



# Análisis de impactos ambientales producidos durante la fase de ejecución en edificación: operaciones de limpieza y recuperación de aguas de lavado de hormigones en España

## *Analysis of environmental impacts produced during building execution: cleaning operations and the recovery of concrete-washing water in Spain*

V. Flores-Alés<sup>(\*)</sup>, J. J. Martín-del Río<sup>(\*)</sup>, F. J. Blasco-López<sup>(\*)</sup>, F. J. Alejandro<sup>(\*)</sup>

### RESUMEN

El presente trabajo evalúa aspectos ambientales durante la fase de ejecución de obra de edificación y analiza las posibilidades de reducción de impactos negativos. Se han estudiado factores ambientales asociados al uso y manipulación de los materiales, centrandolo en la investigación en dos de los procesos cualitativamente más relevantes: las limpiezas de la obra y la recuperación de aguas de lavado de hormigones. En ambos casos se hace un análisis cualitativo de la incidencia ambiental; en el estudio de aguas de lavado se han analizado parámetros básicos (densidad por pesada diferencial, pH mediante pH-metría y composición química por fluorescencia de rayos X) de diez muestras procedentes de distintas obras para evaluar la calidad de los vertidos. Se proponen soluciones aplicables y mejoras tecnológicas (filtrado, neutralización,..) en obra con el fin de disminuir el volumen de sólidos arrastrados y mejorar la calidad del agua vertida.

**Palabras clave:** Medioambiente; ejecución; residuos; hormigón; construcción.

### ABSTRACT

*The aim of this work is to assess the environmental aspects arising during the execution phase of building construction and to analyse the possibilities of reducing the negative impacts. We have studied the environmental factors associated with the use and handling of the materials, focusing the research on two of the most qualitatively significant processes: operations to clean the works and the recovery of concrete-washing water. In both cases, a qualitative analysis of environmental impact has been made. In the wash-water study, basic parameters (density by differential weighing, pH by pHmeter and chemical composition by X ray fluorescence) of ten samples were analysed to evaluate the quality of the discharges and thus be able to propose solutions and technological improvements (filtering, neutralization,...) applicable to construction works with the aim of decreasing the volume of dislodged solids and improve the quality of water discharged.*

**Keywords:** Environment; execution; waste; concrete; construction.

(\*) Universidad de Sevilla (España).

Persona de contacto/Corresponding author: [vflores@us.es](mailto:vflores@us.es) (V. Flores-Alés)

---

**Cómo citar este artículo/Citation:** Flores-Alés, V., Martín-del Río, J.J., Blasco-López, F.J., Alejandro, F.J. (2015). Análisis de impactos ambientales producidos durante la fase de ejecución en edificación: operaciones de limpieza y recuperación de aguas de lavado de hormigones en España. *Informes de la Construcción*, 67(538): e091, doi: <http://dx.doi.org/10.3989/ic.14.031>.

**Licencia / License:** Salvo indicación contraria, todos los contenidos de la edición electrónica de *Informes de la Construcción* se distribuyen bajo una licencia de uso y distribución Creative Commons Reconocimiento no Comercial 3.0. España (cc-by-nc).

## 1. INTRODUCCIÓN

El hecho constructivo implica, en mayor o menor medida, una acción agresiva al medio en sí misma y el consumo de recursos de diversa naturaleza (1). El impacto ambiental generado es evaluable a partir de una metodología de predicción en función de las características del proyecto (2). Los procesos edificatorios consumen materias primas, demandan consumos energéticos y recursos naturales (estos se estiman en un tercio de los recursos totales consumidos anualmente), generan emisiones de gases nocivos (3), ruido y ocupan el suelo. El crecimiento imparable de las grandes ciudades, fenómeno denominado «ciudades en marcha» (4) concentra los efectos de carácter negativo de manera que se produce una sinergia amplificadora de impactos.

Comúnmente se recurre al estudio de los impactos que se producen durante la vida de servicio de una edificación al estar estos motivados, en mucha mayor medida, por el propio uso que se dé al edificio o los condicionantes del proyecto arquitectónico con relación a la organización y eficacia del mantenimiento (5). Por similitud con el concepto de «coste económico específico del edificio» (6), durante la vida de servicio se puede considerar como predominante el «coste ambiental del edificio», pero no por ello es menos importante el «coste ambiental de construcción».

