

## **8. Estudio del ciclo de vida para distintas soluciones constructivas del sistema cerramientos de un edificio industrial.**

En el capítulo 7 se ha realizado el estudio del ciclo de vida para distintas soluciones constructivas del sistema estructural de un edificio industrial. En el capítulo 8 se completa el estudio del ciclo de vida de un edificio industrial analizando las distintas soluciones constructivas para el sistema constructivo cerramientos. Este sistema se divide en dos; el sistema constructivo fachadas y el sistema constructivo cubierta. Ambos forman parte de los elementos de cerramiento de un edificio industrial, aunque debido a su distinta forma de trabajar y sus distintas soluciones constructivas, se han analizado por separado.

### **8.1. Definición del método de trabajo**

El método de trabajo utilizado para el estudio es el mismo que el usado en el capítulo anterior para el sistema estructural. Se han estudiado las soluciones más habituales en el sector de la construcción industrial para fachadas y cubiertas, añadiéndoles las soluciones mediante MC. Es decir, se han analizado y comparado las soluciones más usuales y significativas de los elementos tradicionales, y la tipología equivalente en MC propuesta en el capítulo 6. Así mismo, al igual que para el capítulo anterior, se ha realizado el estudio comparativo de cuatro aspectos diferentes: comparación de tiempos, comparación de costes, comparación de la seguridad y comparación del impacto medioambiental

Al igual que para el sistema constructivo estructural, el ámbito temporal de las comparaciones es la vida útil (ciclo de vida) de un edificio industrial. Esta empieza en el momento de su construcción, con las consiguientes cargas económicas y medioambientales asociadas a los materiales cuando se adquieren antes de construir, y finaliza en la fase de desconstrucción, con también las pertinentes cargas económicas y medioambientales relacionadas con la gestión posterior de residuos (revalorización).

El estudio comparativo de las fachadas y cubiertas se ha realizado considerando el rango de dimensiones para el edificio tipo definido en el capítulo 6. Se han realizado los cálculos para todas las posibles soluciones (combinaciones de dimensiones), se ha hallado la repercusión por metro cuadrado de fachada y de cubierta para cada caso, y se ha realizado la media por metro cuadrado para cada solución constructiva. Sobre este último valor es sobre el que se trabaja en este capítulo.

### **8.2. Estudio y comparación de soluciones para el sistema constructivo Fachada**

Las fachadas son cerramientos verticales exteriores de los edificios industriales que tienen como objetivo principal cerrar y aislar el volumen interior de la industria del entorno del edificio, sobretodo de las inclemencias meteorológicas. Por este motivo los cerramientos exteriores del edificio incorporan normalmente aislante térmico.

Además, la fachada debe aislar acústicamente el interior del edificio de la posible contaminación acústica externa, o viceversa en el caso de que la fuente de ruido se encuentre en el interior. Por esta razón la fachada puede incorporar aislamiento acústico. Estos dos últimos aspectos pueden condenar a una solución constructiva, que obtenga buenos resultados en la comparación con el resto de soluciones, a no ser apta para casos concretos de edificios industriales donde el nivel requerido de aislamiento sea elevado.

Se ha procurado que las distintas soluciones analizadas presentaran aislamientos térmicos y acústicos similares (valores mínimos marcados en NBE-CT 79), y que en caso contrario se tuviera presente en las conclusiones del estudio (conocer sus limitaciones).

### 8.2.1. Soluciones constructivas a aplicar

En el análisis realizado se han recogido las tipologías de fachadas que se han considerado más comunes o significativas en la construcción industrial, añadiendo las soluciones mediante MC. Estas soluciones constructivas son las siguientes:

- Fachada metálica simple
- Fachada metálica sándwich de metal y poliuretano
- Fachada metálica sándwich de metal y fibra de vidrio
- Fachada de hormigón prefabricado
- Fachada de obra de fábrica, bloque cerámico (obra vista)
- Fachada de obra de fábrica, bloque cerámico con acabado superficial
- Fachada de obra de fábrica, bloque de hormigón
- Fachada de muro cortina
- Fachada de material compuesto, panel con núcleo de poliuretano
- Fachada de material compuesto, panel alveolar

#### *Fachada metálica simple*

Los paneles de chapa simple están constituidos por una sola chapa metálica grecada y se colocan directamente sobre la estructura auxiliar del edificio, donde se fijan mecánicamente.

Este tipo de fachada presenta el inconveniente de que no aísla térmicamente ni acústicamente (no cumple los mínimos exigidos por NBE-CT 79 ni por NBE-CA 88). El no proporcionar estas cualidades, en la mayoría de casos, limita en gran medida su uso. Aún y presentar este hándicap, se ha creído interesante el introducir esta solución en el estudio para poder observar las diferencias que se producen entre chapa simple y paneles sándwich metálicos. Esta solución constructiva consta de una chapa simple de acero de un espesor de 5mm con un tratamiento superficial de pintura.

#### *Fachada metálica sándwich de metal y poliuretano*

Las fachadas metálicas sándwich están formadas por paneles de doble chapa metálica (normalmente grecada) con aislante en su interior. Estos paneles se fijan a la estructura mediante un entramado metálico (estructura auxiliar) y pueden ser realizados “in situ” o prefabricados.

La fachada concreta con la cual se ha realizado el estudio es un panel metálico tipo sándwich prefabricado y está formada de dos chapas de acero (de 5mm cada una) con un tratamiento de pintura y con un núcleo de poliuretano de 5cm de espesor.

*Fachada metálica sándwich de metal y fibra de vidrio*

Este tipo de fachada es similar a la anterior. También se trata de dos chapas metálicas con un núcleo, esta vez de fibra de vidrio que le confiere el incrementar sensiblemente la propiedad de aislar acústicamente el edificio. Para la obtención de un buen índice de aislamiento acústico en un elemento constructivo es importante que el material no presente fisuras ni pasos de aire. La solución constructiva concreta para esta tipología de fachadas consiste en un panel sándwich realizado “in situ”, formado por dos chapas de acero (de 5mm cada una) con un tratamiento de pintura y con un núcleo de fibra de vidrio de 5cm de espesor.

*Fachada de hormigón prefabricado*

Las fachadas de hormigón prefabricado están constituidas por placas de hormigón conformadas en taller, y por tanto, estandarizadas. Tal y como salen las placas de hormigón de la fábrica son colocadas en la obra con la ayuda de una grúa (a causa de su elevado peso), una al lado de otra.

Las ventajas que presentan estas fachadas es que, a priori, tienen un bajo coste, inferior al de las fachadas moldeadas in situ, se ahorra tiempo en la puesta en obra, la organización y control de la obra son más eficaces, el producto es de mejor calidad debido al control que se le realiza en fábrica y tienen una gran flexibilidad en el diseño.

*Fachada de obra de fábrica, bloque cerámico obra vista*

Las fachadas de obra de fábrica pueden estar constituidas de bloques cerámicos, bloques de hormigón o piedra natural, unidos mediante algún tipo de mortero. Esta tipología de construcción no es exclusiva de las fachadas, también se utiliza en cerramientos interiores.

Este tipo de fachada puede usarse como muro de carga o como cerramiento simple. Una de las características más interesantes de este elemento es su elevada resistencia al fuego. Para el estudio se han utilizado los bloques cerámicos perforado (geros) en su versión de obra vista (acabado superficial exterior fino), unidos mediante mortero de cemento.

