HR 50 y HR 75, los asentamientos se incrementaron aún más, saliendo del rango plástico, probablemente porque los tiempos normados no daban lugar a la saturación de la fracción reciclada. Esta circunstancia llevó a que se ampliara en cinco minutos más el tiempo establecido para reposo (hormigonera detenida), con lo cual se alcanzaron valores dentro de la consistencia pretendida, como se observa en la referida tabla.

Las resistencias tempranas a la compresión de los hormigones estructurales han sido menores en los reciclados que en el hormigón patrón. A los 7 días los primeros alcanzaron valores comprendidos entre el 63 y 69% de sus resistencias a 28 días, en tanto que el de referencia llegó al 83%. A los 28 días las resistencias de los hormigones reciclados no han diferido sustancialmente de la del patrón, estando en el rango del 92 al 100% de la de éste. A los 60 días, aquellos con componentes reciclados alcanzaron valores muy parecidos entre sí, estabilizándose en el 90% del de referencia.

En todos los casos se obtuvieron niveles de resistencia comparables al del hormigón de referencia, coincidiendo con los resultados hallados por otros investigadores en experiencias similares [39,44]. La corrección de las tensiones medias a 28 días de todos los hormigones, respecto del desvío estándar obtenido en laboratorio, condujo a resistencias características que superaron los 25 MPa planteados como premisa de diseño para el hormigón de referencia. Asimismo, el desvío estándar en todos los casos y edades de ensayo no superó los 4 MPa de diseño, lo cual revela un buen control de confección por cuanto dicho valor es el desvío normado para dosificación en peso, propio de plantas proveedoras de hormigón elaborado.

Las tensiones medias de tracción a 28 días, obtenidas para todos los hormigones mediante el ensayo de tracción por compresión diametral, se enmarcaron entre el 9 y el 10 % de las resistencias medias de compresión. Los que contaron con componentes reciclados presentaron un comportamiento similar al del hormigón con agregados naturales (Tabla 8).

Tabla 8. Relación tracción-compresión (MPa) a 28 días

Hormigón	Tracción 28 días	Compresión 28 días	Relación
HR 0	3,09	33,6	9,2%
HR 25	3,05	31,9	9,6%
HR 50	3,08	33,7	9,1%
HR 75	3,05	31,1	9,8%

En la Figura 11 se puede observar la imagen tomada de un corte practicado sobre la probeta de 7 x 7 x 20 (cm) elaborada a partir del hormigón HR 75. Claramente se ve en ella la presencia del agregado reciclado en coloración más tenue. En la Figura 12 se presenta un detalle tomado con lupa de la interfase agregado reciclado-mortero, en el sector indicado en la imagen anterior, pudiéndose apreciar la adherencia entre ellos. Es conocido el hecho de que la mayor absorción y deformabilidad de los agregados reciclados respecto de los naturales, conducen a una mayor adherencia y compatibilidad elástica entre la matriz y las inclusiones, pudiendo modificar el mecanismo de fisuración y rotura [39].

Los módulos de elasticidad y coeficientes de Poisson obtenidos a 28 días se indican en Tablas 9 y 10. Como se aprecia en la primera de ellas, con el incremento de agregados reciclados en la composición del hormigón, desciende el módulo elástico. Ello guarda relación directa con el aumento de la cantidad de mortero adherido. Como contrapartida, el coeficiente de Poisson crece. En ambos casos, el comportamiento coincide con la bibliografía.

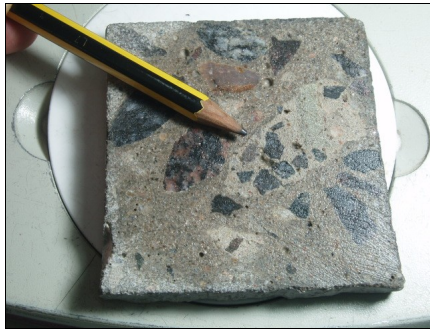


Figura 11. Presencia de AR en HR 75 (zona blanquecina)

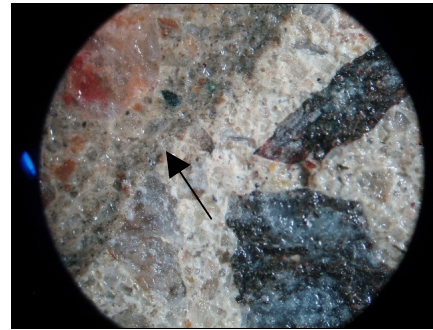


Figura 12. Interfase AR- mortero de foto anterior, ampliada con lupa 20 X.