Con carácter general, durante la fase de ejecución se producen:

- Ruidos de maquinaria: excavadoras, camiones, grúas, maquinaria rompedora y cortadora, señalizaciones acústicas continuas, etc.
- Emisión de partículas: excavación, manipulación de áridos y conglomerantes, corte, polvo por tránsito de maquinaria, descargas de materiales y residuos, etc.
- Emisión de gases: maquinaria, vehículos, disolventes, polímeros proyectados, etc.
- Lodos: procedentes de excavación, lavado de materiales y maquinaria, etc.
- Consumos de energía.
- Generación de residuos de naturaleza variada.

Sin embargo, la acción durante la propia fase constructiva está menos estudiada, se incide especialmente en el análisis energético y la producción de residuos sólidos y se minusvalora la incidencia ambiental directa dependiente de la puesta en obra de los materiales (2) (7). El análisis de actividades y posible generación de impactos se lleva a cabo partiendo de una relación de grupos en los que se resumen las características y comportamiento de los diversos productos de construcción en función de su naturaleza química básica (Tabla 1). En el análisis particular de cada uno de los materiales y productos a emplear es decisivo identificar los puntos críticos en su ciclo de vida para conseguir materiales y prácticas de ejecución ambientalmente más seguras (8) (9), minimizando al máximo los impactos y riesgos ecológicos y para la salud.

**Tabla 1.** Análisis medioambiental de los diferentes grupos básicos de productos de construcción

GRUPO DE MATERIALES	OPERACIÓN	PRODUCCIÓN DE EMISIONES Y RESIDUOS	VALORACIÓN BÁSICA DE PELIGROSIDAD
<b>Pétreos</b>	Operaciones de corte y tallado	Restos de material Polvo Ruido	Inerte, salvo riesgo de inhalación de polvo
<b>Cerámicos</b>	Operaciones de corte y adecuación de forma	Restos de material Polvo Ruido	Inerte, salvo riesgo de inhalación de polvo
<b>Hormigones y morteros</b>	Vertidos y operaciones de limpieza	Lodos de concentración variable	Posibilidad de contaminación de redes, agua y suelos por presencia de sólidos, aditivos y compuestos químicos irritantes de piel y ojos
<b>Conglomerantes (cementos, cales y yesos)</b>	Vertido	Polvo Lodos de limpieza	Posibilidad de contaminación de redes, agua y suelos por presencia de sólidos, aditivos y compuestos químicos irritantes de piel y ojos
<b>Metales</b>	Operaciones de corte y adecuación de forma. Productos de corrosión. Soldaduras	Restos de material Lixiviado de productos de corrosión.	Inertes en un primer estado. Desarrollan la capacidad contaminantes a partir de los procesos de degradación y derivados (polvos de corte y humos de soldadura, toxicidad (Cr, Ni))
<b>Adhesivos</b>	Operaciones de sellado	Emisiones de gases Envases	Peligrosos por inhalación. Inflamabilidad. Los problema se reproducen en lo envases
<b>Pinturas y revestimientos</b>	Operaciones de aplicación, limpieza y vertidos	Emisión de gases Residuos líquidos Envases	Peligrosos por inhalación. Inflamabilidad. Contaminación de redes, agua y suelos Los problema se reproducen en lo envases
<b>Plásticos y polímeros</b>	Operaciones de corte, adecuación y sellado. Residuos de proyección	Restos de material Emisión de gases	Gases peligrosos. Productos de degradación por contacto con disolventes y adhesivos
<b>Madera y Tratamientos de la madera</b>	Operaciones de corte. Tratamientos de protección y/o decoración	Polvo. Emisión de gases	Gases peligrosos y emisiones permanentes en el tiempo.
<b>Betunes y derivados</b>	Operaciones de aplicación en caliente	Vertidos, residuos sólidos y semisólidos. Emisión de gases	Gases peligrosos. Contaminación de aguas y suelos. Productos de degradación
<b>Suelos</b>	Productos de extracción y vaciado de terrenos	Emisión de partículas Ruido Contaminantes en el suelo	Áridos contaminados Contaminación del entorno, redes y aguas por aporte de sólidos

Entre los materiales susceptibles de desarrollar daño sobre las personas que intervienen en el proceso constructivo por una deficiente manipulación y ejecución se podrían citar: fibra de vidrio mal protegida o degradable, sustancias químicas empleadas como aditivos (10), sustancias con capacidad radiactiva (11), disolventes empleados en maderas y revestimientos, aislantes térmicos prefabricados y proyectados, adhesivos y productos sellantes en instalaciones de fontanería, cemento –Cr (VI)–, consolidantes e hidrofugantes en restauración, productos con capacidad para emitir gases y/o humos (soldaduras), etc. Las circunstancias referidas quedarían englobadas dentro de los supuestos descritos en la Directiva Europea 89/196/CE, en la que se mencionan entre otras causas fugas de gas tóxico, presencia de partículas o gases peligrosos, emisión de radiaciones y contaminación del agua.