*Fachada de obra de fábrica, bloque cerámico con acabado superficial*

Esta solución constructiva es muy parecida a la anterior pero incorpora un acabado superficial exterior (monocapa con acabado raspado). Gracias a este acabado superficial, no es necesario que los bloques cerámicos utilizados posean un acabado de obra vista, viéndose reducido su coste y aumentadas sus dimensiones.

*Fachada de obra de fábrica, bloque de hormigón*

La fachada de obra con bloques de hormigón es muy parecida, en cuanto a su ejecución se refiere, con la de bloques cerámicos. En este caso los bloques no son de arcilla sino que están compuestos de hormigón.

A priori, la construcción con bloques de hormigón es más rápida (al ser más grandes los bloques). Su mayor tamaño puede repercutir en menor coste de obra al necesitar menos tiempo para realizar la fachada.

*Fachada de muro cortina*

El muro cortina se basa en un entramado metálico, normalmente de aluminio, sobre el cual se colocan las piezas de vidrio. El conjunto se sujeta exteriormente a la estructura y queda fuera del edificio.

Las características principales son su bello acabado estético, su elevado precio, la colocación de los vidrios y entramadas tiene que realizarse desde el exterior del edificio, y normalmente son usados para fachadas de edificios destinados a oficinas. Para este capítulo se ha trabajado con cristales de cámara de 4+6+4.

#### *Fachada de material compuesto de panel con núcleo de poliuretano*

Una opción de mercado en la construcción de fachadas usando los MC, son los paneles compuestos por dos pieles de poliéster reforzado con fibra de vidrio, con un núcleo aislante de poliuretano de 5cm.

Este tipo de paneles pueden ser usados en paredes, forjados y cubiertas, y suelen utilizarse actualmente en cerramientos de antenas de televisión, radio, y radar, en cerramientos de equipos eléctricos, en zonas de operaciones de procesos químicos y papeleros, y edificios modulares en general (ver figura 8.1).

Para su aplicación en fachadas precisa de una estructura auxiliar, solución parecida a los paneles metálicos. Esta estructura auxiliar se ha realizado usando perfiles ERM.



**Figura 8.1. Detalle de colocación de panel de material compuesto con núcleo de poliuretano**

#### *Fachada de material compuesto de panel alveolar*

Otra solución constructiva para fachadas, es la formada a base de paneles alveolares de material compuesto. Consisten en paneles alveolares unidos mediante conectores. Estos conectores facilitan que su montaje sea muy sencillo y rápido. Permiten una gran variedad de combinaciones al existir diferentes tipos de conectores con distintos ángulos. Las características técnicas son similares al panel de la solución anterior, pero el panel alveolar, al no tener núcleo aislante, presenta un aislamiento térmico sensiblemente inferior. De todas maneras la diferencia es pequeña debido a que incluye una cámara de aire en los alvéolos, y el grosor seleccionado es de 10cm. Esta solución no precisa de estructura auxiliar (paneles autoportantes).



Figura 8.2. Detalle de panel alveolar de material compuesto

### 8.2.2. Comparación de tiempos para el ciclo de vida de las soluciones constructivas estudiadas para las fachadas de edificios industriales.

En este apartado se realiza el estudio de tiempos de las distintas soluciones constructivas consideradas para fachadas. Para ello, al igual que se ha realizado para el sistema estructural en el capítulo 7, se tienen en cuenta todos los tiempos que desde un punto de vista de construcción afectan a la vida útil de un edificio industrial. Así se tiene en cuenta el tiempo de ejecución de la construcción, el tiempo de mantenimiento (en caso de existir), y el tiempo de desconstrucción cuando el edificio ha llegado al final de su ciclo de vida, incluyendo el transporte necesario para una correcta gestión de residuos posterior (revalorización).

Se ha utilizado la base de datos del ITEC. Las subactividades principales consideradas para el análisis de las 10 tipologías de fachadas estudiadas son las siguientes:

#### FASE 1. Encargo y compra de material

- Encargo y compra de materiales necesarios para la realización de las distintas soluciones de fachadas.
- Transporte de estos materiales hasta la obra.

#### FASE 2. Construcción edificio (según la solución concreta)

- Montaje estructura auxiliar.
- Colocación de elementos prefabricados de fachada (chapas, paneles, etc.)
- Formación de fachadas con elementos discretos in situ (bloques cerámicos, de hormigón, etc.)
- Realización de revestimientos.
- Sellados de estanqueidad necesarios.

#### FASE 3. Desconstrucción edificio

- Desconstrucción o demolición (según el caso) de la fachada.
- Desplazamiento material residual a planta de reciclaje o vertedero autorizado según el caso.

Se ha considerado que el transporte de material abarca una distancia media de 20 km. Los tiempos obtenidos para cada tipología de fachada se pueden observar en la tabla 8.1.

Tabla 8.1. Resumen de resultados de cálculos de tiempos para fachadas.

COMPARACION DE TIEMPOS EN FACHADAS (por m2 de fachada)						
	Construcción	Ud.	Desconstrucción y transporte	Ud.	TOTAL	Ud.
Metálica simple	0,125	h.	0,069	h.	0,194	h.
Sándwich de metal y fibra de vidrio	0,215	h.	0,120	h.	0,335	h.
Sándwich de metal y poliuretano	0,155	h.	0,110	h.	0,265	h.
Hormigón prefabricado	<b>0,070</b>	h.	0,048	h.	<b>0,118</b>	h.
Bloque cerámico obra vista	<b>0,578</b>	h.	0,067	h.	<b>0,645</b>	h.
Bloque cerámico con acabado superficial	0,523	h.	0,072	h.	0,595	h.
Bloque de hormigón	0,245	h.	0,066	h.	0,311	h.
Muro cortina	0,377	h.	<b>0,226</b>	h.	0,603	h.
MC núcleo de poliuretano	0,135	h.	0,080	h.	0,215	h.
MC panel alveolar	0,093	h.	<b>0,045</b>	h.	0,138	h.

Se adjuntan gráficas comparativas de los tiempos entre las distintas soluciones constructivas de fachadas estudiadas. Estas se han realizado para la fase de construcción (figura 8.3), la fase de desconstrucción (figura 8.4), y la suma de ambas fases (tiempo total) (figura 8.5).

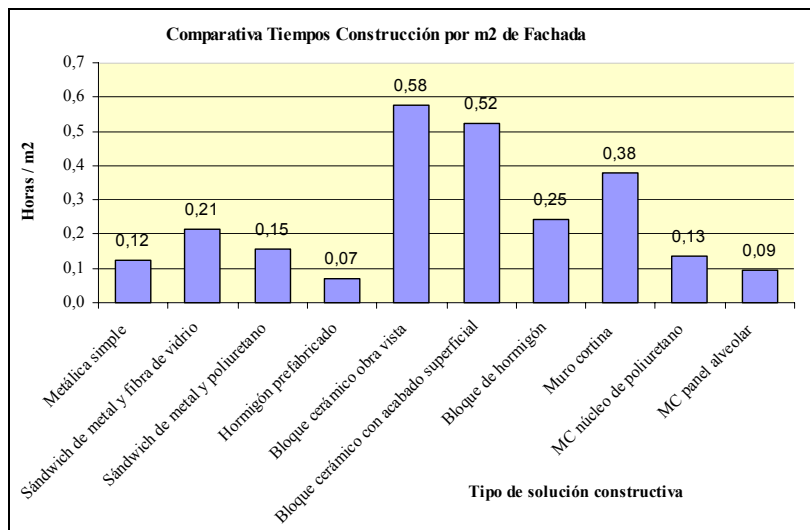


Figura 8.3. Gráfico comparativo de tiempos de construcción para fachadas.

