



Received: 03/10/2021

Accepted: 14/10/2021

Anales de Edificación

Vol. 8, Nº2, 37-41 (2022)

ISSN: 2444-1309

Doi: 10.20868/ade.2022.5046

Valoración económica, ambiental y desempeño estructural de diferentes hormigones Economic, environmental, and structural performance assessment of different concretes

Ana Roca Francín^a, Javier Ferreiro Cabello^a, Esteban Fraile García^a

^aUniversidad de La Rioja.

Resumen— La dirección de proyectos de construcción, respetando el entorno y los parámetros ambientales es un tema ya abordado con anterioridad en multitud de trabajos científicos. Éste trabajo tiene como objetivo comparar y analizar los distintos parámetros ambientales derivados del análisis del ciclo de vida, concretamente en la etapa de producto, fases A1, A2 y A3 y los costes económicos incurridos en una estructura modelo, utilizando diferentes hormigones armados HA25, HA30, HA35, HA40, HA45 y HA50. Demostrando la utilidad que tiene para los directores de proyectos en el proceso de toma de decisiones, disponer de un análisis comparativo de parámetros medioambientales frente al coste económico. Éste estudio se ha realizado sobre una estructura en concreto, por lo que los resultados obtenidos son propios del edificio analizado. Sería muy interesante realizar éste estudio sobre una muestra de estructuras más amplia. Se podría, de ese modo, analizar cómo influyen en los parámetros ambientales otros factores como la geometría, la utilización de diferentes soluciones estructurales o diferentes datos de cálculo, como las cargas de viento o nieve.

Palabras clave—Hormigón; Valoración económica; Impacto ambiental; Resistencia mecánica; ACV.

Abstract— The management of construction projects, respecting the environment and environmental parameters, is a subject that has already been addressed in many scientific works. The aim of this work is to compare and analyse the different environmental parameters derived from the life cycle analysis, specifically in the product stage, phases A1, A2 and A3 and the economic costs incurred in a model structure, using different reinforced concretes HA25, HA30, HA35, HA40, HA45 and HA50, demonstrating how useful it is for project managers in the decision-making process to have a comparative analysis of environmental parameters versus economic cost. This study has been carried out on a specific structure, so the results obtained are specific to the building analysed. It would be very interesting to carry out this study on a larger sample of structures. In this way, it would be possible to analyse how other factors such as geometry, the use of different structural solutions or different calculation data, such as wind or snow loads, influence the environmental parameters.

Index Terms— Concrete; Economic valuation; Environmental impact; Mechanical resistance; LCA.

I. INTRODUCCIÓN

Cada día la sociedad se preocupa más por el impacto ambiental tanto de la fabricación, como del uso de productos. Debemos identificar herramientas para medirlos. El impacto ambiental producido por la construcción representa entre el 40 y el 60% del agotamiento de los recursos naturales. (Xia et al., 2020) Resulta evidente la necesidad de analizar los impactos generados en cada una de las etapas del ciclo de vida de los materiales de construcción, con el objetivo de reducirlos. Para ello es imprescindible el desarrollo de nuevas normas reguladoras. Por ejemplo, a escala europea, a

partir de 2020 los edificios tienen que ser de energía casi nula. (European Parliament, 2010)

Desde el punto de vista de dirección de proyectos, el Análisis del ciclo de vida, ACV, combinado con el de costos puede aportar información relevante para el proceso de toma de decisiones, especialmente en las fases de inicio y planificación. Según PMBOOK (Project Management Institute, 2017) existen 5 grupos de procesos en cualquier proyecto: de inicio, de planificación, de ejecución, de monitoreo y control y de cierre. Dado que el coste de los cambios y de la corrección de errores generalmente aumenta a medida que avanza un proyecto, la toma de decisiones en fases tempranas es decisiva.