La valoración del impacto ambiental asociado al empleo de materiales se divide en dos acciones derivadas: interna y externa (12). La primera influye sobre las condiciones de habitabilidad y las personas, por lo que habrá que determinar la incidencia de la ejecución, puesto que los efectos se manifestarán a partir de la obsolescencia de los materiales, elementos y sistemas constructivos (13). La acción externa es más evidente e inmediata ya que la producción de emisiones, residuos y lixiviados durante la fase constructiva se puede considerar inevitable; es importante tener en cuenta que un factor decisivo en la acción externa es la ubicación del edificio; si bien este es un elemento ajeno a la fase de ejecución en sí misma, ya que es una decisión previa que corresponde al promotor. Por lo expuesto, la calidad del proyecto constructivo y la correcta organización de la obra, limitarán en gran medida los impactos producidos durante la construcción (14), debiendo conseguirse una óptima relación entre el medio sobre el que se construye, la calidad arquitectónica y la calidad ambiental del proyecto y su ejecución.

## 2. OBJETIVOS

En este trabajo se analizan de algunos de los principales factores del proceso constructivo con capacidad de producir impactos en el momento de su adecuación y ejecución para ser integrados en una obra, así como del efecto negativo vinculado a la producción de residuos durante el proceso edificatorio.

El objetivo central es estudiar dos casos concretos en los que se produce gran cantidad de residuos en la propia obra: los procesos de limpieza programados durante la ejecución y el tratamiento de los lodos y aguas procedentes de las operaciones de lavado de los equipos de amasado y vertido de hormigón.

En este punto parece fundamental plantear como objetivo la necesidad de la industria de la construcción de desarrollar mejores prácticas ya implementadas en otros sectores industriales (Figura 1) (15). En el caso concreto de los conglomerados, el hecho de sufrir transformaciones físicas y químicas determinantes en el momento de su ejecución e integración en la obra obliga a una consideración particular sobre los impactos generados durante el proceso constructivo (16). Esto se concreta en el objetivo particular de estudiar un conjunto de muestras representativas de los vertidos de agua producidos en el transcurso de obras de edificación para plantear propuestas de mejora de la calidad de los efluentes.

Igualmente se aborda la incidencia de los sobrantes de hormigones premasados que no llegan a utilizarse y que, de acuerdo con la relevancia cuantitativa de los mismos, merecen un tratamiento específico de recuperación.

La finalidad derivada del análisis de los casos expuestos es avanzar en una planificación cuya finalidad debe ser reducir la huella ecológica del entorno construido (17).

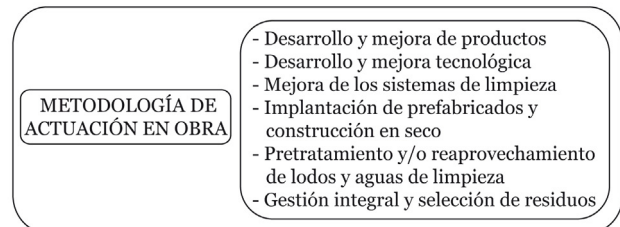


Figura 1. Esquema de posibilidades de mejora de la práctica medioambiental en obra.

## 3. SISTEMAS DE REDUCCIÓN DE IMPACTOS EN OBRA

Con carácter previo al análisis y discusión de resultados se estima necesario evaluar las posibilidades de reducir los impactos ambientales en el transcurso de la obra. La implantación de sistemas que permitan la reducción de los impactos negativos en la propia obra tiene un doble efecto; de una parte se atenúan las afecciones directas sobre los sistemas ecológicos y urbanos afectados y de otra se disminuyen los impactos indirectos producidos por los residuos una vez gestionados los mismos (18). Es importante que los técnicos asuman la responsabilidad de garantizar una adecuada compatibilización del hecho constructivo con su entorno, independientemente de la naturaleza de éste, y una correcta organización de la obra en sus aspectos ambientales.

La calidad del cerramiento y la ubicación y almacenamiento de determinados materiales son factores a valorar por su incidencia en el entorno inmediato de la obra. Es el caso de los áridos o conglomerados ensacados (cementos, cales, morteros industriales secos, etc.), cuando los acopios se sitúan lindando con el cerramiento lo más probable es que terminen por esparcirse o romperse los envases y salir los materiales fuera del recinto generando suciedad, colapso de los sistemas de redes de alcantarillado y riesgo en la circulación de vehículos por disminuir el agarre de estos al firme.