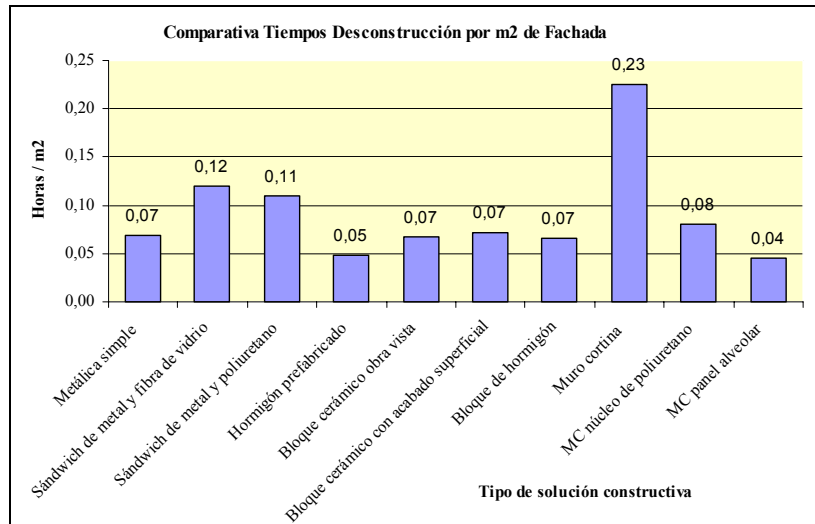


Figura 8.4. Gráfico comparativo de tiempos de desconstrucción para fachadas.

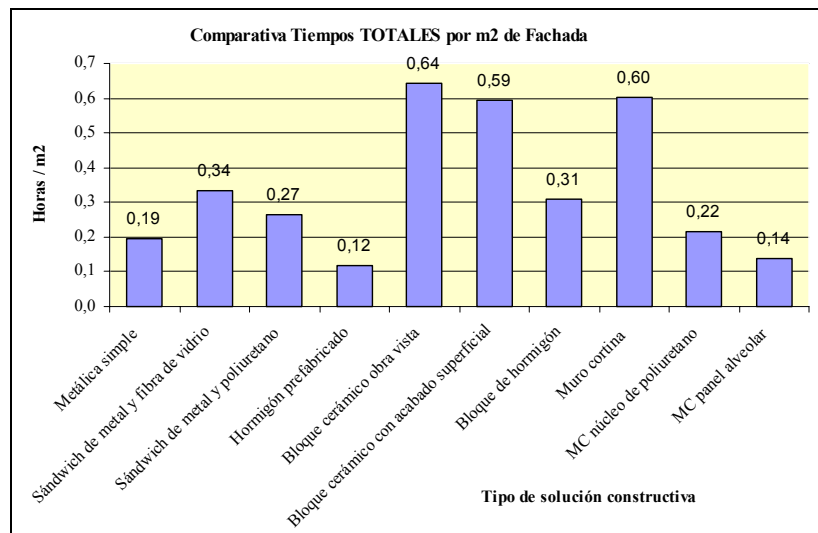


Figura 8.5. Gráfico comparativo de tiempos totales para fachadas.

*Discusión de resultados*

De las figuras 8.3 y 8.4 se deduce que las soluciones que presentan menores tiempos son la fachada de paneles prefabricados de hormigón, para la fase de construcción, y la fachada de paneles alveolares de MC para la desconstrucción. Por el otro lado se encuentran las fachadas de bloque cerámico acabado de obra de vista, para la fase de construcción, y la fachada acristalada muro cortina para la fase de desconstrucción.

En las sumas de totales de tiempo (construcción + desconstrucción), indicadas en la figura 8.5, se concluye que la mejor tipología de fachada es la de hormigón prefabricado, mientras que la peor (en cuanto a tiempos se refiere), es la de bloque cerámico acabado de obra de vista. Por lo que se respecta a las soluciones de MC, destacar los paneles alveolares de MC, los cuales son la segunda mejor solución a muy poca distancia de la primera. La opción de paneles sándwich de MC con núcleo de poliuretano requiere de un tiempo sensiblemente superior, aunque relativamente bajo comparado con el resto de soluciones.

Como conclusión general se puede indicar que la fachada de hormigón prefabricado presenta una ligera ventaja frente a los paneles alveolares de MC, en cuanto a tiempo de construcción, mientras que en el tiempo de desconstrucción se invierten las tendencias. Ello implica que las diferencias en los tiempos totales sean muy pequeñas, sobretodo comparado con las diferencias con el resto de soluciones constructivas para fachadas. El buen comportamiento de los MC es debido a su ligereza, facilitando en gran medida su montaje y desmontaje. Esta última afirmación se contradice con el hecho de que la solución constructiva que presenta menor tiempo global es la de hormigón prefabricado. Esta precisamente no se caracteriza por pesos reducidos, sino todo lo contrario. La explicación es que esta solución se encuentra muy industrializada y avanzada en cuanto a sistema de montaje se refiere. Su problema reside en que precisa de maquinaria pesada tanto para el transporte como para el montaje, lo que limita su uso en zonas donde sea difícil el acceso de este tipo de maquinaria.

### **8.2.3. Comparación de costes para el ciclo de vida de las soluciones constructivas estudiadas para fachadas de edificios industriales.**

En este apartado se realiza el estudio comparativo de costes para las distintas soluciones de fachadas consideradas. Para ello, al igual que para el sistema estructural desarrollado en el capítulo 7, se tienen en cuenta todos los costes que desde un punto de vista de construcción tienen importancia en la vida útil del edificio. Así se considera el coste de los materiales necesarios en obra (incluido el transporte), el coste de la ejecución física de la construcción, el coste de mantenimiento (en caso de existir), y el coste de la desconstrucción cuando el edificio ha llegado al final de su ciclo de vida, incluyendo el transporte necesario y el coste de una correcta gestión de residuos posterior (revalorización).

Todos estos costes se calculan en las distintas soluciones estudiadas, permitiendo una comparación entre ellos. Las fuentes utilizadas son la base de datos del ITEC (tiempos y costes económicos) y distintas casas comerciales fabricantes de los materiales necesarios.

Las fases y subactividades consideradas para el análisis de costes de las 10 tipologías de fachadas estudiadas, son las mismas que las utilizadas en el apartado anterior de tiempos (8.2.2). Con todo ello se han obtenido los costes medios por metro cuadrado para cada fachada, indicados en la tabla 8.2.

En la figura 8.6 se muestra la gráfica comparativa de los costes de compra del material. En la figura 8.7 se muestra la gráfica de costes de la fase de construcción (sin considerar el coste del material). En la figura 8.8 la gráfica incluye la suma de los costes de compra y los costes de construcción. Esta suma es lo que realmente cuesta el edificio en sí (lo que debe pagar el propietario). Además, dentro de estos últimos costes se ha introducido el coste del mantenimiento de las fachadas (casi menospreciable dentro del conjunto), considerando una vida útil de 30 años para el edificio industrial. En la figura 8.9 se aprecia la comparativa para los costes de desconstrucción, mientras que en la figura 8.10 se observa la gráfica comparativa para los costes totales del ciclo de vida del edificio para las distintas fachadas consideradas.



