

Comparativa entre sistemas constructivos de huecos para ascensores en función del análisis de ciclo de vida



COMPARATIVE ANALYSIS BASED AT THE LIFE CYCLE ASSESSMENT ON HOISTWAY OF RESIDENTIAL BUILDINGS

DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/5800> | Recibido: 25/03/2013 • Aceptado: 10/06/2013

Justo García Sanz-Calcedo, Sergio Pena-Corpa

UNIVERSIDAD DE EXTREMADURA. Dpto. de Ingeniería Mecánica, Energética y de los Materiales. Avda. Santa Teresa de Journet, 38 - 06800 Mérida (Badajoz). Tfno: +34 924 387068. jgsanz@unex.es

ABSTRACT

• This paper compares environmental impact of traditional construction systems of hoistways made for elevators in residential building sites, using techniques based on Life Cycle Analysis (LCA), calculation of carbon footprint, quantifying total energy consumption and emissions in the material used as well as building and recycling of all materials in use. Furthermore, other environmental variables directly related with environment sustainability will be studied. We have simulated the analysis with a time frame of 50 years, 100 km track average for the transporting of materials and 15 km residues distance average from rubbish dump.

The ceramic brick wall has proved to have the best behavior from building and maintenance cost, risk in health and safety and intensive use of workers point of view, variables all related with economical building aspects. On the other hand, from sustainability point of view it is proved that the 1/2 ceramic brick walls with rock wool insulation and one final layer with ceramic brick had the best environmental sustainability behavior.

It proved that from an environmental sustainability point of view, traditional materials and masonry construction systems are less polluting than concrete construction systems, showing advantages in building design when the sustainability concepts are applied in materials selection and construction techniques.

• Keywords: eco-design, sustainable building, LCA, elevator hoistway, sustainable.

RESUMEN

En este trabajo se compara el impacto medioambiental de distintos sistemas de construcción de huecos para la instalación de aparatos elevadores en obras de construcción de edificios residenciales, utilizando técnicas basadas en el Análisis de Ciclo de Vida y el cálculo de la huella de carbono, cuantificando la energía consumida y las emisiones ambientales en el proceso de fabricación de los materiales, construcción, uso y reciclaje. Además, se estudian otros indicadores medioambientales directamente relacionados con la sostenibilidad ambiental, considerando un periodo de 50 años, un recorrido medio de 100 km para el transporte de materiales y una distancia media de 15 km para la deposición de residuos en vertedero.

Se observa que el cerramiento a base de ladrillo cerámico es el que presenta un mejor comportamiento desde el punto de vista del coste de ejecución, coste de mantenimiento, riesgos en materia de seguridad y salud e intensidad de uso de la mano de obra, variables todas ellas relacionadas con los aspectos socioeconómicos de la ejecución de la obra. Sin embargo, desde una perspectiva de sostenibilidad, se observa que los cerramientos que menor impacto medioambiental generan, son los realizados con medio pie de ladrillo, aislamiento de lana de roca y trasdosado cerámico.

Se demuestra que desde una perspectiva medioambiental, la utilización de sistemas constructivos basados en técnicas tradicionales y materiales convencionales, es menos contaminante que la utilización del hormigón armado en todas sus variantes, poniéndose de manifiesto las ventajas de utilizar en el diseño de un edificio los conceptos de sostenibilidad aplicada en la elección de materiales y técnicas constructivas.

Palabras clave: ecodiseño, construcción sostenible, ACV, hueco de ascensor, sostenibilidad.

1. INTRODUCCIÓN

La energía consumida en los procesos de fabricación y construcción es inherente a cualquier tipo de actividad, implica la modificación del entorno y conlleva una serie de impactos ambientales. El sector de la edificación representa uno de los sectores con mayor incidencia en las emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera, emisión en su mayor parte debida al elevado consumo energético derivado del proceso de fabricación de los materiales utilizados en la construcción. Solamente la construcción y mantenimiento de edificios consume aproximadamente un 40% de los materiales que se emplean en la Unión Europea [1]. El sector de

los aparatos de elevación presenta una dimensión muy importante en Europa ya que los ascensores instalados alcanzan los 4.000.000, con un ritmo de crecimiento de aproximadamente 120.000 nuevos ascensores por año [2].

El hueco de ascensor es una estructura vertical cerrada por tres lados, donde se aloja uno o más ascensores, que incorpora foso y casetón para instalaciones. Desde el punto de vista de la limitación de demanda energética, se consideran recintos no habitables, por lo que deben aislarse con una doble función, térmica y acústica. Su estructura debe soportar las reacciones debidas a la maquinaria, a las guías como consecuencia de la actuación del sistema paracaídas, el descentrado de la carga en la cabina, la acción de los amortiguadores en caso de impacto y los esfuerzos originados por la actuación del sistema antirrebote [3].

Aunque existen antecedentes de estudios que comparan sistemas constructivos en cerramientos exteriores e interiores, no hay precedentes sobre estudios relacionados con la sostenibilidad de las técnicas constructivas de los huecos de ascensores en edificios residenciales. Sin embargo hay precedentes de estudios en lo correspondiente a cerramientos exteriores, donde se analiza la sostenibilidad desde varios puntos de vista como son el ahorro energético, la energía consumida y las emisiones de CO₂ [4].

Ykyoung (2011) analiza los formados por muro cortina y elementos transparentes [5] evaluando la energía total consumida en su implantación y mantenimiento, así como las emisiones de CO₂ para un periodo de 40 años y una distancia de transporte de 50 km.

Desde las características acústicas de dos tipos de materiales (ladrillo y piedra) y cinco tipologías de vivienda, Chia-Jen y Kang (2009) analizan el impacto ambiental de sus envolventes mediante el empleo de los programas ENVEST y CADNA, obteniendo diferentes valores de impacto ambiental [6].