Igualmente, en grandes obras que conllevan acopios prolongados se puede dar la circunstancia de que materiales inicialmente inertes pero con facilidad de degradación, como determinados productos metálicos de ferralla, desarrollen procesos de corrosión con capacidad contaminante en contacto con el suelo, bien por experimentar procesos de lixiviación o por arrastre de sustancias por el agua.

Considerando que el hormigón es cuantitativamente el material más empleado en la construcción, la eliminación de los impactos producidos durante su ejecución y la reducción de los residuos derivados de ésta son especialmente importantes. El empleo de piezas prefabricadas, además de reducir

los costos de material, mano de obra y transporte, reduce ostensiblemente el impacto ambiental derivado del material residual y su tratamiento, esta reducción está cuantificada por algunos investigadores en más del 12 % (19). Ello no es óbice para considerar los impactos asociados al proceso de prefabricación industrial (consumo de energía, emisiones de CO<sub>2</sub>...), si bien estos resultan ajenos al estricto transcurrir de la obra.

En este mismo sentido, la incorporación de sistemas de construcción industrializados implica un menor impacto y supone un mayor rendimiento en el ciclo de vida de los materiales puesto que se facilitan las operaciones de mantenimiento y reparación, posibilitando la reutilización de dichos elementos (20). El empleo de sistemas constructivos denominados «en seco» permite minimizar el tiempo de ejecución, las pérdidas de material en obra y, por lo tanto, disminuir la producción de residuos y contaminantes durante el proceso de construcción, estimándose esta disminución en un 30 % menos (21).

Los sistemas constructivos en seco inciden de manera concreta en la optimización de las soluciones para los revestimientos de fachadas, ya que evitan el empleo de conglomerados y morteros adhesivos de agarre, ganándose eficacia y rapidez en la ejecución, tienen una menor demanda de materiales y posibilitan la eliminación de los vertidos por cantidades sobrantes y limpieza. Es de especial importancia este punto ya que los morteros de agarre son morteros poliméricos de formulación compleja, por lo que su reciclado no es factible y el impacto ambiental por vertido y degradación química mayor que en los casos de morteros de cemento o cal convencionales.

A continuación se analizan dos de los casos más relevantes desde el punto de vista ambiental durante la fase de ejecución de una obra.

#### 4. TOMA DE MUESTRAS Y METODOLOGÍA

El presente trabajo incluye un apartado de evaluación de la calidad de aguas de limpieza procedentes de diez obras de edificación convencionales localizadas en Andalucía (España), vertidas directamente a la red de alcantarillado. La toma de muestra de los vertidos se llevó a cabo, de acuerdo con la información facilitada por los técnicos responsables de las obras, en los momentos de mayor acumulación de suciedad y procurando su representatividad. Esta evaluación de vertidos debe considerarse con carácter cualitativo, más allá de la cuantificación que se hace de los mismos, puesto que las aguas de limpieza procedentes de una obra tiene una naturaleza muy irregular en función de la fase de ejecución y de la periodicidad de la limpieza.

Para la toma de muestras se dispuso de un depósito de 5 litros en la alcantarilla de recogida de aguas, canalizándose el vertido para su recogida íntegra. Tras la evaluación visual, se procedió a la determinación de la densidad aparente (kg/m<sup>3</sup>)

Posteriormente se procedió a la separación de las fracciones sólidas mediante desecación en estufa a 100 °C hasta peso constante y se realizó el análisis granulométrico mediante la serie de tamices normalizados según normas UNE-EN 933:1 A/1 y 933:2 (22) (23). El porcentaje de partículas superiores a 4 mm se eliminó ya que su presencia resultó poco significa-

tiva desde un punto de vista cuantitativo, ello se debe a que los restos de mayor tamaño se eliminan mayoritariamente en la limpieza previa en seco, estando presentes en el agua aislados y de manera puntual. Por último se realizó la pesada de sólidos con precisión de 0,1 g.

El análisis químico de elementos fundamentales se llevó a cabo mediante espectrómetro de fluorescencia de Rayos X marca Panalytical (modelo AXIOS) de tubo de Rh para el análisis elemental de muestras sólidas y líquidas. El método aplicado ha sido el semicuantitativo IQplus con atmósfera de helio. Considerando la naturaleza de las muestras la técnica utilizada aporta un grado de exactitud suficiente. Del mismo modo se analizaron los valores de pH de los vertidos con pH-metro (HI 9214) y tampones estandarizados de pH 10 y 13.