Tabla 8.2. Resumen de resultados de cálculos de costes para fachadas.

COMPARACION DE COSTES EN FACHADAS (por m2 de fachada)										
	Encargo y compra de material principal	Ud.	Construcción	Ud.	Suma de compra construcción +	Ud.	Desconstrucción y transporte	Ud.	TOTAL	Ud.
Metálica simple	16,97	€/m2	8,74	€/m2	25,71	€/m2	4,91	€/m2	<b>30,61</b>	h.
Sándwich de metal y fibra de vidrio	28,76	€/m2	13,80	€/m2	42,55	€/m2	7,65	€/m2	50,21	h.
Sándwich de metal y poliuretano	31,13	€/m2	15,91	€/m2	47,04	€/m2	9,49	€/m2	56,53	h.
Hormigón prefabricado	50,08	€/m2	6,22	€/m2	56,30	€/m2	5,71	€/m2	62,01	h.
Bloque cerámico obra vista	14,03	€/m2	26,36	€/m2	40,38	€/m2	30,11	€/m2	70,49	h.
Bloque cerámico con acabado superficial	<b>5,14</b>	€/m2	31,73	€/m2	36,87	€/m2	<b>30,18</b>	€/m2	67,06	h.
Bloque de hormigón	13,88	€/m2	10,97	€/m2	<b>24,85</b>	€/m2	29,22	€/m2	54,07	h.
Muro cortina	<b>259,66</b>	€/m2	<b>36,40</b>	€/m2	<b>296,05</b>	€/m2	22,51	€/m2	<b>318,57</b>	h.
MC núcleo de poliuretano	36,83	€/m2	9,48	€/m2	46,30	€/m2	6,18	€/m2	52,49	h.
MC panel alveolar	22,74	€/m2	<b>5,32</b>	€/m2	28,06	€/m2	<b>3,91</b>	€/m2	31,98	h.

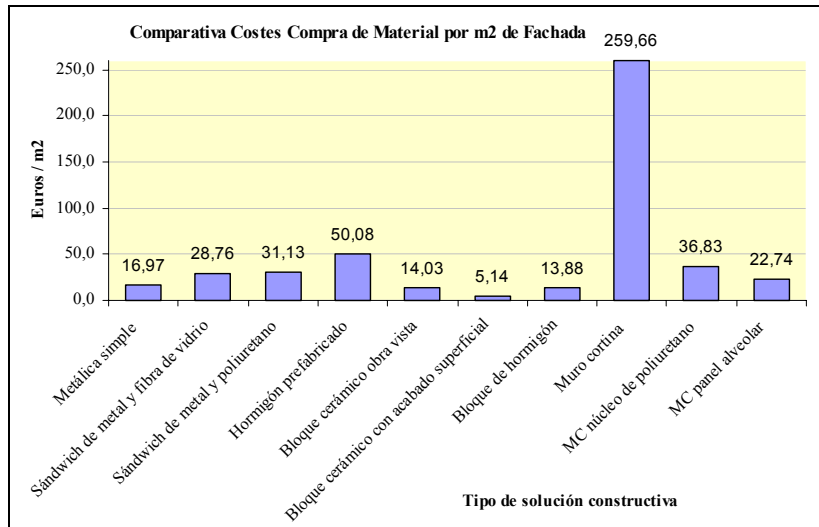


Figura 8.6. Gráfico comparativo de costes de compra de material para fachadas.

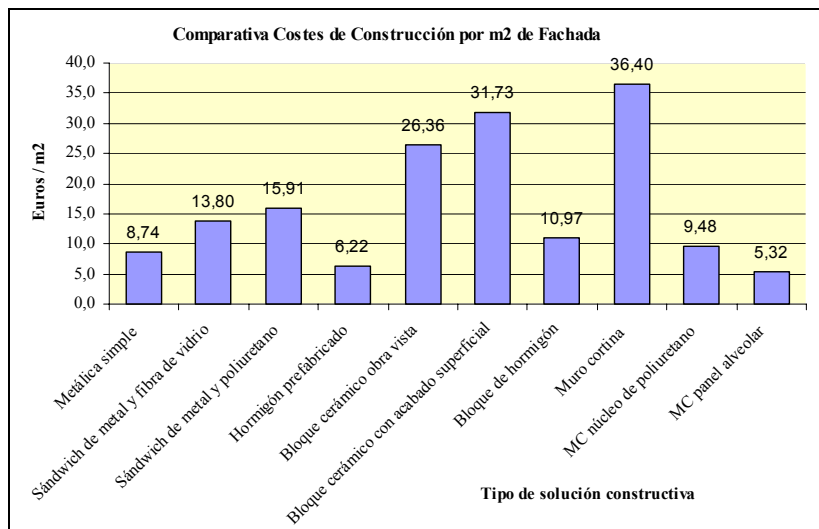


Figura 8.7. Gráfico comparativo de costes de construcción para fachadas.

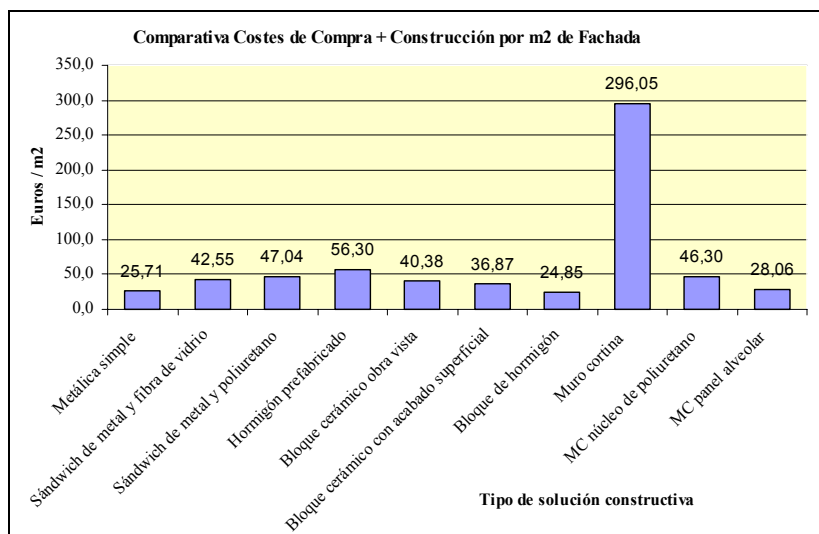


Figura 8.8. Gráfico comparativo de costes de compra + construcción para fachadas.