Tabla 9. Módulos de elasticidad (GPa)

Designación	Gpa	%
HR 0	23,62	100,00
HR 25	22,98	97,29
HR 50	22,46	95,09
HR 75	19,57	82,85

Tabla 10. Coeficientes de Poisson

Designación	Poisson	%
HR 0	0,155	100,00
HR 25	0,182	117,42
HR 50	0,225	145,16
HR 75	0,235	151,61

4.3. Hormigones no estructurales

En la Figura 13 se vuelcan los resultados promedio de los ensayos a compresión simple de los dos *hormigones no estructurales*.

Como se observa, si bien las resistencias a la más temprana de las edades de ensayo han sido iguales (0,64 MPa a los 14 días), tanto para el hormigón confeccionado con cascote y polvo de ladrillos como el elaborado con agregados reciclados, estos valores deben tomarse con recaudo dado el bajo número de especímenes ensayados y como una mera referencia de la tendencia a crecer con la edad, como se puede apreciar en lo registrado en los ensayos a 26 días, en los que las resistencias han crecido en un 84% para el caso del hormigón de cascotes y en un 143 % para el de áridos reciclados. La razón de tal diferencia debe atribuirse a las inclusiones de naturaleza pétreo presentes en este último hormigón, más resistentes que las de barro cocido (ladrillos) cuando están integradas a matrices cementicias que han alcanzado una edad cercana a lo 28 días

En ambos casos, no sólo a los 26 días, sino que también a los 14 días, se alcanzaron valores suficientes para su empleo en contrapisos domiciliarios. No obstante, nada impide mejorar la formulación para otros usos no estructurales diferentes del presentado y alcanzar mayores tensiones de rotura.

El desvío estándar de los especímenes ensayados a 26 días ha sido de 0,34 MPa para el hormigón de cascotes tradicional y de 0,06 MPa para el propuesto en este trabajo.

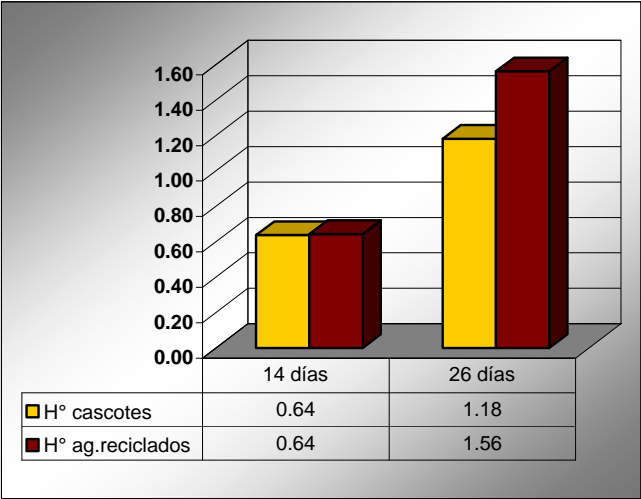


Figura 13. Resistencia a la compresión del hormigón no estructural para contrapisos (valores en MPa)

Capítulo 5

CONCLUSIONES

5.1. Conclusiones

5.1.1. Técnicas

Los valores finales de resistencia obtenidos, tanto para los hormigones convencionales estructurales como no estructurales, satisfacen los requisitos de resistencia para los usos pretendidos. En el primer caso, para su empleo en estructuras resistentes de pequeño a mediano porte. En el segundo, para contrapisos de orden común.

El empleo de ácido clorhídrico concentrado, ha demostrado ser una alternativa sencilla, efectiva y económica para la determinación aproximada del porcentaje de mortero adherido a los agregados reciclados de origen granítico.

La determinación de la absorción temprana (5 y 10 minutos) en los áridos reciclados, aporta información importante para regular la consistencia de los hormigones, de recurrirse a la técnica de premezclado en seco de los componentes.