El estudio de las aguas de lavado de hormigones no se ha realizado con carácter empírico, si no a partir del análisis de los datos hechos públicos por la Asoc. Nac. Española de Fabricantes de Hormigón Preparado y el Centro de Estudios de Experimentación de Obras Públicas del Ministerio de Fomento. Estos valores se han tratado de acuerdo con las indicaciones normativas evaluándose las necesidades y posibilidades teóricas de recuperación.

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1. Procesos de limpieza en obra

Durante el transcurso de una construcción tiene lugar una serie de operaciones necesarias que puntualmente tienen relevancia ambiental, son los procesos de limpieza de obra. En el desarrollo de la ejecución de un edificio, conforme se van finalizando las actuaciones correspondientes a cada uno de los oficios que intervienen (albañilería, pavimentación, metalistería, carpintería, pintura, etc.) se procede a la limpieza de la obra con el objeto de facilitar los trabajos siguientes.

Estas operaciones de limpieza tienen como factor determinante un importante arrastre de residuos, con la característica de un cierto grado de homogeneidad en unos casos y un elevado consumo de agua en otros. En el caso de las operaciones de limpieza con agua, pavimentos o pinturas entre otras, estas implican un elevado consumo así como un importante arrastre de sólidos y contaminantes, especialmente en el caso de las pinturas.

El hecho de que estas operaciones se reproduzcan en diversas fases durante la ejecución y que las mismas se desarrollen en la totalidad del edificio amplifica los efectos y consumos. El estudio realizado sobre una serie de diez muestras de aguas de lavado de procedencia diversa ha permitido establecer un valor de densidad máxima estimada de 1,10 g/cm<sup>3</sup>, lo que implica a efectos prácticos un contenido en partículas de diámetro inferior a 4 mm de 95 g/l.

El objeto del estudio de muestras ha sido la caracterización básica mediante análisis físico del agua vertida y de las partículas en suspensión. Ello ha permitido hacer una cuantificación de las partículas, considerando que es un parámetro variable por la propia naturaleza del proceso de limpieza. Hay que señalar que las granulometrías de los agregados estudiados resultan discontinuas y muy heterogéneas.

Se han obtenido los datos de peso de partículas de tamaño inferior a 4 mm, en correspondencia con el tamaño normalizado de arena, y de la densidad correspondiente a cada muestra. Este valor resulta muy fluctuante, por lo que se presentan son los datos que puntualmente pueden llegar a alcanzar el agua en los momentos más críticos de los vertidos de limpieza. Los datos se exponen en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Datos del análisis físico de aguas procedentes de vertidos en obra

MUESTRA	Peso de partículas < 4 mm (g/l)	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )
1	55	1,06
2	41	1,04
3	95	1,10
4	32	1,03
5	81	1,08
6	49	1,05
7	52	1,05
8	58	1,06
9	36	1,03
10	66	1,07

La observación de los resultados aporta datos regulares por encima del hecho de tratarse de obras significativamente diferentes. En todos los casos analizados se obtienen resultados homogéneos, con una dispersión máxima del 0,68 % para los valores de densidad.

Con relación al análisis químico de las muestras se ha observado una composición media de las diez muestras analizadas, destacando como era previsible la presencia de calcio (1.180 ppm) procedente de la solubilización de fracciones presentes en los materiales de albañilería (cementos, áridos, cales,...), principalmente de los compuestos portlandita y yeso. El resto del análisis químico no presenta datos particularmente llamativos en cuanto a una potencial contaminación de los vertidos (Tabla 3); salvo con relación a los valores de pH, que ponen de manifiesto la sensibilidad del agua al contacto con los materiales que contienen cemento debido a la fracción de hidróxidos de calcio, sodio y potasio, cuya elevada alcalinidad influye en las características de los vertidos. Así, el contacto del agua con hormigones y morteros desarrolla con carácter inmediato una subida desde los rangos habituales en torno a 7, a valores próximos a 11 (24).

**Tabla 3.** Contenidos medios de elementos químicos fundamentales y valor medio de pH

ELEMENTOS QUÍMICOS (ppm)						pH
Ca	K	Mg	P	S	Si	
1.180	40	20	610	300	50	11,3

Una correcta programación de las operaciones de limpieza debe conllevar la adecuada separación de los residuos sólidos y la optimización de consumos, procurando la máxima limpieza de residuos y contaminantes por vía seca, minimizando el arrastre con agua. La naturaleza de las operaciones hace imposible en la práctica la recuperación del agua para su reci-

clado, como en el caso del lavado del hormigón, siendo difícil, aunque factible, una decantación o filtrado previo al vertido para la reducción del volumen de partículas sólidas.