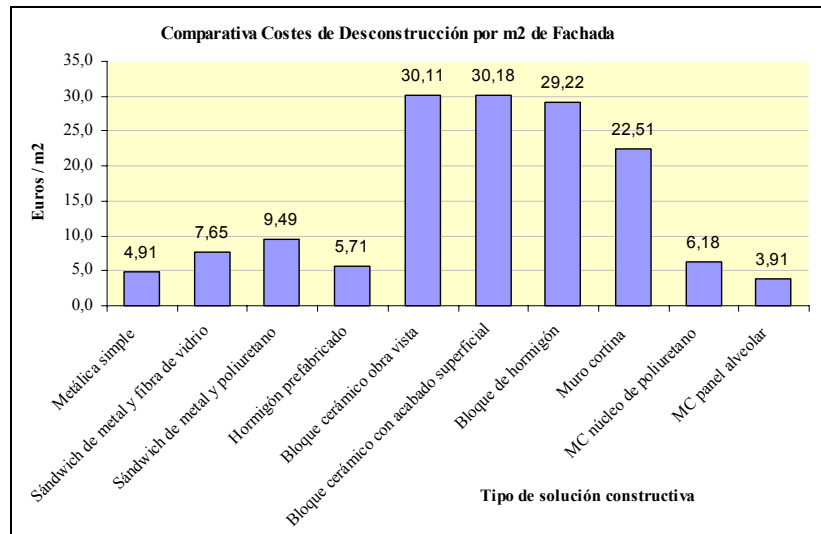


Figura 8.9. Gráfico comparativo de costes de desconstrucción para fachadas.

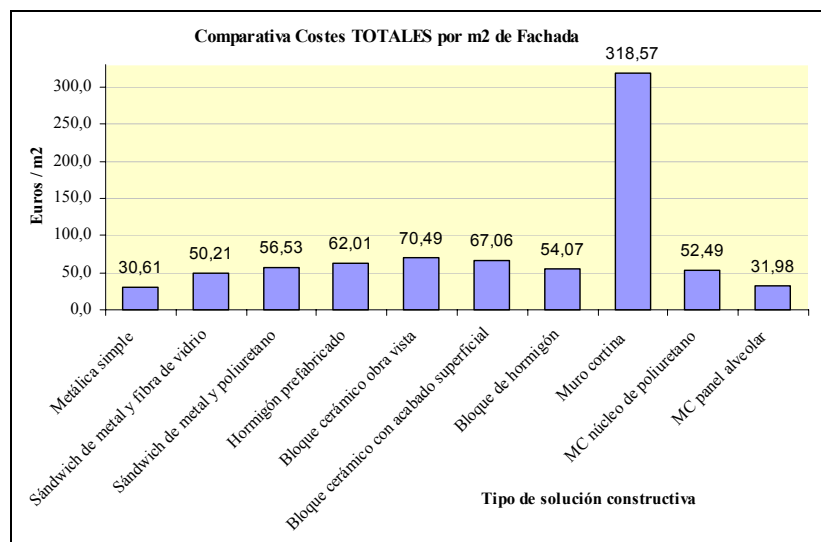


Figura 8.10. Gráfico comparativo de costes totales para fachadas.

*Discusión de resultados*

De las tablas y gráficas anteriores se extrae que en cuanto al coste de compra se refiere, la solución más económica es la de bloque cerámico con acabado superficial. En el otro extremo está la fachada formada por muro cortina, la cual se dispara de coste de compra. Detrás de esta, a una distancia considerable se encuentra la fachada de hormigón prefabricado.

Por lo que respecta a la fase de construcción, destacar que igualmente la opción menos económica sigue siendo el muro cortina, seguida del bloque cerámico con acabado superficial. En cambio, la solución más económica es la de panel alveolar de MC. Si se observa la suma de los dos costes mencionados hasta el momento (figura 8.8), sigue destacando por encima el muro cortina seguido a una gran distancia por el hormigón prefabricado. Por debajo destacar la fachada de bloque de hormigón, seguida muy de cerca por la metálica simple y el panel alveolar de MC.

Para la fase de desconstrucción destacan los costes elevados de las fachadas de bloques (cerámicos o de hormigón), mientras que el coste menor es para la fachada de panel alveolar de MC. Añadiendo estos costes a los de construcción y compra, se obtienen los costes totales en el ciclo de vida de una fachada. Para este caso, la peor fachada, desde un punto de vista económico, es la fachada muro cortina, seguida por la de bloque cerámico con acabado de obra vista. Las mejores fachadas son la metálica simple y la de panel alveolar de MC. Ambas presentan valores muy parecidos y a una distancia considerable respecto al resto de soluciones. Como que la fachada de chapa metálica simple se descarta por no cumplir con las exigencias mínimas de aislamiento térmico, se puede afirmar que la fachada de paneles alveolares de MC es la más adecuada desde un punto de vista económico en el conjunto del ciclo de vida del edificio.

#### **8.2.4. Comparación de la seguridad en obra para el ciclo de vida de las soluciones constructivas estudiadas para fachadas de edificios industriales.**

La siguiente comparación a realizar es la de seguridad de la aplicación en obra de las distintas soluciones consideradas para las fachadas. Para ello se han seguido los mismos pasos que los realizados para el sistema estructural, centrandó el estudio en las fases de construcción y de desconstrucción.

Para analizar la seguridad en la construcción se ha utilizado el método FINE modificado, con las adaptaciones explicadas en el capítulo 7. Con él se encuentran las magnitudes de riesgo asociadas a cada actividad concreta, permitiendo estos valores una comparación relativa entre distintas soluciones constructivas. Los riesgos considerados para la aplicación del método FINE son los identificados por el INSHT, listados en el capítulo 7.

Los valores medios de magnitud de riesgo resultantes por metro cuadrado de fachada, se indican en la tabla 8.3. En las figuras 8.11, 8.12 y 8.13, se muestran gráficas comparativas de la magnitud de riesgo entre las distintas soluciones de fachadas estudiadas para la fase de construcción, para la fase de desconstrucción, y para la suma de ambas fases, respectivamente.

Tabla 8.3. Resumen de resultados de magnitud de riesgo para fachadas.

COMPARACION DE MAGNITUD DE RIESGO EN FACHADAS (por m2 de fachada)						
	Construcción	Ud.	Desconstrucción y transporte	Ud.	TOTAL	Ud.
Metálica simple	0,191	Ud.	0,307	Ud.	0,498	Ud.
Sándwich de metal y fibra de vidrio	0,351	Ud.	0,537	Ud.	0,888	Ud.
Sándwich de metal y poliuretano	0,213	Ud.	0,379	Ud.	0,591	Ud.
Hormigón prefabricado	0,084	Ud.	0,128	Ud.	0,211	Ud.
Bloque cerámico obra vista	<b>0,952</b>	Ud.	0,284	Ud.	1,236	Ud.
Bloque cerámico con acabado superficial	0,684	Ud.	0,304	Ud.	0,988	Ud.
Bloque de hormigón	0,389	Ud.	0,271	Ud.	0,660	Ud.
Muro cortina	0,555	Ud.	<b>0,848</b>	Ud.	<b>1,403</b>	Ud.
MC núcleo de poliuretano	0,174	Ud.	0,289	Ud.	0,462	Ud.
MC panel alveolar	<b>0,090</b>	Ud.	<b>0,120</b>	Ud.	<b>0,210</b>	Ud.