Cuéllar-Franca y Azapagic (2012) realizan un estudio del ciclo de vida de tres tipologías de viviendas en el Reino Unido, teniendo en cuenta su uso y demolición durante un periodo de 50 años [7]. En concerniente a huecos de ascensor, Farh (2002) investigó la forma de minimizar el coste de la ejecución de los pilares que conforman la estructura del hueco del ascensor, sin considerar el ciclo de vida, el impacto ambiental y la sostenibilidad de cada sistema estructural [8].

Brouna y Menzies (2011) analizaron los tres tipos de cerramientos más habituales en el Reino Unido (ladrillo cerámico, bloque de hormigón y entramado de madera), empleando el método ACV [9]. El material que menos impacto ambiental presentó fue el entramado de madera y el que más el ladrillo cerámico.

Chau et al (2012) analizan la emisión de CO₂ de cinco tipos de composiciones de materiales durante 60 años en un edificio de oficinas [10], concluyendo que reutilizar los residuos de construcción puede reducir la huella de CO₂ en un 5,9%, y que la reutilización de los recursos e importación de materiales de la región podría reducir la huella de carbono un 3,2% y 3,1% respectivamente.

En lo referente a la sostenibilidad aplicada a elemen-

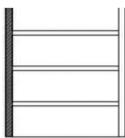
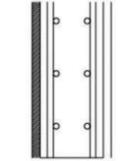
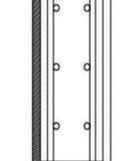
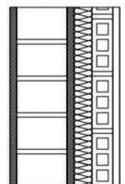
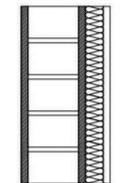
tipo	descripción	sección constructiva	peso (kg)	espesor (m)	superficie (m ²)
1	Fábrica de ladrillo perforado tosco de 24x11x7 cm de 1 pie de espesor, recibido con mortero de cemento CEM II/B-P 32,5 N y arena de río tipo M-5, preparado en central y suministrado a pie de obra, revestido por la cara interior con guarnecido y enlucido de yeso de 1,5 cm de espesor y en la cara exterior con enfoscado de mortero de cemento de 1,5 cm de espesor		360,72	0,27	1,83
2	Fábrica de bloques huecos de hormigón estándar de 40x20x20 cm. recibidos con mortero de cemento CEM II/B-M 32,5 N y arena de río M-5, rellenos de hormigón de 330 kg. de cemento/m3 de dosificación y armadura B-500S, revestido por la cara interior con guarnecido y enlucido de yeso de 1,5 cm de espesor y en la cara exterior con enfoscado de mortero de cemento de 1,5 cm		347,26	0,23	1,52
3	Hormigón armado HA-25N/mm2, consistencia plástica, Tmáx. 20 mm para ambiente normal, elaborado en central, incluso armadura B-500S encofrado y desencofrado con tablero aglomerado a dos caras, vertido por medios manuales, vibrado y revestido por la cara interior con guarnecido y enlucido de yeso de 1,5 cm de espesor y en la cara exterior con enfoscado de mortero de cemento de 1,5 cm de espesor		402,74	0,15	0,94
4	Prefabricado de hormigón armado de 15 cm de ancho, fabricado con hormigón HA-40 N/mm2, Tmáx.20 mm, consistencia plástica, árido 20 mm, montaje con ayuda de grúa automovil y sellado de juntas con cordón de masilla caucho-asfáltica, revestido por la cara interior con guarnecido y enlucido de yeso de 1,5 cm de espesor y en la cara exterior con enfoscado de mortero de 1,5 cm de espesor		443,41	0,18	1,15
5	Fábrica de ladrillo perforado tosco de 24x11x7 cm, de 1/2 pie de espesor en interior, recibido con mortero de cemento CEM II/B-P 32,5 N y arena de río tipo M-5, preparado en central, enfoscado con mortero de cemento y arena de río por ambas caras con 1,5cm de espesor cada capa, aislamiento de lana de roca de 4 cm de espesor y densidad de 40kg/m3 recibido con tacos de nylon, fábrica de ladrillo hueco sencillo de 4 cm de espesor recibida con mortero de cemento M-5 y acabado interior con guarnecido y enlucido de yeso de 1,5cm de espesor		299,86	0,195	1,26
6	Fábrica de ladrillo perforado tosco de 24x11x7 cm, de 1/2 pie de espesor en interior, recibido con mortero de cemento CEM II/B-P 32,5 N y arena de río tipo M-5, preparado en central y suministrado a pie de obra, con planchas de aislamiento de lana de roca de 3 cm de espesor. Trasdosado formado por estructura de perfiles de chapa de acero galvanizada a base de perfiles tipo omega y placa de cartón-yeso de 15 mm de espesor.		229,68	0,141	0,88

Tabla 1: Tipología constructiva analizada

tos constructivos [11], hay antecedentes de trabajos [12-13] que comparan el impacto ambiental de distintas soluciones constructivas, analizándolas mediante descomposición en las emisiones medioambientales de los materiales básicos que la conforman.

El objetivo de este trabajo es comparar desde una perspectiva de sostenibilidad, el impacto ambiental de distintos sistemas de construcción de huecos de ascensores utilizando técnicas basadas en el *Análisis del Ciclo de Vida* y en el cálculo de la huella de carbono, cuantificando la energía consumida en el proceso de fabricación de los materiales, en el proceso construcción, de uso y de demolición del cerramiento, determinando indicadores relacionados con el proceso constructivo, agrupados en base a la sostenibilidad socioeconómica y medioambiental.

Para la creación de un modelo de construcción sostenible, es importante realizar este tipo de investigaciones pues se generan herramientas que permiten discriminar entre soluciones y alternativas de diseño en base a su eficiencia e impacto medioambiental, que tienen como valor añadido que contribuyen a la concienciación del sector.