El ACV se define como una metodología que nos permitirá conocer el comportamiento medioambiental de un producto, proceso o servicio desde la cuna a la tumba, o cómo “recopilación y evaluación de las entradas, las salidas y los impactos ambientales potenciales de un sistema del producto a través de su ciclo de vida”.(UNE-EN-ISO-14040:2006, 2006). El ACV analiza impactos potenciales, no reales. Es un método analítico, iterativo, que aumenta el nivel de detalle en repeticiones sucesivas y considera múltiples impactos ambientales potenciales de un producto o servicio de acuerdo con ciertas etapas analizadas o durante su ciclo de vida.(Balaguera et al., 2018). Ésta metodología consta de 4 fases: Definición de objetivos y alcance. Inventario. Evaluación de Impacto. Interpretación. A pesar de que lo ideal es aplicar la metodología desde la cuna hasta la tumba, en multitud de ocasiones no se realiza. La norma (UNE-EN-15804:2012., 2012) establece como obligatoria (A1-A3) etapa de producto, cuna a puerta, para la evaluación de edificios, como es el caso de éste trabajo.

El objetivo que se pretende alcanzar es contribuir a la literatura, mediante la comparación de los costes económicos y los parámetros ambientales de una estructura de hormigón armado. Otros objetivos son dar respuesta a las siguientes preguntas: ¿Cómo influye el uso de diferentes tipos de hormigones en su relación coste-parámetros ambientales, para una misma geometría de edificio? ¿Cuál es el tipo de hormigón más recomendable desde el punto de vista ambiental? ¿Cuál es el tipo de cemento más ventajoso desde el punto de vista ambiental, CEM-I o CEM-II? ¿Qué influencia tienen los diferentes elementos estructurales en los parámetros ambientales? ¿En qué medida influyen el acero y el cemento en los parámetros ambientales? ¿Se puede decir que uno es más contaminante que el otro?

II. METODOLOGÍA

Se toma como estructura modelo una estructura de una licitación pública. Se ha calculado con CypeCAD (CYPE, 2020) versión campus. v2020.d.CypeCAD es un software que calcula, teniendo en cuenta el CTE y EHE08.(Min. Transportes, 2008), (Min. Transporte, 2020) y Arquímedes, generador de precios de la construcción de Cype Ingenieros. (CYPE, 2020)

Debemos determinar qué variables son determinantes para comparar distintos parámetros ambientales. Por un lado, están las determinadas en la fase de proyecto, y por otro lado los determinados en la fase de ejecución (Fraile García et al., 2019).

La ubicación afecta principalmente a las cargas de viento y de nieve, reguladas en CTE DB-SE-AE (Min. Transporte, 2020). El presente estudio, se ha realizado emplazando la estructura modelo en la misma ubicación para todos los casos. Se ha utilizado acero UNE-EN 10080 B500S en todos los casos y se ha calculado para cada tipo de hormigón, HA-25, HA-30, HA-35, HA- 40, HA-45, HA-50 elaborado con dos tipos diferentes de cemento Portland (CEM-I, CEM-II). Teniendo de este modo 12 casos a analizar.

Los datos aportados por DAP (EDP System, 2020) de los áridos, son por cada 1000 kg de árido. Comparando con los datos que nos aportan las DAP de CEM-I y CEM-II (AENOR, 2014), (AENOR, 2014) y de barras de acero (AENOR, 2014), nos da una idea de la pequeña influencia que tienen los áridos en los parámetros medioambientales, por lo que no se han incluido en el estudio.

En cuanto a la geometría, se trata de un edificio rectangular de 24,40m por 5,4m, compuesto de planta semisótano, planta baja y cubierta inclinada a un agua. Aunque según E. Fraile (Fraile García et al., 2019) el método de encofrado puede ser un parámetro relevante, se ha considerado el mismo encofrado para todos los casos, por lo que no vamos a estudiar su influencia.

Las DAP que proporcionan información sobre el impacto ambiental, tanto para CEM-I, como para CEM-II. (AENOR, 2014), (AENOR, 2014). Como se puede observar en la Tabla 1, para la elaboración de cada tipo de hormigón se utilizará una dosificación de cemento diferente. En el desarrollo del estudio se han tenido en cuenta dichas dosificaciones. Para iniciar este estudio es preciso diseñar el sistema de información, que posteriormente se implanta a nivel municipal.

Se calcula la estructura para cada tipo de hormigón. En este punto cobran importancia las DAP, puesto que conociendo los kg de cemento y los kg de acero, podemos calcular los datos de cada categoría de impacto tanto para CEM-I, CEM-II, sumando ambas obtendremos las del hormigón armado.