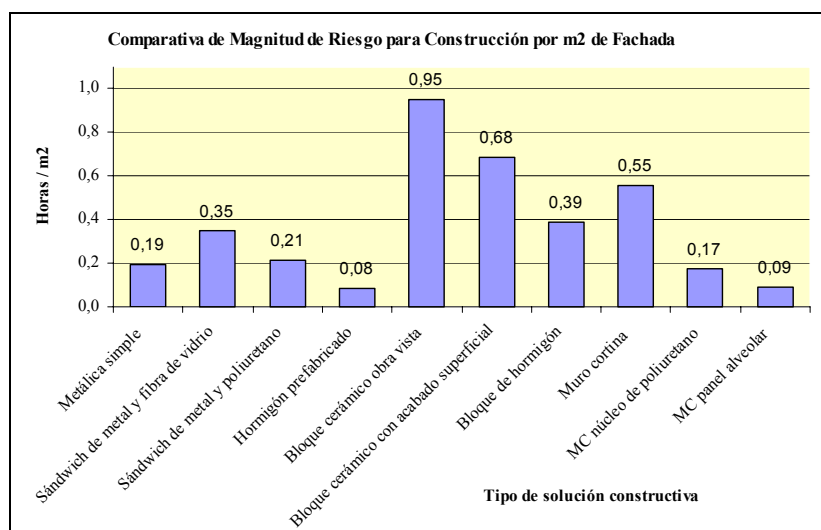


Figura 8.11. Gráfico comparativo de magnitud de riesgo de construcción para fachadas.

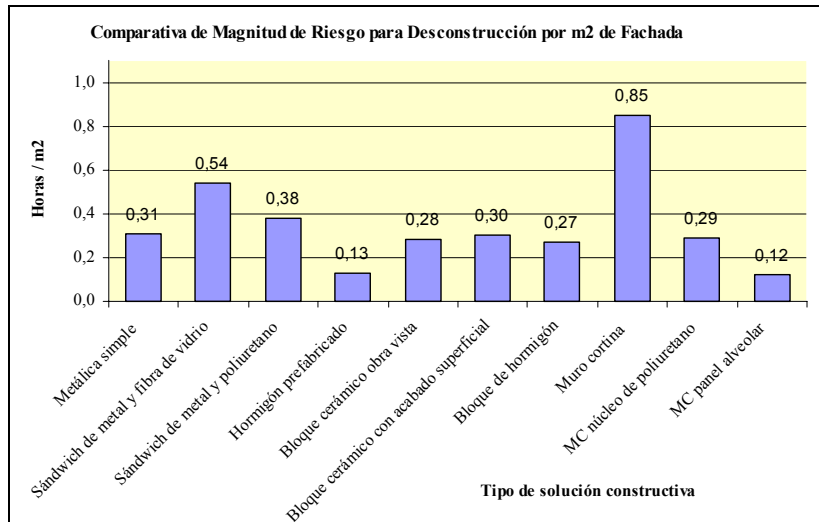


Figura 8.12. Gráfico comparativo de magnitud de riesgo de desconstrucción para fachadas.

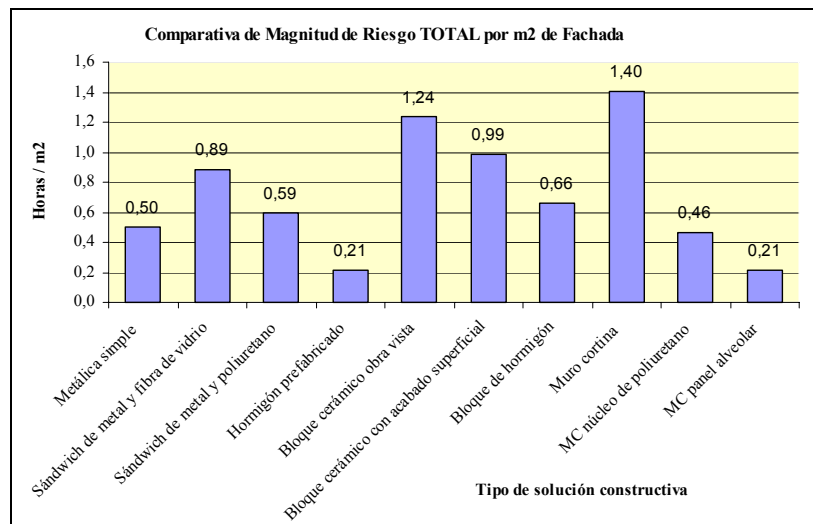


Figura 8.13. Gráfico comparativo de magnitud de riesgo total para fachadas.

### Discusión de resultados

En el gráfico comparativo para la fase de construcción (figura 8.11), se extrae que la tipología de fachada que presenta una mayor magnitud de riesgo, en esta fase, es la fachada de bloque cerámico con acabado de obra vista. Por el otro extremo se encuentran las fachadas de hormigón prefabricado y panel alveolar de MC.

Para la fase de desconstrucción (figura 8.12), las soluciones con magnitud de riesgo menores siguen siendo las mismas (hormigón prefabricado y panel alveolar de MC), mientras que la que presenta una magnitud de riesgo mayor es la de muro cortina, seguida a cierta distancia por a fachada sándwich con fibra de vidrio.

Sumando los resultados de ambas fases (figura 8.13), se puede apreciar que la fachada formada por paneles alveolares de MC es la que presenta una menor magnitud de riesgo a lo largo de su vida útil, seguida muy de cerca por la fachada de placas de hormigón prefabricado. En cambio, la peor tipología de fachada, en cuanto a magnitud de riesgo, es el muro cortina seguida de cerca por la fachada de bloque de hormigón con acabado en obra vista.

Desglosando las magnitudes de riesgo obtenidas por el método FINE modificado, se concluye que los factores más influyentes en el valor final son el tiempo de ejecución de cada actividad, sobretodo el trabajo en altura, y el trabajo con cargas elevadas. Ello implica que si se consigue industrializar la aplicación de soluciones de MC para fachadas de edificios industriales, su tiempo de ejecución se puede ver reducido, mejorando todavía más sus resultados desde un punto de vista de seguridad en el trabajo.

#### **8.2.5. Comparación del impacto medioambiental para el ciclo de vida de las soluciones constructivas estudiadas para fachadas de edificios industriales.**

En este apartado se realiza un estudio comparativo de los impactos medioambientales producidos por las fachadas estudiadas, a lo largo de la vida útil del edificio industrial. El estudio comparativo abarca todas las fases de la vida útil del edificio industrial, desde su construcción (añadiendo el impacto intrínseco de los materiales en sí) hasta su desconstrucción (incluyendo los impactos medioambientales del reciclaje o disposición final de residuos). Se valoran y estudian las soluciones aplicadas en la actualidad, sin entrar a valorar que pasaría con hipotéticas soluciones futuras que se están desarrollando.

El procedimiento seguido es el mismo que el aplicado para elementos estructurales del capítulo 7. Así pues, se aplica el análisis del Ciclo de Vida (ACV) con las fases e impactos medioambientales definidos en el capítulo anterior. De la misma manera, se trabaja con el edificio ficticio definido a partir de los valores medios del edificio tipo descrito en el capítulo 6.

Para todas las fases del ACV consideradas y para las 10 tipologías de fachadas estudiadas, ha sido necesario el realizar un desglose completo de todos los inputs y outputs del sistema.

Una vez obtenidos todos los datos necesarios e introducidos en el análisis del ciclo de vida de cada solución constructiva, se obtienen los resultados agrupados en la tabla 8.4, mostrándolos de manera individualizada y gráfica en el Anexo II.

Tabla 8.4. Resumen de resultados para impactos estudiados en ACV para fachadas.