2. HIPÓTESIS DE PARTIDA

Para analizar cómo influye la composición del cerramiento en las variables medioambientales, se han estudiado una serie de soluciones constructivas utilizadas habitualmente en la construcción de huecos para aparatos elevadores en edificios de tipo residencial. La descripción de cada uno de los cerramientos se detalla en la Tabla 1.

Una vez identificados los esfuerzos y las sollicitaciones a las que está sometido cada cerramiento, se procede a su dimensionado, para posteriormente realizar un recuento de los materiales, la mano de obra y los medios auxiliares utilizados en la construcción del hueco del ascensor, comprobando que se cumplen los requisitos mínimos establecidos en la normativa legal vigente, en lo que se refiere a aislamiento térmico y acústico. Posteriormente se realiza un inventario de cada uno de los materiales, utilizando las técnicas basadas en el análisis de ciclo de vida [14].

Para el desarrollo del estudio, se ha considerado un ascensor adaptado a discapacitados de 450 kg de carga, 6 plazas de capacidad y de 1,6 m/s de velocidad, de dimensiones de cabina de 1,00 x 1,25 m con puertas automáticas de apertura telescópica de 0,80 m de paso por 2,00 m de altura, instalado en un edificio de 3 alturas de uso residencial. Se ha considera-

do que todo el cerramiento del ascensor está en el interior del edificio, como se detalla en la Figura 2. El hueco tiene unas dimensiones de 1,55 x 1,70 m en planta, y está formado por cuatro paredes, en una de las cuales se abre el hueco de puerta y se ha considerado una altura libre entre plantas de 3 m.

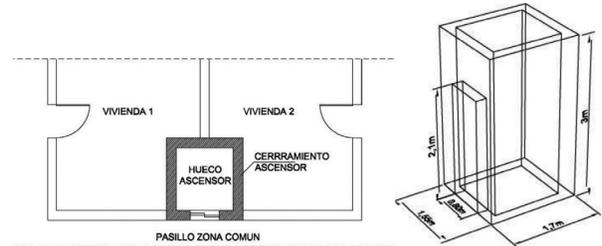


Fig. 2: Plano de implantación y dimensiones del hueco de ascensor

En lo concerniente a la ubicación, se ha considerado un edificio residencial situado en el centro urbano de la ciudad de Mérida (España), al que se le asigna una zona climática de tipo C-4 en base al Código Técnico de la Edificación (CTE) de España [15]. Uno de los principales condicionantes del diseño es el aislamiento térmico y acústico del hueco, el primero por motivo de eficiencia energética y el segundo derivado de la transmisión de ruido y vibraciones al interior de las dependencias habitadas.

Se define recinto de instalaciones como aquél que contiene equipos e instalaciones tanto individuales como colectivas del edificio [16]; es decir, que las cajas de ascensores se pueden considerar recintos de instalaciones. El recinto del ascensor, cuando la maquinaria del ascensor esté en un cuarto de máquinas independiente, debe tener un valor del índice de reducción acústica ponderado en A (Ra) superior a 50 dBA, que se calcula utilizando la Expresión 1.

$$Ra = 36,5 \times \log(m_1 + m_2 + \dots + m_n) - 41,5 \quad (1)$$

Siendo Ra índice de reducción acústica ponderado en A, expresado en decibelios A y m_i la masa de cada uno de los hojas que componen el cerramiento, expresada en kg.

El aislamiento térmico se ha calculado en base al Documento Básico DB-HE [15], considerando una demanda energética media anual en las dependencias ocupadas de 25 kWh/m². Para ello, se calcula la resistencia térmica de cada uno de los cerramientos, considerando que la resistencia térmica total R_t de un componente constituido por capas térmicamente homogéneas se calcula mediante la Expresión 2.

$$R_t = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se} \quad (2)$$

Siendo R_1, \dots, R_n las resistencias térmicas de cada capa definidas según la expresión (3) expresadas en m² K/W, R_{si} y R_{se} las resistencias térmicas superficiales correspondientes al aire interior y exterior expresadas en m² K/W.

La resistencia térmica de una capa térmicamente homogénea viene definida por la expresión 3:

$$R = \frac{e}{\lambda} \quad (3)$$



Fig. 1: Soluciones arquitectónicas utilizadas habitualmente en huecos de ascensor

Siendo e el espesor de la capa expresado en metros y λ la conductividad térmica de diseño del material que compone la capa, calculada a partir de valores de la norma UNE-EN-ISO 10.456 en W/mK.

El cálculo del consumo de materiales se ha realizado teniendo en cuenta una vida media útil del edificio de 50 años, valor habitualmente considerado en el cálculo de la duración de estructuras e impuesto en el CTE y en las Fichas Técnicas del ITEC [17].

En el proceso de cálculo se asumió que el transporte en la conexión de las diferentes etapas del ciclo de vida, se realiza con camiones de carga que utilizan gasóleo y que tienen una demanda energética de $0,00073 \text{ kWh km}^{-1} \text{ kg}^{-1}$ [18]. Además, se consideró un recorrido medio de 100 km para el transporte de materiales hasta el emplazamiento del edificio y para el traslado de los residuos a vertedero autorizado, una distancia media de 15 km. Para las emisiones derivadas de fuentes de energía, se han utilizado las correspondientes al mix eléctrico de España [19].

Como unidad funcional de comparación, se utilizó la superficie construida del cerramiento, tomando como unidad de medida el m^2 . Las emisiones, la energía y los materiales están referidos a ésta: MJ/m^2 , $\text{kg CO}_2/\text{m}^2$, €/m^2 , etc.

En todos los casos se ha considerado que la cara interior del paramento se enfoca con mortero de cemento CEM II/B-P 32,5-N tipo M-5, confeccionado en obra con 300 kg/m^3 de cemento y una proporción en volumen 1/5 y no se ha considerado la pintura de la cara exterior de los paramentos.