En este trabajo no se han contemplado aspectos vinculados a la durabilidad, por lo que al decidir el empleo de este tipo de hormigones en estructuras, se recomienda profundizar los estudios con ensayos y análisis complementarios que contemplen el aspecto de la durabilidad (permeabilidad al ión cloruro, penetración del agua a presión, absorción del hormigón endurecido, etc.). Debe tenerse presente que la mayor porosidad de los agregados reciclados favorece los mecanismos de transporte de agentes que la afectan.

5.1.2. En relación a los objetivos

Los estudios realizados ratifican experiencias similares de otros investigadores, comprobándose que es posible aprovechar para uso estructural (edificios, pavimentos, etc.) los hormigones recuperados de demoliciones o descartes. Asimismo, aquellas fracciones que no son aprovechables para uso en hormigón estructural, se ha demostrado que son útiles para hormigones no estructurales, tales como pavimentos de bajo tránsito y carga, o contrapisos, evidenciando una mejor prestación resistente que los materiales de uso convencional para este fin^e.

La demolición selectiva resulta más cara y de mayor duración que la demolición clásica. Sin embargo, tanto el costo como el tiempo pueden reducirse significativamente si se desarrollan sistemas de planificación y técnicas apropiadas. Es necesario legislar sobre la materia, estableciendo responsabilidades en las demoliciones.

Los resultados obtenidos ponen de manifiesto las ventajas medioambientales y socio-económicas que derivan del empleo de residuos de esta especie. Asimismo, instalan en la sociedad local las posibilidades de reutilización de un residuo noble cuyo destino actual es el del Relleno Sanitario o cavas de la ciudad de Rafaela.

5.2. Contribución al conocimiento científico-tecnológico y transferencia al medio

La transmisión de la experiencia recogida de las investigaciones realizadas:

^e Nuevas investigaciones iniciadas en 2010 en el Laboratorio de Ingeniería Civil de la UTN FRRa, han demostrado que las fracciones desechadas para su uso hormigón convencional estructural (AR 9,5) son útiles para la elaboración hormigones no convencionales autocompactantes, de aplicación estructural.

- Promoverá la industrialización del proceso a partir de sus resultados positivos, permitiendo la realización previa de los estudios pertinentes, a nivel local, acerca de la rentabilidad económica del mismo. Es sabido que el conocimiento instalado en los centros de ciencia, frente a un tema que provoca o despierta interés, puede dirigirse de inmediato al logro de avances tecnológicos que conviertan un proceso no rentable a rentable, incluso en cortos plazos.
- Contribuirá a preservar un recurso natural no renovable (piedras de canteras).
- Permitirá la modelación numérica de los hormigones reciclados, a partir de la obtención de parámetros físico-mecánicos de los ensayos.

Asimismo, el empleo de agregados reciclados de hormigón:

- Configura un impacto medioambiental positivo, al evitar la disposición final de las fracciones provenientes de demoliciones o descartes de *mixers* en Rellenos Sanitarios y vertederos no controlados.
- Provee un ahorro energético significativo al evitar la explotación en canteras y transportes a largas distancias.

5.3. Futuras líneas de investigación

Las investigaciones desarrolladas permitirán avanzar en futuras líneas de trabajo o continuar con algunas ya iniciadas. Entre ellas:

- Desarrollo de hormigones autocompactantes (H.A.C.) con agregados reciclados para la industria local de prefabricados.
- Modelación numérica.
- Uso de agregados reciclados de hormigones para la elaboración de hormigones con incorporación de residuos de metales pesados en procesos S/E (Solidificación/Estabilización).