Caracterización (%)	Hormigón prefabricado	MC, núcleo poliuretano	MC, panel simple	Metálica simple	Sándwich, poliuretano	sándwich fibra de vidrio	Muro cortina	Bloque cerámico, sup.	Bloque cerámico	Bloque hormigón
Calentamiento global	5	1	3	3	26	26	10	12	12	0
Formación de niebla tóxica	0	0	0	0	0	0	98	1	0	1
Acidificación	0	0	1	0	0	0	97	0	0	0
Eutrofización	0	0	0	0	0	0	98	1	0	1
Salud humana, cáncer	0	1	0	0	87	0	0	11	0	0
Salud humana	0	6	2	4	47	27	5	9	0	0
Agentes cont., salud humana	14	0	0	0	3	3	23	1	1	55
Ecotoxicidad	0	42	2	15	10	21	1	18	0	1
Consumo de combustible	28	0	0	16	1	0	13	21	20	0
Ocupación	15	3	4	0	3	1	0	15	15	42
Deterioramiento capa de ozono	-	-	-	33	35	33	-	-	-	-
Uso de agua	3	0	1	0	0	0	0	47	47	2

Aplicando el método del Valor Técnico Ponderado, explicado en el capítulo 7, se realiza una comparación global para las diferentes tipologías de fachadas en relación a los impactos ambientales considerados. Los pesos asignados a cada impacto y sus justificaciones se indican seguidamente:

- **Calentamiento global**

Los valores más altos se encuentran en la fabricación de los materiales cerámicos y en el transporte de materiales. Su valor es considerable. Peso (g) = 9

- **Formación de niebla tóxica**

Los óxidos de nitrógeno que se emiten mayoritariamente en el proceso de fabricación del vidrio y en el reciclaje del aluminio son los más influyentes. Las cantidades de estas emisiones son elevadas en la fachada de muro cortina. Peso (g) = 7

- **Acidificación**

Las sustancias que afectan a este factor son los principalmente los NHx en el proceso de fabricación del vidrio y en el reciclaje del aluminio. No son emisiones demasiado elevadas en comparación al peso de la fachada. Peso (g) = 5

- **Eutrofización**

En este caso también afectan los óxidos de nitrógeno en la fabricación y reciclaje del vidrio y el aluminio en la fachada muro cortina. Peso (g) = 8



- Salud humana, cáncer

Las emisiones que elevan más los porcentajes obtenidos son las de pentano que se emiten en la fabricación del poliuretano. La cantidad de estas emisiones se considera media. Peso (g) = 4

- Salud humana

En este caso también se debe a las emisiones de pentano en la fabricación del poliuretano, con un valor considerado medio. Peso (g) = 5

- Agentes contaminantes, salud humana

Los valores más altos son debidos a las emisiones de NOx en el reciclaje del aluminio del muro cortina y la emisión de polvo en la formación de cemento para el hormigón. Peso (g) = 3

- Ecotoxicidad

Valores debidos a las emisiones de pentano en la fabricación del poliuretano, Al ser un valor tan pequeño el peso que le damos es bajo. Peso (g) = 3

- Consumo de combustible

En las etapas donde se consume mayor cantidad de combustible son las de fabricación de elementos cerámicos, el reciclaje del hormigón y en el transporte de materiales. Los valores son bastante importantes. Peso (g) = 9

- Ocupación

La mayoría de los valores que aumentan los porcentajes en cada elemento constructivo son ocasionados en la etapa de deposición en el vertedero principalmente y en la extracción y fabricación de los materiales. A este factor se le da un peso considerable al tener tanta importancia hoy en día. Peso (g) = 6

- Deterioro de la capa de ozono

Los valores son debidos a las emisiones a la atmósfera de bromo en la fabricación de pintura. Se trata de cantidades pequeñas. Peso (g) = 4

- Uso de agua

Valor debido sobretodo a la fabricación de los elementos cerámicos. Es un valor elevado en comparación al peso de las piezas. Peso (g) = 10

Aplicando los pesos definidos (g) y las calificaciones de cada impacto (P) obtenidas del ACV, se llega a los resultados recogidos en la tabla 8.5.

Tabla 8.5. Resultado del VTP sobre el ACV para el sistema fachadas.

Factores	Peso (g)	Metálica, sándwich, con poliuret.		Metálica, sándwich, con fibra vidrio		Metálica simple		Hormigón prefabric.		Bloque cerámico		Bloque cerámico, acabado sup.		Bloque hormigón		Muro cortina		Panel MC con núcleo poliuret.		Panel alveolar MC	
		P	pxg	P	pxg	P	pxg	P	pxg	P	pxg	P	pxg	P	pxg	P	pxg	P	pxg	P	pxg
Calentamiento global	8	26	208	26	208	3	24	5	40	12	96	12	96	0	0	10	80	1	8	3	24
F. Niebla tóxica	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	7	1	7	98	686	0	0	0	0
Acidificación	5	0	0	0	0	0	0	0	0	1	5	1	5	0	0	97	485	0	0	1	5
Eutrofización	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	8	1	8	98	784	0	0	0	0
Salud humana, cáncer	4	87	348	0	0	0	0	0	0	0	0	11	44	0	0	0	0	1	4	0	0
Salud humana	5	47	235	27	135	4	20	0	0	0	0	9	45	0	0	5	25	6	30	2	10
Agentes contaminante, S.H.	3	3	9	3	9	0	0	14	42	1	3	1	3	55	165	23	69	0	0	0	0
Ecotoxicidad	3	10	30	21	63	15	45	0	0	1	3	18	54	0	0	1	3	42	126	2	6
Consumo de combustible	9	1	9	0	0	16	144	28	252	20	180	21	189	0	0	13	117	0	0	0	0
Ocupación	6	3	18	1	6	0	0	15	90	15	90	15	90	42	252	0	0	3	18	4	24
Deterioro cada de ozono	4	35	140	33	132	33	132	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Uso de agua	10	0	0	0	0	0	0	3	30	47	470	47	470	2	20	0	0	0	0	1	10
<b>Suma (pxg)</b>	<b>72</b>		<b>997</b>		<b>553</b>		<b>365</b>		<b>454</b>		<b>847</b>		<b>1011</b>		<b>452</b>		<b>2249</b>		<b>186</b>		<b>79</b>
<b>VTP=</b>		<b>0,138</b>		<b>0,077</b>		<b>0,051</b>		<b>0,063</b>		<b>0,118</b>		<b>0,140</b>		<b>0,063</b>		<b>0,312</b>		<b>0,026</b>		<b>0,011</b>	

Los Valores Técnicos Ponderados de cada solución constructiva para fachadas se recogen en la tabla 8.6.