TABLA I
COSTE ECONÓMICO Y AMBIENTAL DE 1M³ DE HORMIGÓN FUENTE: E FRAILE (FRAILE GARCÍA ET AL., 2019)

Material	Type cement	kg CEM	Cost (€)	kg CO ₂ Equiv.
Ready-mix Concrete C-25	CEM-I	275	103.24	243.045
Ready-mix Concrete C-30		300	108.44	265.14
Ready-mix Concrete C-35		325	114.98	287.235
Ready-mix Concrete C-40		350	124.19	309.33
Ready-mix Concrete C-45		375	133.18	331.425
Ready-mix Concrete C-50		400	143.59	353.52
Ready-mix Concrete C-25	CEM-II	300	103.84	225.69
Ready-mix Concrete C-30		325	108.87	244.497
Ready-mix Concrete C-35		350	115.24	263.305
Ready-mix Concrete C-40		375	124.28	282.112
Ready-mix Concrete C-45		400	133.11	300.92
Ready-mix Concrete C-50		425	143.35	319.727

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las zapatas de los muros, muros y forjados representan entre el 81% y el 84% de los kg totales de cemento. Se necesita entre el 9,5% y el 6% más kg de CEM-II que de CEM-I para la construcción de un mismo elemento. El precio del hormigón aumenta al aumentar su resistencia. La elección entre CEM-I o CEM-II no influye en el precio significativamente, lo que sí influye en el precio, es la resistencia del hormigón.

Potencial de calentamiento global, “Fig. 1a y 1b” la mayoría de CO₂ equivalente se produce en la fase A3, CEM-I 92% y CEM-II 87%. El total de kg de CO₂ equivalente es entre un 8 y un 11 % mayor en CEM-I, que en CEM-II. Los kg de CO₂ equivalente aumentan al aumentar la resistencia del hormigón. Desde el punto de vista kg CO₂ equivalente es más interesante trabajar con hormigones fabricados a base de CEM-II. En nuestro caso, resultaría optima la elección de HA-25 fabricado con CEM-II, que además resulta el más económico.

- Potencial de agotamiento de la capa de ozono estratosférico, “Fig. 2a y 2b”, la mayor cantidad de kg CFC 11 equivalente se produce en la fase A1, 82% CEM-I, 86% CEM-II. CEM-I emite entre el 5 y el 8% más que CEM-II. Potencial de acidificación del suelo y de los recursos de agua, “Fig. 3a y 3b”. En las fases A1, A2 y A3, se produce 30%, 10% y 60% del total para CEM-I y 38%, 13% y 49% para CEM-II. Se producen entre 5% y 9 % más kg SO₂equivalente con la utilización de CEM-I, que con CEM-II.

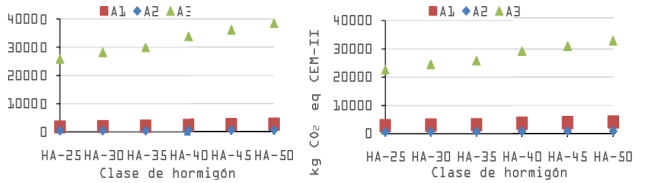


Fig. 1. Gráfica kg CO₂ eq: (a) CEM-I. (b) CEM-II.

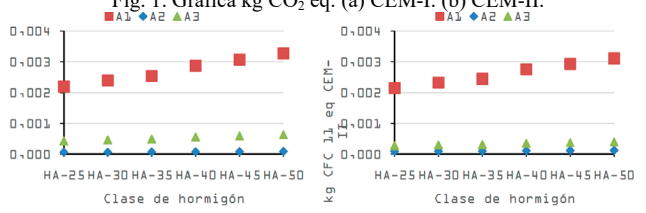


Fig. 2. Gráfica kg CFC 11 eq: (a) CEM-I. (b) CEM-II.

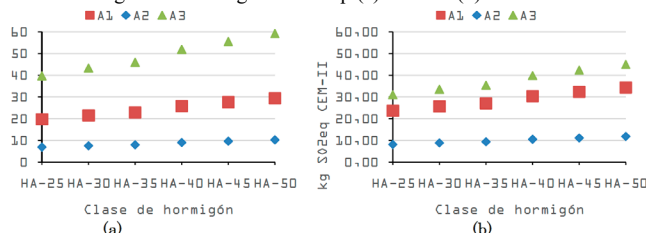


Fig. 3. Gráfica kg SO₂ eq: (a) CEM-I. (b) CEM-II.