REFERENCIAS

- [1] Norma IRAM 1601:1986. Agua para morteros y hormigón de cemento portland.
- [2] Reglamento CIRSOC 201-2005. "Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón". Ediciones INTI-CIRSOC. (En trámite de aprobación).
- [3] Begliardo, Hugo. "Cementos: tipos, categorías y designación", Universidad Tecnológica Nacional F.R.Rafaela, Departamento Ing.Civil, Laboratorio. Serie Notas Técnicas NT-001, 2005. Disponible en www.frra.utn.edu.ar.
- [4] Begliardo, Hugo. "Cemento con adiciones: características distintivas", Universidad Tecnológica Nacional F.R.Rafaela, Departamento Ing.Civil, Laboratorio. Serie Notas Técnicas NT-002, 2005. Disponible en www.frra.utn.edu.ar.
- [5] Norma IRAM 50000:2000. Cemento. Cemento para uso general. Composición.
- [6] Norma IRAM 50001:2000. Cemento. Cemento con propiedades especiales.
- [7] Reglamento CIRSOC 201-1984. "Proyecto, Cálculo y Ejecución de Estructuras de Hormigón Armado y Pretensado". Edición Julio 1982, Actualización 1984 (con vigencia legal). Ediciones CIRSOC.
- [8] Paravano, Hernán. "Propuesta de una planta de reciclado de RCD's para la Ciudad de Rafaela". U.T.N. F.R.Rafaela. Trabajo Final para optar al grado de Ingeniero Civil (a defender en diciembre 2010). Boidi Marco (Director), Begliardo Hugo (Co-director).
- [9] Panigatti, M.C., Begliardo H., Boglione, R., Griffa, C., Casenave, S. "Relevamiento de generadores de residuos en la zona de influencia de la ciudad de Rafaela". 3er. Encuentro PROCQMA. Carlos Paz , Córdoba, 2005.
- [10] Panigatti, M.C., Begliardo, H., Griffa, C., et al. "Relevamiento de Residuos de Construcción y Demolición en la Ciudad de Rafaela y Departamento Castellanos-Santa Fe", 4° Encuentro PROCQMA, San Rafael, Mendoza, 2006.
- [11] Begliardo, H., Sanchez, M., Casenave, S., et al., "Trayectoria Origen-Destino de los RCD en la ciudad de Rafaela", U.T.N. F.R.Rafaela, 6° Encuentro PROCQMA, San Nicolás, Buenos Aires, 2008.
- [12] Sánchez de Juan, M. "Estudios sobre la utilización de árido reciclado para la fabricación de hormigón estructural", Tesis doctoral, E.T.S.I.C.C.y P., Univ.Politécnica de Madrid, 2004.
- [13] Pietro García, F., Alonso Lavernia, J., "Reciclaje de escombros de la construcción: una alternativa ecológica para México", AIDIS Argentina, Rev. Ingeniería Sanitaria y Ambiental N°93, pp. 94-101, 2005.
- [14] Zega C., Falcone D, Di Mario A, "Elaboración de hormigones reciclados empleando restos de "hormigones de corte"". III Congreso Internacional y 17ª. Jornadas de la A.A.T.H., Cordoba, 2008
- [15] Zega C., Falcone D, Di Mario A, "Hormigones elaborados con reciclado de sobrantes de hormigones de mixers". Revista Hormigonar, AAHE N° 13, 2007 pp 12-18.
- [16] Fornasier G., Fava C., "Hormigon Autocompactante". Disponible en www.lomanegra.com.ar .
- [17] Fornaiser G., Fava C., Zitter L., "Desarrollo y caracterización de hormigones autocompactantes". Disponible en www.lomanegra.com.ar.
- [18] Okamura H., Ouchi M., "Self-Compacting Concrete", Journal of Advanced Concrete Technology Vol. 1, No 1,5-15, April 2003
- [19] Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología de la Nación, Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva. "Bases para un Plan Estratégico de Mediano Plazo en Ciencia, Tecnología e Innovación".

Disponible en www.mincyt.gov.ar/bases_plan_estrategico_05_15/pdf/bases.pdf

[20] Universidad Tecnológica Nacional, Rectorado. Resolución C.S.U. 232/98.

[21] Constitución de la Nación Argentina, Santa Fe, 1994.

[22] Ley Nacional N° 25.675/2002. General del Ambiente.

[23] Ley Nacional N° 25.612/2002. Presupuestos mínimos de protección ambiental sobre gestión integral de residuos de origen industrial y de actividades de servicios.

[24] Mercante I., Bovea E., Arena P., Martinengo P., “Estudio Comparativo de los Aspectos Técnicos entre la Legislación de RCD en España y América Latina”, II Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos, Barranquilla, 2009.

[25] Bec E., Franco H., “Análisis crítico de la nueva ley de presupuestos mínimos de residuos industriales N° 25.612”. Disponible en: <http://www.eco2site.com/trash/25612.asp>. Acceso el 18/11/2010.

[26] Marcos F. “Dolor de cabeza para la industria” Disponible en: <http://www.estructplan.com.ar/Producciones/imprimir.asp?IdEntrega=404> . Acceso el 18/11/2010.