3. METODOLOGÍA

El análisis de ciclo de vida es una metodología que cuantifica y caracteriza los diferentes impactos ambientales potenciales, asociados a cada una de las etapas de la vida útil de un producto [20]. En el desarrollo del estudio, se han utilizado técnicas basadas en el Análisis del Ciclo de Vida (ACV), aplicando para ello las normas UNE-EN-ISO 14040:2006 y 14044:2006, dividiendo la vida de cada uno de los materiales [21-22] que componen el cerramiento en cinco etapas: la fabricación, que incluye la extracción de las materias primas y el proceso de fabricación, la expedición del material hasta el punto de consumo, el trabajo de colocar los recursos utilizados en el proceso de construcción, la vida útil de los recursos utilizados y la demolición y el reciclaje.

Para determinar la energía utilizada en la construcción y las emisiones medioambientales, se ha utilizado el banco de precios BEDEC PR/PCT (2012) del Instituto de Tecnología de la Construcción de Cataluña [23]. En los productos que han sido realizados utilizando energía recuperada a partir de ma-

terial o de energía que hubiera sido obtenida de residuo [24], la evaluación de la energía recuperada se ha calculado según la Expresión 4.

$$Er = \frac{(R - E)}{(R - E) + P} \times 100 \quad (4)$$

Siendo Er la energía neta recuperada expresada en %, P la cantidad de energía de fuentes primarias utilizada en el proceso de construcción, R la cantidad de energía resultante del proceso de recuperación de energía y E la cantidad de energía de fuentes primarias utilizada en el proceso de recuperación, todas expresadas en MJ.

Para determinar los costes y rendimientos de materiales y de mano de obra utilizados en el proceso de ejecución, se ha utilizado como referencia, la Base de Precios CENTRO [25], debido a que esta base de precios es la más utilizada en la ubicación analizada. Para el cálculo del coste económico de la ejecución de los cerramientos, se consideró un coste medio de mano de obra de $14,50 \text{ €/h}$ para oficiales y de $13,50 \text{ €/h}$ en el caso de ayudantes y peones, mientras que en el proceso de fabricación de los materiales se estimó un coste medio de 13 €/h . En el proceso de cálculo se ha descompuesto cada unidad de obra en unidades simples en función de los oficios que intervienen en el proceso constructivo.

En la Tabla 2 se detallan los valores de energía, las emisiones de CO_2 , SO_2 , NO_2 y el peso específico utilizado para cuantificar el impacto ambiental.

Se ha considerado el mantenimiento preventivo de cada cerramiento [26] estimándose los costes durante un periodo de 10 años, en función de los materiales empleados en la construcción. Para ello, se utilizó la base CYPE [27] al ser la que mejor se adapta a las características propias de la ubicación del edificio modelizado.

Material	MJ/kg	kgCO ₂ /kg	kgSO ₂ /kg	kgNO ₂ /kg	peso específico kN/m ³
Acero	35,00	2,82	0,0670	0,0036	78,50
Acero galvanizado	41,16	3,08	0,0794	0,0043	80,00
Aditivo	93,00	13,73	0,1779	0,0096	10,40
Agua	0,20	0,00	0,0000	0,0000	10,00
Arena	0,15	0,01	0,0003	0,0000	18,60
Bloque de hormigón	2,35	0,22	0,0038	0,0002	16,00
Cal	4,82	0,84	0,0092	0,0005	11,50
Cemento	3,78	0,83	0,0083	0,0004	14,00
Cerámico	2,76	0,21	0,0053	0,0003	13,50
Desencofrante	99,95	14,76	0,1913	0,0103	9,00
Gasóleo	10,10	0,00	0,0034	0,0554	8,9
Grava	0,15	0,01	0,0003	0,0000	20,00
Lana de Roca	22,33	1,41	0,0322	0,0017	0,35
Madera	14,00	0,83	0,0073	0,0004	5,00
Masilla acrílica	20,00	2,95	0,0381	0,0020	17,00
Masilla de alquitrán	10,00	1,47	0,0191	0,0010	12,00
Nylon	100,00	14,79	0,0041	0,0002	11,40
PVC	70,00	10,33	0,1336	0,0072	13,60
Yeso	1,80	0,16	0,0034	0,0002	9,70
Yeso Laminado	6,28	0,36	0,0120	0,0006	8,00

Tabla 2: Valores energéticos y de emisiones de materiales básicos

4. RESULTADOS

Para facilitar la interpretación de los resultados, los indicadores expuestos a continuación, se han agrupado en función de su contribución a la sostenibilidad socioeconómica o medioambiental.

4.1. INDICADORES AMBIENTALES

4.1.1. Energía invertida

La energía consumida en el proceso constructivo es un indicador del esfuerzo energético necesario en la construcción y contabiliza la energía utilizada en la fabricación de cada material utilizado en el proceso constructivo [28] así como la necesaria para su colocación en obra. En la Figura 3 se representa la energía invertida en el proceso constructivo de los cerramientos analizados.

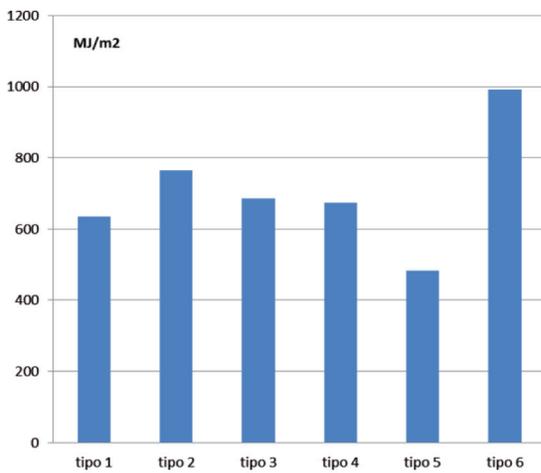


Fig. 3: Energía invertida en el proceso constructivo

Se observa que desde una perspectiva de la energía invertida en el proceso, el cerramiento que menor energía consume es el tipo 5, siendo el de tipo 6 el que necesita más energía debido a que incorpora un trasdosado formado por perfiles de acero galvanizado que requiere mayor aporte de energía en su fabricación.