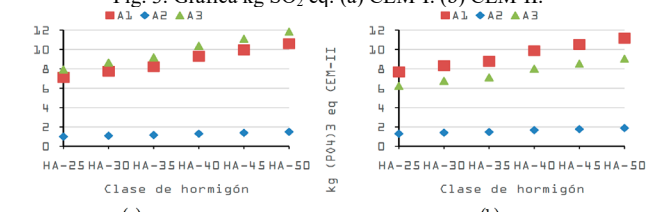


Fig. 4. Gráfica kg (PO₄)₃ eq: (a) CEM-I. (b) CEM-II.

- Potencial de eutrofización “Fig. 4a y 4b”, la fase A2 suponen un porcentaje muy pequeño respecto a las fases A1 y A3. En las tres fases las emisiones aumentan al aumentar la resistencia del hormigón. En el caso de CEM-I, durante la fase A3, es dónde más kg (PO₄)₃ - equivalente, se producen, mientras que con CEM-II es en la fase A1. En el caso del CEM-I se emite 6% y 8% más de kg (PO₄)₃ - equivalente, que en aquellos con CEM-II.
- Potencial de formación de ozono troposférico, “Fig. 5a y 5b” el CEM-I produce entre un 5% y un 8% más kg de etileno equivalente, que CEM-II. Los kg producidos durante la fase A2, son prácticamente constantes tanto para CEM-I, cómo para CEM-II. Potencial de agotamiento de los recursos abióticos no fósiles, “Fig. 6a y 6b”. Con CEM-I se producen prácticamente las mismas emisiones de kg Sb equivalente. en las fases A1 y A3. En el caso CEM-II las emisiones en la fase A3 son prácticamente nulas, y se elevan notablemente las de la fase A1. Éste es el único parámetro dónde el CEM-II emite más, que CEM-I, entre 1 y 4% más.
- Potencial de agotamiento de los recursos abióticos fósiles, “Fig. 7a y 7b”. CEM-I emite, más en la fase A3, que en la A2, mientras que CEM-II se emite más en la fase A2, que en la A3. La fase A1 representa el 89% de los MJ en el caso del CEM-I, 95% para CEM-II.

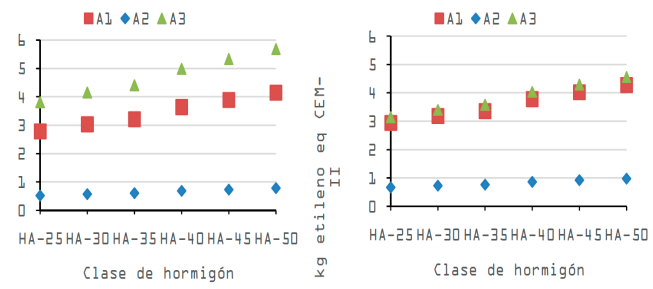


Fig. 5. Gráfica kg Etileno eq: (a) CEM-I. (b) CEM-II.

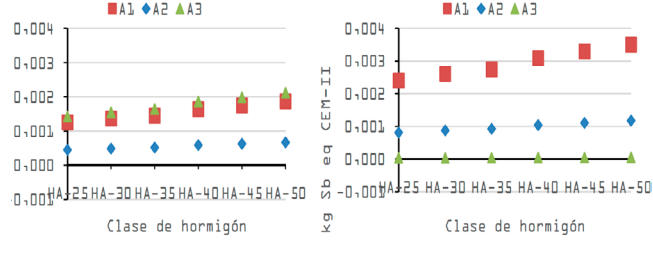


Fig. 6. Gráfica kg Sb eq: (a) CEM-I. (b) CEM-II.