En cualquier caso, la buena práctica durante la ejecución, así como el empleo de sistemas de prefabricación, reciclado y construcción en seco disminuirán drásticamente la suciedad y el volumen de residuos y materiales inutilizados generados en obra y, por tanto, se minimizará el impacto directo derivado de las operaciones de limpieza (25).

## 5.2. Recuperación de agua de operaciones de lavado de hormigones

La recuperación de las aguas de lavado de los equipos de amasado y bombeo del hormigón supone un ejemplo claro de acción determinante frente a un impacto ambiental directo producido durante la fase de puesta en obra del material. Considerando el importantísimo volumen de producción de hormigón a nivel mundial se puede tomar conciencia del interés cuantitativo por la recuperación del material residual inutilizado, así como de las aguas empleadas en el tratamiento de dicho residuo. Valgan como referencia las producciones aproximadas en el año 2010 de EU (274 Mm<sup>3</sup>), USA (243 mm<sup>3</sup>), Japón (85 Mm<sup>3</sup>) o Rusia (40 Mm<sup>3</sup>) (26).

El reciclado de aguas procedentes del hormigón tiene su origen en el lavado de dispositivos que han estado en contacto con el hormigón, que en el caso concreto del lavado de amasadoras implica la recuperación adicional de un volumen importante de material que no llega a ser vertido o de material que por su inadecuada calidad ha sido rechazado para ser ejecutado. La relevancia de la recuperación de los fluidos está en relación con el volumen de agua consumida en las operaciones de lavado.

Parece evidente el carácter contaminante tanto del hormigón fresco residual como de las aguas de lavado (Figura 2). Dicho carácter tiene una naturaleza física por el vertido de partículas de diverso tamaño, mayoritariamente finos, y otra química por la posible presencia de componentes químicos disueltos, pH altamente alcalino y, de manera especial, por el aporte de sustancias químicas peligrosas procedentes de los aditivos incorporados al producto. Esta circunstancia se ve acrecentada por la necesidad de incorporar retardadores de fraguado a las aguas de limpieza para facilitar su recuperación, evitando procesos de fraguado del material no vertido.

A partir de los datos de la ANEFHOP se considera que la cantidad residual de hormigón respecto de las cantidades demandadas en una obra es del 1 %. Se puede establecer que el excedente de material es de aproximadamente 30 kilogramos por metro cúbico consumido, que demandan en las operaciones de limpieza de 1,5 a 2 litros de agua por kilogramo de hormigón (27). De acuerdo con este dato, la densidad de un hormigón normal (2-2,5 T/m<sup>3</sup>) se vería disminuida entre un 75 % y un 100 %. Este dato es fundamental ya que el parámetro determinante para el reciclado de aguas procedentes de lavado de hormigón es la densidad.

El requisito en España para la reutilización de esta agua es que su densidad sea inferior a 1,3 g/cm<sup>3</sup>, para posteriormente ser mezclada con agua limpia hasta una densidad de 1,1 g/cm<sup>3</sup> (28). De este modo se asegura que no influya en las propiedades de nuevos hormigones amasados con esta agua reci-



Figura 2. Vertido de aguas de lavado procedentes de camión hormigonera sin recuperación.

clada y también se neutraliza el impacto ambiental resultante de su vertido. Salvo casos excepcionales el único tratamiento previo que demandaría esta agua para alcanzar una densidad inferior a  $1,3 \text{ g/cm}^3$  es la eliminación de partículas finas procedentes del árido ( $>0,063 \text{ mm}$ ) y de los fenómenos de floculación y fraguado parcial que haya podido desarrollar el cemento, en estos casos bastaría con un tratamiento de sedimentación o filtrado mecánico, estableciéndose como límite total de sólidos  $185 \text{ kg/m}^3$  (28). Al igual que ocurre con otros materiales reciclados, las características fisicoquímicas del fluido resultante serán las que determinen el tipo de tratamiento y la posibilidad de uso (29).

En el caso de la norma ASTM C94 el límite de partículas sólidas para la reutilización del agua es de  $50,000 \text{ pmm}$  (30), lo que se asocia a una densidad de  $1,03 \text{ g/cm}^3$  (31).

A partir de lo expuesto, la necesidad de recuperación del agua y de los lodos procedentes del hormigón se considera como una demanda inexcusable para reducir los impactos producidos en la fase de ejecución.