4.1.2. Emisión de CO₂

La emisión de dióxido de carbono a la atmósfera en el proceso, es una variable que indica el impacto ambiental de la construcción y está directamente relacionada con el denominado efecto invernadero, relacionado con el calentamiento del Planeta [29]. La emisión de gases a la atmósfera, medidos en kilogramos de emisiones de CO₂ equivalentes, nos indica el potencial de calentamiento global (GWP) a causa de los diversos gases emitidos durante la producción y puesta en obra de los materiales de construcción generadores de Efecto Invernadero (GEI) [30].

En la Figura 4 se representa la emisión de dióxido de carbono a la atmósfera por unidad de superficie durante el proceso de fabricación, construcción, uso y demolición por tipo de cerramiento.

Se observa que desde una perspectiva emisiones de CO₂, el cerramiento que menor emisión presenta es el tipo 5, siendo

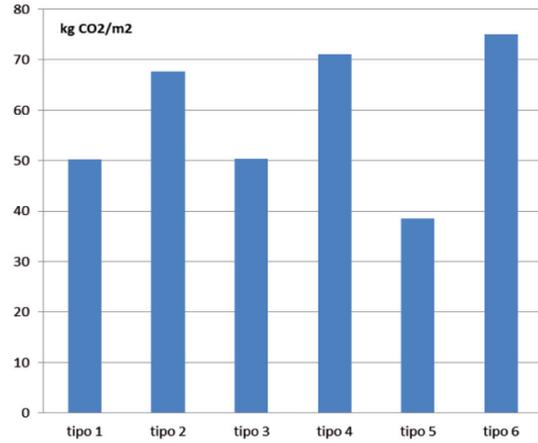


Fig. 4: Emisión de CO₂ en el proceso

el tipo 6 el que más genera. Esta situación coincide con la que se observó en el apartado 3.1, aunque hay que destacar que en este caso, los cerramientos con mayor cantidad de hormigón en su composición, tienen un comportamiento más desfavorable.

En la investigación también se han analizado las emisiones de otros gases con efecto invernadero derivados del proceso de fabricación, transporte y construcción de los cerramientos, como son el monóxido de carbono y los compuestos fluorocarbonados.

4.1.3. Generación de residuos

Los residuos generados durante el proceso, se han clasificado en cuatro tipos: plásticos (150102), cartón-papel (150101), madera (150103) y residuos peligrosos, utilizando para ello el concepto de separación selectiva según los códigos LER (*Lista Europea de Residuos*) [31].

En la Figura 5 se representa la cantidad de residuos generados por unidad de superficie construida para cada tipología constructiva.

La mayor generación de residuos corresponde a cerramientos de tipo 5 y los menores a cerramientos de tipo 4.

4.1.4. Emisión de SO₂ y NO₂

La emisión de dióxido de azufre y óxidos de nitrógeno a la atmósfera, son indicadores del potencial de acidificación y el potencial de eutrofización que generan los gases emitidos durante la producción, transporte y puesta en obra de los materiales de construcción.

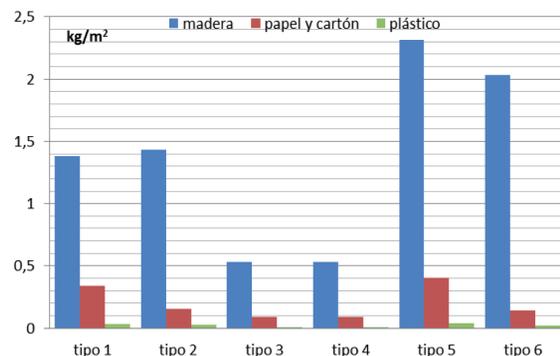


Fig. 5: Residuos generados en el proceso

En la Figura 6 se representa la emisión de dióxido de azufre y de nitrógeno por unidad de superficie.

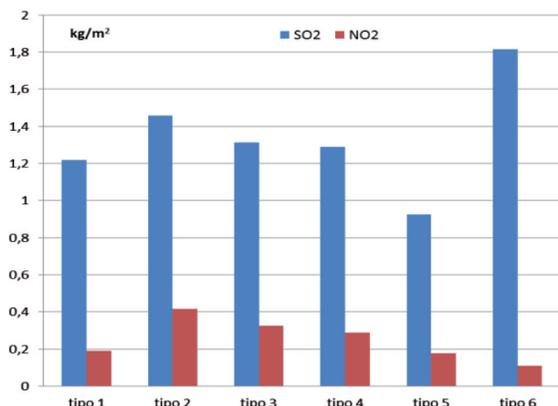


Fig. 6: Emissiones de SO₂ y NO₂

Se observa que desde una perspectiva emisiones, el cerramiento que menor emisión presenta es el tipo 5, siendo el tipo 6 el que más genera SO₂ y menos NO₂.

4.2. INDICADORES SOCIOECONÓMICOS

4.2.1. Cantidad y calidad de la mano de obra

En la Tabla 3 se observa la cantidad de mano de obra necesaria para la construcción de huecos de ascensores en función de la tipología constructiva expresada en horas de trabajo por unidad de superficie construida (h/m²).

El cerramiento tipo 5 necesita más horas de trabajo por unidad de superficie construida, en comparación con el resto de cerramientos. Esta circunstancia, que a priori podría considerarse negativa, puede sin embargo pasar a ser determinante en función de su influencia en el coste final del cerramiento.