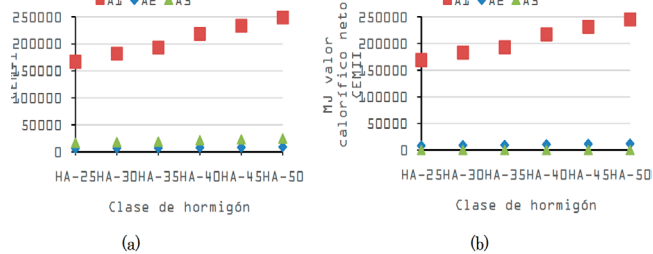


Fig. 7. Gráfica MJ valor calorífico neto: (a) CEM-I. (b) CEM-II.

A. Acero

Las zapatas de los muros, y los muros, que representan entre el 55% y el 57% de los kg de acero.

- Potencial de calentamiento global, “Fig. 8a” la mayoría de CO₂ equivalente, 67% se produce en la fase A3 “fabricación”. Las fases A1 y A2 representan el 23% y el 10% de los kg de CO₂ equivalente. del acero. Los kg de CO₂ equivalente. aumentan ligeramente al aumentar la resistencia del hormigón.
- Potencial de agotamiento de la capa de ozono estratosférico, “Fig. 8b”². La mayor cantidad de kg CFC 11 equivalente se produce en la fase A3 “fabricación”. Las fases A1, A2 y A3 representan el 22% y el 17% y el 61% de los kg CFC 11 equivalente del acero.
- Potencial de acidificación del suelo y de los recursos de agua “Fig. 9a”, la mayor cantidad de kg SO₂ equivalente se produce en la fase A3 “fabricación”. Las fases A1, A2 y A3 representan el 22% y el 15% y el 64% de los kg SO₂ equivalente del acero respectivamente.
- Potencial de eutrofización “Fig. 9b”, las fases A1, A2 y A3 representan el 40% y el 9% y el 51% de los kg SO₂ equivalente del acero respectivamente.
- Potencial de formación de ozono troposférico “Fig. 10a”, la fase que más kg etileno equivalente produce es la A3 con un 67%.

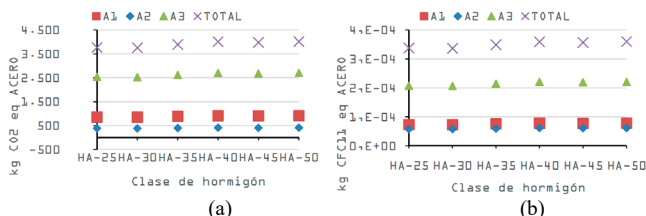


Fig. 8. Gráfica Acero: (a) kg CO₂ eq. (b) kg CFC 11 eq.

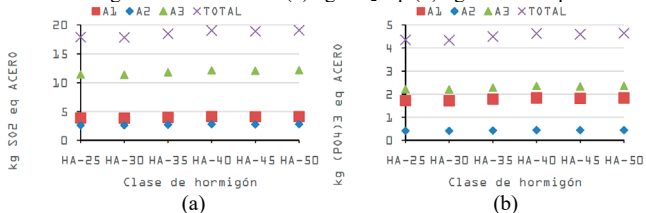


Fig. 9. Gráfica Acero: (a) kg SO₂ eq. (b) kg (PO₄)₃ eq.

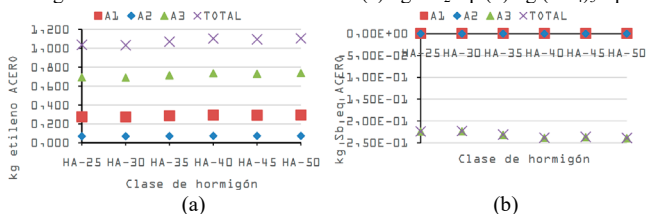


Fig. 10. Gráfica Acero: (a) kg etileno. (b) kg Sb eq.

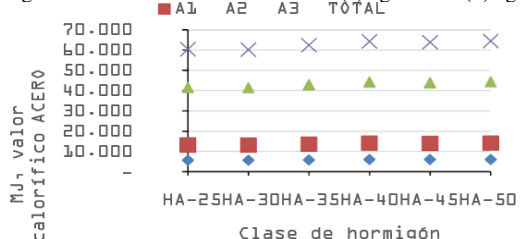


Fig. 11. Gráfica Acero: MJ, valor calorífico neto del acero.