## REFERENCIAS

- (1) Mercader, M.P., Marrero, M., Solís, J.A., Montes, M.V., Ramírez, A. (2010). Cuantificación de los recursos materiales consumidos en la ejecución de la cimentación. *Informes de la Construcción*, 62(517): 125-132, doi: <http://dx.doi.org/10.3989/ic.09.000>.
- (2) Gangoellés, M., Casals, M., Gassó, S., Forcada, N., Roca, X., Fuertes, A. (2009). A methodology for predicting the severity of environmental impacts related to the construction process of residential buildings. *Building and Environment*, 44(3): 558-571, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2008.05.001>.
- (3) Mølhave, L. (1982). Indoor air pollution due to organic gases and vapours of solvents in building materials. *Environment International*, 8(1): 117-127, doi: [http://dx.doi.org/10.1016/0160-4120\(82\)90019-8](http://dx.doi.org/10.1016/0160-4120(82)90019-8).

## 6. CONCLUSIONES

Un reto importante en el desarrollo de sistemas tecnológicos de ejecución es la incorporación de sistemas de depuración básica y recuperación de agua. En el primer caso, la posibilidad de filtrado y/o decantación con instalaciones relativamente simples previo a los vertidos supondría, en aquellos casos que fuera necesario, una mejora de la calidad de las aguas vertidas a las redes de saneamiento urbanas. Considerando los resultados obtenidos, el volumen de vertidos de sólidos oscila en una media entre  $50$  y  $70 \text{ kg/m}^3$ , alcanzando valores máximos próximos a los  $100 \text{ kg/m}^3$ , esta solución sería sencilla y sin implicar un coste económico elevado, mejorando sensiblemente la calidad de los efluentes de obra.

Los análisis químicos no manifiestan alteraciones que pudieran considerarse problemáticas, más allá de los elevados valores de pH. Los sistemas de neutralización de aguas mediante acidificación previa al vertido se encuentran actualmente en un nivel de implantación muy incipiente y excepcional, su sistematización implicaría una importante mejora de la calidad química de las aguas vertidas.

La implementación de sistemas de construcción industrializada disminuye drásticamente la producción de residuos, las exigencias de gestión de los mismos y el consumo de agua durante el transcurso de la obra, reduciendo el volumen de vertidos, en especial de conglomerados y de sólidos en suspensión. Un factor determinante en la reducción de los impactos ambientales producidos por la ejecución del hormigón en obra es el empleo de productos prefabricados. Igualmente las necesidades de limpieza se ven reducidas con el ahorro económico que ello supone.

A partir de los datos analizados sobre los volúmenes recuperables de hormigón y la demanda de agua para la limpieza de equipos, se determina claramente la relevancia de la integración en obra de depósitos para la estabilización del agua de lavado hormigones y morteros, que disminuirá la evacuación de cemento y conglomerantes y con ello la capacidad contaminante de los vertidos. En el caso de recuperación, la posibilidad de reutilización de parte del agua empleada en obra implicaría un factor positivo frente a los impactos negativos inevitables.

Con carácter general, una adecuada previsión de espacios en la organización de la obra y la correcta formación y concienciación de técnicos y trabajadores posibilitará la optimización de la integración de sistemas de mejora ambiental y con ello la disminución del impacto ambiental producido durante la fase ejecución.