Para comparar la proporción de mano de obra, respecto a los materiales que conforman el cerramiento, se ha definido la variable intensidad de mano de obra como la relación entre el importe de la mano de obra empleado en la construcción del cerramiento por unidad de superficie y el coste total de su ejecución. La intensidad de la mano de obra por tipología constructiva, se representa en la Figura 7.

Se observa que la intensidad de mano de obra es mayor en los cerramientos que utilizan materiales de construcción de tipo cerámico y lo contrario sucede en cerramientos que utilizan el hormigón como principal material de construcción. Quiere esto decir que por cada euro de coste de cerramiento, en los primeros la mayor parte se invierte en mano de obra, sobre todo en fase de montaje.

tipo	oficial (h/m ²)	ayudante (h/m ²)	total (h/m ²)
1	1,32	1,48	2,80
2	1,43	1,70	3,13
3	1,48	1,67	3,16
4	1,83	1,87	3,70
5	1,87	2,06	3,93
6	1,39	1,48	2,87

Tabla 3: Mano de obra necesaria por unidad de superficie construida

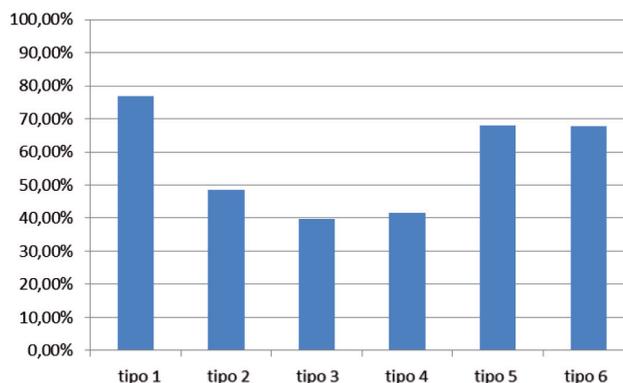


Fig. 7: Intensidad de mano obra

4.2.2. Coste de ejecución

El coste de ejecución es el indicador que se ha utilizado para analizar la viabilidad económica de la utilización de cada uno de los cerramientos [32]. En la Figura 8 se representa el coste del proceso de construcción por unidad de superficie construida, incluyendo la mano de obra, el coste de los materiales y el de los medios auxiliares necesarios para su construcción, sin tener en cuenta costes indirectos, gastos generales y beneficio industrial.

Se observa que el menor coste de ejecución por unidad de superficie corresponde al cerramiento de tipo 1 y que el mayor coste corresponde al tipo 2.

4.2.3. Coste de mantenimiento

El coste de mantenimiento decenal es una valoración del montante económico que supondría mantener el cerramiento en los primeros diez años después de su construcción, atendiendo a las operaciones contenidas en el calendario previsto en el correspondiente Plan de Mantenimiento del Edificio [27]. En la Figura 9 se representa este indicador.

Se observa como el menor coste de mantenimiento corresponde a los cerramientos realizados a base de fábrica de ladrillo perforado de 1 pie o con bloque de hormigón hueco armado, siendo el que supondrá un mayor coste el cerramiento tipo 6.

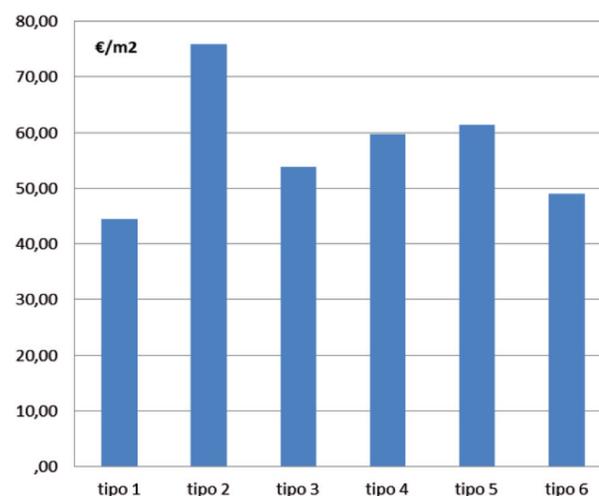


Fig. 8: Coste de ejecución material por tipo de cerramiento

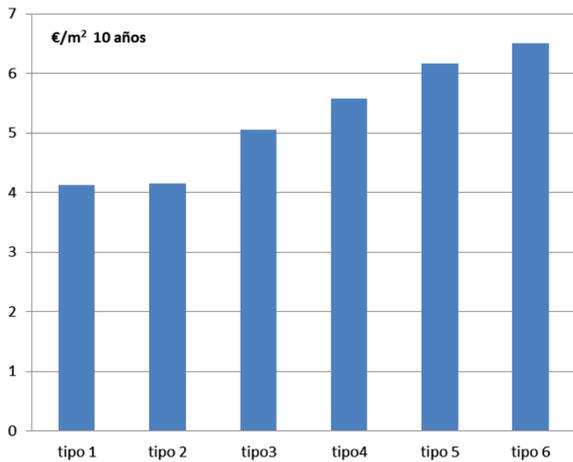


Fig. 9: Coste de mantenimiento decenal

4.2.4. Riesgo intrínseco de la ejecución

Para analizar el riesgo intrínseco a la ejecución de la obra, se ha tenido en cuenta las condiciones de seguridad y salud necesarias para garantizar la seguridad durante el proceso de ejecución, así como los medios auxiliares. Para ello, se analiza

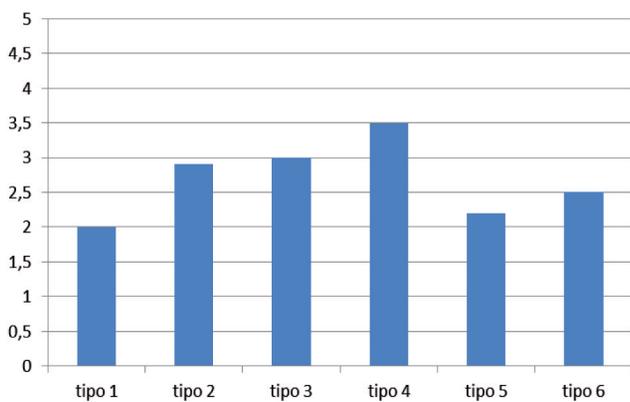


Fig. 10: Riesgo intrínseco en la ejecución

el proceso de acopio de materiales en obra, el montaje, la colocación y la utilización de medios auxiliares. En la figura 10 se observa el riesgo intrínseco de la ejecución, clasificado de 0 a 5 en base a un menor o mayor riesgo de accidente laboral en construcción.