IV. CONCLUSIONES

Éste estudio aporta información sobre parámetros influyentes en el diseño de estructuras de hormigón armado desde el punto de vista del ACV y basadas en DAP. En

concreto se obtienen datos de parámetros ambientales del cemento CEM-I, CEM-II, acero B500S barras corrugadas, y por lo tanto del hormigón armado.

Para todos los parámetros analizados, excepto para kg Sb equivalente, la utilización de CEM-I resulta más contaminante que la utilización de CEM-II. También podemos concluir que todos los parámetros contaminantes aumentan al aumentar la resistencia del hormigón utilizado.

En el caso de la estructura estudiada, la opción óptima desde el punto de vista ambiental es un hormigón HA-25 elaborado con CEM-II.

En general el cemento es el principal responsable de las emisiones o consumos de los parámetros ambientales analizados. En la mayoría de los parámetros el cemento representa entre el 70 y el 90% de las emisiones o consumos del hormigón. Lo que supone que el acero es el responsable de entre el 10 y el 30% de las emisiones o consumos, dependiendo de los parámetros que analizamos.

Cabe resaltar que éste estudio se ha realizado sobre una estructura con una geometría y unos datos de cálculo basados en un ejemplo real, y los datos obtenidos son relativos a ésta estructura, el estudio se ha realizado para una tipología de edificio, una geometría y unos valores de cálculo concretos. Por lo que los resultados ambientales analizados en éste trabajo son propios del edificio analizado.

Sería muy interesante realizar éste tipo de estudio sobre una muestra más amplia de estructuras con diferentes geometrías y datos de cálculo de partida. Se podría, de ese modo, analizar cómo influyen en los parámetros ambientales otros factores como la geometría, la utilización de diferentes soluciones estructurales o diferentes datos de cálculo, como pueden ser las cargas de viento o nieve.

En el futuro, la investigación y los esfuerzos deberían ir encaminados hacia la promoción de una economía circular para reducir los parámetros ambientales durante el proceso de obtención de acero y de cemento.

REFERENCIAS

AENOR, «GlobalEPD Program. Environmental Product Declaration Cement CEM-I. 2014.
 AENOR, «GlobalEPD Program. Environmental Product Declaration Cement CEM-II. 2014.
 AENOR, «GlobalEPD Program. Environmental Product Declaration Long steel laminate construction unalloyed hot oven from: corrugated bars. 2014.
 Balaguera, Alejandra, Carvajal, Gloria Isabel, Albertí, Jaume, y Fullana-i-Palmer, Pere, «Life cycle assessment of road construction alternative materials: A literature review», Resources, Conservation and Recycling, vol. 132, May 2018.
 Cype Ingenieros, S.A. Software for Architecture, Engineering and Construction», 2020.

- Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings». Official Journal of the European Union, 06). EPD Average Aggregate – Holcim Romania. The international EPD® System». 2020.
- E. Fraile-Garcia, J. Ferreiro-Cabello, F. J. M. de Pison, y A. V. Pernia-Espinoza, Effects of Design and Construction on the Carbon Footprint of Reinforced Concrete Columns in Residential Buildings», *Materiales de Construcción*, vol. 69, jun. 2019.
- Ministerio de transportes, movilidad y agenda urbana, «Instrucción de hormigón Estructural (EHE-08), 2008.
- Ministerio de transportes, movilidad y agenda urbana, «Código Técnico de la Edificación., 2020.
- Project Management Institute, A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide) Sixth Edition and Agile Practice Guide. 2017.
- UNE-EN ISO 14040:2006 Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Requisitos y directrices. 2006.
- UNE-EN 15804:2012+A1:2014 Sostenibilidad en la construcción. Declaraciones ambientales de producto. Reglas de categoría de producto básicas para productos de construcción. 2014
- B. Xia, T. Ding, y J. Xiao, «Life cycle assessment of concrete structures with reuse and recycling strategies: A novel framework and case study», *Waste Management*, vol. 105, pp. 268-278, mar. 2020.



Reconocimiento – NoComercial (by-nc): Se permite la generación de obras derivadas siempre que no se haga un uso comercial. Tampoco se puede utilizar la obra original con finalidades comerciales.