[27] Ley Nacional N° 25916/2004. Residuos domiciliarios -Presupuestos mínimos de protección ambiental para la gestión integral de residuos domiciliarios.

[28] Marco Legal de Residuos Sólidos Urbanos en Argentina. Disponible en: <http://www.ambiente.gob.ar/observatorios/grupo.asp?grupo=8078&subgrupo=8235¬a=8235> . Acceso el 10-11-2010.

[29] Provincia de Santa Fe. Ley N° 11.717/1999. Medioambiente y Desarrollo Sustentable.

[30] Provincia de Santa Fe. Resolución 128/2004. Normas técnicas sobre tratamiento y disposición final de los RSU.

[31] Provincia de Santa Fe. Ley N° 13.055/2009 Residuos Sólidos Urbanos. “Basura Cero”.

[32] Seghezo P., “Residuos Sólidos Urbanos”. Material del Seminario homónimo. Especialización y Maestría en Ingeniería Ambiental. UTN FRSF, 2010.

[33] Castells X. E., “Reciclaje de Residuos industriales Aplicación a la fabricación de materiales para la construcción”. Ed. Díaz de Santos, Madrid, 2000. pp 609.

[34] Tonda M., Begliardo H., Panigatti M.C., Fornero G., “Estudios sobre Hormigón Reciclado” 6° Encuentro PROCQMA, San Nicolás, Buenos Aires, 2008.

[35] Tonda, M., Begliardo, H., Panigatti, C., “Reciclado de hormigón sin preselección en origen”, III Congreso Internacional y 17ª. Jornadas de la A.A.T.H., Cordoba, 2008.

[36] Tonda, M., Begliardo, H., Panigatti, C., “Reciclado de hormigón sin preselección en origen”, Revista Hormigonar N° 18, pp.1-17, Asociación Argentina del Hormigón Elaborado, Buenos Aires, 2009.

[37] Tonda, M., “Elaboración de hormigones estructurales y no estructurales con agregados de hormigón reciclado”, Proyecto Final de grado en Ingeniería Civil, UTN F.R.Ra, 2008. Dirección: Ing.Begliardo Hugo.

[38] Alaejos Gutierrez, P., Sanchez de Juan, M., et al., “Monografía M-11 de la Asociación Científica Técnica del Hormigón Estructural”, GT/25, Madrid, 2005.

[39] Giaccio, G., Zerbino, R., “Mecanismo de rotura en compresión en hormigón reciclado”, A.A.T.H., Rev.Hormigón N° 41, pp. 25-38, Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón, Buenos Aires, 2005.

[40] Hernández, C., Fornasier, G., “Caracterización de hormigones elaborados con agregado grueso reciclado”, Rev. Hormigonar N° 7, pp. 6-14. Asociación Argentina del Hormigón Elaborado, Buenos Aires, 2005.

[41] Norma IRAM 1531:1994. “Agregado grueso para hormigón de cemento portland”.

[42] Norma IRAM 1532:2000. "Agregados gruesos. Método de ensayo de resistencia al desgaste con la máquina 'Los Ángeles' ".

[43] Instrucción de Hormigón Estructural EHE 2007, España, 2007.

[44] Zega, C., Taus, V, Di Maio, A., "Comportamiento físico-mecánico de hormigones reciclados elaborados con canto rodado". IMME, vol.44, no.3, pp.17-26, 2006.

El autor

Begliardo, Hugo Félix

Ingeniero Civil (U.T.N., 2002)

Ingeniero en Construcciones (U.T.N., 1981)

Especialista en Ingeniería Ambiental (U.T.N. FR Santa Fe, 2011)

Posgrado en Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería (Univ.Politécnica de Cataluña, 1987).

Ex Docente en Universidad Católica de Salta y Universidad Nacional de Salta.

Profesor Titular (O) de “Proyecto Final”, carrera de Ingeniería Civil, U.T.N. F.R.Rafaela

Profesor Asociado (O) de “Análisis Estructural I”, carrera de Ingeniería Civil, U.T.N. F.R.Rafaela

Ex Jefe del Laboratorio de Ing.Civil de la U.T.N. F.R.Rafaela (1993-2011)

Investigador Categoría III del Programa de Incentivos (2011)

Investigador Categoría “D” U.T.N. (2006)

RAFAELA (SF), 2011
Argentina