Se observa cómo los cerramientos compuestos por hormigón armado (tipos 2, 3 y 4), presentan un mayor riesgo en su ejecución y por lo tanto, requieren mayores medidas preventivas.

5. CONCLUSIONES Y DISCUSIÓN

Aunque todas las soluciones constructivas analizadas son equivalentes en lo referente a su capacidad portante, en términos cuantitativos no son homogéneas en su balance medioambiental. Para evidenciar los resultados de la investigación, se ha representado en la Figura 11 todos los indicadores analizados, agrupados según sus características en indicadores medioambientales y socioeconómicos, referenciados proporcionalmente al cerramiento de fábrica de ladrillo tosco perforado de 1 pie de espesor, es decir, el cerramiento de tipo 1. Es decir, un valor 125% indica que el valor absoluto de ese indicador supera en 25% al que tiene el del cerramiento de tipo 1.

Se ha evitado considerar elementos de ponderación entre los indicadores para no inducir parámetros de subjetividad en el proceso de diseño, dejando esa decisión a criterio del proyectista.

Se manifiesta que el cerramiento tipo 1, es el que presenta un mejor comportamiento desde el punto de vista del coste de ejecución, coste de mantenimiento, riesgos en materia de seguridad y salud e intensidad de uso de la mano de obra, variables todas ellas relacionadas con los aspectos socioeconómicos.

Sin embargo, desde una perspectiva de sostenibilidad, los cerramientos que mejor comportamiento presentan respecto a su impacto medioambiental, son los realizados con medio pie de ladrillo, aislamiento de lana de roca y trasdosado cerámico, que corresponde al tipo 5, siendo éste el que menor emisión de

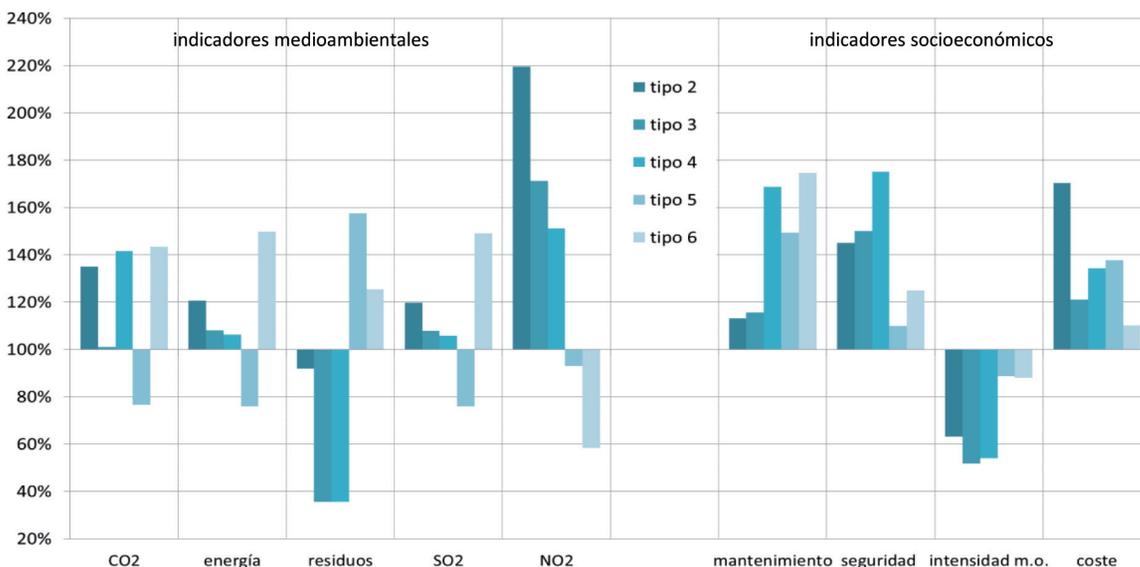


Fig. 11: Relación porcentual de indicadores ambientales

CO₂ genera y menos energía necesita tanto en la fabricación de los materiales como en la ejecución de la obra, presentando una gran capacidad de reutilización y reciclaje.

Se demuestra que la utilización de sistemas constructivos basados en técnicas tradicionales y materiales convencionales, es menos contaminante que el hormigón armado y que aunque necesitan una mayor mano de obra, esto puede ser una ventaja en escenarios de tasa de paro elevada y en periodos de recesión económica. Además se evidencia que los sistemas basados en trasdosado con paneles de cartón-yeso son menos eficientes desde una perspectiva de sostenibilidad que los sistemas que utilizan materiales cerámicos.

Las principales oportunidades de mejora en el sector residencial se encuentran en la reducción de impactos en la etapa de diseño, utilizando para ello la metodología basada en el ACV, pues las decisiones tomadas en esta etapa determinan los impactos de un edificio para el resto de su ciclo de vida. Este estudio refuerza la importancia de tener en cuenta en la fase de diseño, el impacto ambiental de cada uno de los materiales que se van a emplear en la edificación, incluyendo la utilización eficiente de la energía, para conseguir un parque de viviendas más sostenibles.