- (4) Figueroa, E., Suárez-Inclán, L.M. (2001). Impacto ambiental de la construcción. En *Construcción y Medio Ambiente* (pp. 49-68). Sevilla: Fund. Cultural COAAT.
- (5) Bresnen, M., Goussevskaja, A., Swan, J. (2005). Implementing change in construction project organizations: exploring the interplay between structure and agency. *Building Res. & Information*, 33(6): 547-560, doi: <http://dx.doi.org/10.1080/09613210500288837>.
- (6) De Montes, M.V., Lucas, R., Monterde, D.A. (2009). A Model for the Assessment of the Ecoefficiency Level of Building Materials and Products. En *I International Conference on Construction & Building Research*, 1. Madrid.
- (7) Coehlo, A., De Brito, J. (2012). Influence of construction and demolition waste management on the environmental impact of buildings. *Waste Management* 32(3): 532-541, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2011.11.011>.
- (8) Yasantha Abeysundara, U.G., Babel, S., Gheewala, S. (2009). A matrix in life cycle perspective for selecting sustainable materials for buildings in Sri Lanka. *Building and Environment*, 44(5): 997-1004, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2008.07.005>.
- (9) Sabaté, J., Peters, C. (2001). Una visión holística de la reducción del impacto ambiental en edificios del área del Mediterráneo. *Informes de la Construcción*, 63(extra): 73-87, doi: <http://dx.doi.org/10.3989/ic.11.066>.
- (10) Häkkinen, T., Mäkelä, K. (1996). *Environmental adaptation of concrete*. Espoo: Technical Research Centre of Finland.
- (11) Fucic, A., Fucic, L., Katic, J., Stojković, R., Gamulin, M., Seferović, E. (2011). Radiochemical indoor environment and possible health risks in current building technology. *Building and Environment*, 44(12): 2609-2614, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.06.020>.
- (12) Arenas, F.J. (2007). *El impacto ambiental en la edificación. Criterios para una construcción sostenible*. Madrid: Edisofer.
- (13) Thomsen, A., Van Der Flier, K. (2011). Understandig obsolescence: a conceptual model for buildings. *Building Research & Information*, 39(4): 352-362, doi: <http://dx.doi.org/10.1080/09613218.2011.576328>.
- (14) Macías, M., García-Navarro, J. (2010). Metodología y herramienta VERDE para la evaluación de la sostenibilidad en edificios. *Informes de la Construcción*, 62(517): 87-100, doi: <http://dx.doi.org/10.3989/ic.08.056>.
- (15) Gann, D.M. (2000). *Building Innovation: Complex Constructs in a Changing World*. London: Thomas Telford.
- (16) Thomsen, A., Schultmann, F., Kohler, N. (2011). Deconstruction, demolition and destruction. *Building Res.& Information*, 39(4): 327-332, doi: <http://dx.doi.org/10.1080/09613218.2011.585785>.
- (17) Rees, W.E. (2009). The ecological crisis and self-delusion: implications for the building sector. *Building Res.& Information*, 37(3): 300-311, doi: <http://dx.doi.org/10.1080/09613210902781470>.
- (18) Wadel, G., López, F., Sagrera, A., Prieto, J. (2011). Rehabilitación de edificios bajo objetivos de reducción de impacto ambiental: un caso piloto de vivienda plurifamiliar en el área de Playa de Palma, Mallorca. *Informes de la Construcción*, 63(extra): 89-102, doi: <http://dx.doi.org/10.3989/ic.11.067>.
- (19) López-Mesa, B., Pitarch, A., Tomás, A., Gallego, T. (2009). Comparison of environmental impacts of building structures with in situ cast floors and with precast concrete floors. *Building and Environment*, 44(4): 699-712, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2008.05.017>.
- (20) Wadel, G., Avellaneda, J., Cuchí, A. (2010). Sustainability in industrialised architecture: closing the materials cycle. *Informes de la construcción*, 62(517): 37-51, doi: <http://dx.doi.org/10.3989/ic.09.067>.
- (21) Solanas, T., Herreros, J. (2008). *Vivienda y sostenibilidad en España*. Vol. 2: colectiva. Barcelona: Gustavo Gili.
- (22) AENOR. (2004). *UNE-EN 933-1/A1: 2004. Determinación de la granulometría de las partículas. Métodos del tamizado*. Asociación Española de Normalización (AENOR).
- (23) AENOR. (1996). *UNE-EN 933-2: 1996. Determinación de la granulometría de las partículas. Tamices de ensayo, tamaño nominal de las aberturas*. Asociación Española de Normalización (AENOR).
- (24) Martín Del Río, J.J. (2004). Estudio del comportamiento durable de pastas y morteros de cemento en condiciones de agresividad (Tesis doctoral), pp. 87-88. Sevilla: Universidad de Sevilla.
- (25) Marrero, M., Martínez-Escobar, L., Mercader, M.P., Leiva C. (2013). Minimización del impacto ambiental en la ejecución de fachadas mediante el empleo de materiales reciclados. *Informes de la Construcción*, 65(529): 89-97, doi: <http://dx.doi.org/10.3989/ic.11.034>.
- (26) ERMCO Statistics. (2010). [http://www.ermco.eu/documents/ermco-documents/ermco-statistics-2010\\_rev03.pdf](http://www.ermco.eu/documents/ermco-documents/ermco-statistics-2010_rev03.pdf).
- (27) CEDEX. (2007). *Returned concrete or fresh concrete wastes. Ficha técnica 3.2*.
- (28) Ministerio de Fomento. (2008). *EHE-2008. Instrucción de hormigón estructural*. España.
- (29) Watson, R., Balkan, E. (2008). *Green Building Impact Report*. Oakland: Greener World Media.
- (30) ASTM. *C94-05: Specification for Ready Mixed Concrete*. USA: ASTM International
- (31) Lobo, C.L., Mullings, G.M. (2003). Recycled Water in Ready Mixed Concrete Operations. *Concrete in Focus*, (pp. 17-26). Nat. Read. Mix. Concrete Assoc.

\* \* \*