No se ha tenido en cuenta en el análisis, la fase de utilización de la edificación, ya que se ha centrado la investigación en el impacto en el proceso constructivo, quedando el mismo para próximos desarrollos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su agradecimiento a la Universidad de Extremadura (España), por los medios aportados para la elaboración de este estudio, desarrollado en el marco del Proyecto de Investigación GR-10099 del IV Plan Regional de I+D de la Junta de Extremadura 2011-2014.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Baño-Nieva A, Vigil A. Guía de construcción sostenible. Ministerio de Medio Ambiente. 2005
- [2] Observatorio Industrial del Sector de Bienes de Equipo. Estudio sobre el sector de ascensores. UGT-MCA. 2007.
- [3] Ministerio de Industria y Energía. Reglamento de aparatos de elevación y manutención. Real Decreto 2291/1985, de 8 de noviembre. 1985.
- [4] Zabalza I et al. "Life cycle assessment of building materials: comparative analysis of energy and environmental impacts and evaluation of the eco-efficiency improvement potential". *Building and Environment* 2011. Vol.46 p.1133-1140. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.12.002>
- [5] Kyoung-Hee Kim A. "Comparative life cycle assessment of a transparent composite façade system and a glass curtain wall system". *Energy and Buildings* 2011. Vol.43 p.3436-3445. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.09.006>
- [6] Chia-Jen Y, Kang J. "Environmental impact of acoustic materials in residential buildings". *Building and Environment* 2009. Vol.44 p.2.166-2.175. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.09.006>
- [7] Cuellar-Franca R, Azapagic A. "Environmental impacts of the UK residential sector: Life cycle assessment of houses". *Building and Environment* 2012. Vol. 54 p.86-99. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.02.005>
- [8] Farah A. "Cost minimization of columns and elevator shafts in tall buildings". *High Performance Structures and Materials*. 2002. Vol.4 p.471-478.
- [9] Brouna R, Menzies G. "Life cycle energy and environmental analysis of partition wall systems in the UK". *Procedia Engineering* 2011. Vol.21 p.864-873. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2011.11.2088>.
- [10] Chau CK, Hui WK, Powell G. "Assessment of CO₂ emissions reduction in high-rise concrete office buildings using different material use options". *Resources, Conservation and Recycling* 2012. Vol.61 p.22-34. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.01.001>
- [11] Cuadrado-Rojo J, Losada-Rodríguez R. "Propuesta metodológica de evaluación de la sostenibilidad en la edificación industrial". *DYNA*. 2007. Vol.82-3 p.53-58.
- [12] García Sanz-Calcedo J, Fortea M, Reyes, M. "Comparative analysis on environmental sustainability between masonry vaults and concrete structures". *Ingeniería de Construcción*. 2012. Vol.27-1, p.5-22. doi: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732012000100001>
- [13] López F, Cuadros F, García Sanz-Calcedo J et al. "El edificio PETER. Un ejemplo de integración de las energías renovables en la edificación". *DYNA*. 2011. Vol.86-2, p.212-221. <http://dx.doi.org/10.6036/3911>
- [14] Ottelée M, Perinib K, Fraaij A et al. "Comparative life cycle analysis for green façades and living wall systems". *Energy and Buildings* 2011. Vol.43, p. 3.419-3.429. doi: [10.1016/j.enbuild.2011.09.010](http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.09.010)
- [15] Ministerio de Vivienda. Código Técnico de la Edificación de España. 2006.
- [16] Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja. Guía de Aplicación del DB-HR. 2009.
- [17] Instituto de Tecnología de la Construcción de Cataluña. 2010.
- [18] World Energy Council. *Sustaining World Development into the Next Millennium*. Houston, 1998.
- [19] Red Eléctrica de España. *El sistema eléctrico español* 2011. Madrid, 2012.
- [20] Thormark C. "A low energy building in a life cycle its embodied energy, energy need for operation and recycling potential". References and further reading may be available for this article. To view references and further reading you must purchase this article. *Building and Environment*. 2002. Vol.37-4, p.429-435. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0360-1323\(01\)00033-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0360-1323(01)00033-6)
- [21] Sartori I, Hestnes AG. "Energy use in the life cycle of conventional and low-energy buildings: A review article". References and further reading may be available for this article. To view references and further reading you must purchase this article. *Energy and Buildings*. 2007. Vol.39-3, p.249-257. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2006.07.001>
- [22] Cardim A. "Análisis del ciclo de vida de productos derivados del cemento". Universidad Politécnica de Cataluña 2001.
- [23] Instituto de Tecnología de la Construcción de Cataluña. Banco BEDEC. Barcelona 2011.
- [24] AENOR. Manual de Gestión Ambiental. Asociación Española de Normalización y Certificación. 2006.
- [25] CENTRO. Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Guadalajara. 2012.
- [26] Peris E. "Life cycle, sustainability and the transcendent quality of building materials". *Building and Environment* 2007. Vol.42, p.1.329-1.334. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.11.004>
- [27] CYPE. Generador de precios de la construcción. CYPE ingenieros. 2012.
- [28] Argüello T, Cuchi A. "Análisis del impacto ambiental asociado a los materiales de construcción empleados en las viviendas de bajo coste del programa 10x10 con Techo-Chiapas del CYTED". *Informes de la Construcción* 2008. Vol.60, 509, p.25-34.
- [29] García-Casals X. "Análisis energético y de ciclo de vida de una vivienda bioclimática en Sitges". IIT-04-0651. 2004.
- [30] Intergovernmental Panel on Climate Change. "The Fourth Assessment Report". 2007.
- [31] Ministerio de Medio Ambiente. MAM/304/2002, operaciones de valorización y eliminación de residuos y la lista europea de residuos. 2002.
- [32] Alfonso C. "La vivienda del siglo XXI: edificación sostenible". *Ambienta*. 2003. Vol.23, p.22-28.
- [33] CEDEX. "Residuos de construcción y demolición". Centro de Estudios y Experimentación de Obra Pública. Ficha Técnica 4.1. 2010.