**Tabla 8.6. Resumen de resultados del VTP sobre el ACV para el sistema fachadas.**

Tipo de Fachada	VTP
Metálica, sándwich, con poliuretano	<b>0,138</b>
Metálica, sándwich, con fibra vidrio	<b>0,077</b>
Metálica simple	<b>0,051</b>
Hormigón prefabricado	<b>0,063</b>
Bloque cerámico	<b>0,118</b>
Bloque cerámico, acabado sup.	<b>0,140</b>
Bloque hormigón	<b>0,063</b>
Muro cortina	<b>0,312</b>
Panel MC con núcleo poliuretano	<b>0,026</b>
Panel alveolar	<b>0,011</b>

*Discusión de resultados*

De los resultados obtenidos, se puede observar que las soluciones constructivas basadas en MC, son las que menores impactos ambientales presentan (de las 10 soluciones estudiadas) a lo largo de toda su vida útil. La que posee un valor técnico ponderado más bajo es la tipología de fachadas mediante panel alveolar de MC. A esta solución la sigue a cierta distancia la fachada de panel de MC con núcleo de poliuretano. Para encontrar la siguiente solución, hay que realizar un salto en el VTP considerable, siendo las siguientes por orden la fachada metálica simple y los paneles de hormigón prefabricado. Por el otro extremo, la solución más perjudicial para el entorno (desde un punto de vista medioambiental) es el muro cortina, seguido de las fachadas formadas por bloque cerámico con acabado superficial.

Así pues, gracias al Análisis del Ciclo de Vida realizado, se llega a la conclusión que la mejor solución constructiva para fachadas es la formada por paneles alveolares de MC. En caso de precisar un aislamiento térmico superior al de la solución anterior, el escogido sería el panel de MC con núcleo de poliuretano. En el Anexo II se detallan todos los resultados y conclusiones parciales obtenidas en la aplicación del ACV para las fachadas en cada impacto ambiental, así como los gráficos explicativos pertinentes.

### 8.3. Estudio y comparación de soluciones para el sistema constructivo Cubiertas

En este apartado se realiza la comparación entre las distintas soluciones constructivas estudiadas para cubiertas de edificios industriales. La metodología de trabajo es la indicada en el apartado 8.1 de este mismo capítulo, dividiendo la comparación general en 4 aspectos diferenciados: tiempos, costes, seguridad e impacto medioambiental de cada solución.

Debido a la naturaleza del sistema constructivo estudiado, las comparaciones se realizan a partir de las repercusiones de los 4 aspectos a comparar por metro cuadrado de cubierta construida. De esta manera se consiguen generalizar las conclusiones extraídas.

Las fases en que se ha dividido la vida útil del sistema cubiertas, son las mismas que las aplicadas en el resto de sistemas constructivos estudiados (estructura y fachadas).

#### 8.3.1. Definición de soluciones constructivas a comparar

Se define el sistema constructivo cubierta como aquel conjunto de elementos que constituyen el cerramiento superior de los edificios. Este elemento está comprendido entre la superficie inferior del último tejado y el ambiente exterior.

La primera exigencia que tiene que satisfacer una cubierta es la de garantizar su propia estabilidad y resistencia mecánica. Esta tiene que soportar su propio peso y las acciones del viento, la lluvia y posibles sobrecargas de uso o de nieve. Además, debe proteger el edificio del ambiente exterior (lluvia, sol, cambios de temperatura, viento, etc.) Así pues, se tiene que construir favoreciendo la evacuación de las aguas y pensando en la protección del frío o calor. Otra de las funciones que desarrollan las cubiertas es la de aislar acústicamente. La selección de las tipologías de cubiertas se ha realizado considerando el cumplimiento de las disposiciones mínimas de la normativa térmica y acústica (NBE-CT 79 y NBE-CA 88).

Las cubiertas pueden ser transitables o no transitables y se dividen en cubiertas planas, inclinadas y curvas (Casals, 2004). El análisis que se realiza recoge las tipologías de cubiertas que se han considerado más comunes o significativas en la construcción industrial. Estas se listan a continuación:

- Cubierta plana tradicional
- Cubierta plana invertida
- Cubierta plana Deck invertida
- Cubierta inclinada tradicional
- Cubierta inclinada metálica sándwich de metal y poliuretano
- Cubierta inclinada metálica sándwich de metal y fibra de vidrio
- Cubierta inclinada metálica simple
- Cubierta inclinada de material compuesto

### *Cubierta plana tradicional*

Se consideran cubiertas planas todas aquellas en las que la pendiente es inferior al 5%. El principal atractivo que ofrecen estas cubiertas es el uso posterior que se puede hacer de ellas. Algunas se utilizan como terrazas, otras para el paso y/o aparcamiento de vehículos, para poner maquinaria o instalaciones del edificio, etc.

Las cubiertas planas tradicionales pueden ser transitables o no transitables, dependiendo de si permiten la circulación de personas en general, son intransitables si solo permiten su accesibilidad para su propio mantenimiento.

La cubierta plana tradicional concreta considerada, está formada (del exterior al interior) por:

- pavimento superficial (baldosas cerámicas)
- mortero de cemento (agarre de baldosas)
- membrana impermeabilizante (tela asfáltica)
- aislamiento térmico (poliuretano)
- barrera de vapor (polietileno de baja densidad)
- hormigón ligero (formación de pendiente)

### *Cubierta plana invertida*

La cubierta plana invertida es aquella en que se han invertido el orden de sus componentes respecto de las soluciones convencionales o tradicionales, colocando la membrana impermeabilizante debajo del aislamiento térmico. Esta solución acostumbra a implicar el uso de grava como acabado superficial, y por tanto es necesario el proteger la membrana impermeabilizante con el aislante térmico puesto encima.

La cubierta plana invertida considerada está formada (del exterior al interior) por:

- grava (canto rodado)
- aislamiento térmico (poliuretano extrusionado)
- membrana impermeabilizante (PVC)
- mortero de cemento (para afinar pendientes)
- hormigón ligero (formación de pendiente)

### *Cubierta plana Deck invertida*

Las cubiertas Deck son aquellas en las que el soporte está formado por chapas metálicas. Pueden ser tradicionales o invertidas, en función del orden de colocación de las diferentes capas que lo componen.

La cubierta plana Deck considerada en este capítulo es invertida y formada (del exterior al interior) por:

- grava (canto rodado)
- aislamiento térmico (poliuretano extrusionado)
- membrana impermeabilizante (PVC)
- soporte base (chapa metálica nervada)

### *Cubierta inclinada tradicional*

Las cubiertas inclinadas son todas aquellas en las que la pendiente es superior a un 5%. Este tipo de cubiertas no son transitables. La cubierta inclinada tradicional es la construida a partir de tejas cerámicas, de tejas de hormigón, de pizarra, etc. Las cubiertas de tejas cerámicas y de hormigón están formadas por elementos repetitivos, que colocados en pendiente y mediante mecanismos de solape, presentan una buena estanqueidad

al agua. Para esta Tesis se trabaja con tejas cerámicas, sobre una solera de placas de hormigón y con placas de poliuretano como aislamiento térmico.

#### *Cubierta inclinada metálica simple*

Las cubiertas inclinadas metálicas están formadas por paneles de chapa metálica grecada unidos entre ellos, y colocados directamente sobre la estructura de cubierta (correas) del edificio (fijándose mecánicamente). Las características más importantes son su bajo peso, la rapidez de montaje y su bajo mantenimiento. Estas cubiertas admiten la incorporación en la cubierta de superficies translúcidas o transparentes, puntuales o continuas.

Este tipo de cubierta no aísla térmicamente ni acústicamente, lo que acostumbra a suponer una limitación muy importante de cara a su uso en edificios industriales. Aún y así se ha querido introducir esta solución en el estudio para poder comparar sus resultados, aunque en la práctica no resulte viable su aplicación a edificios de uso principalmente industrial.

#### *Cubierta inclinada metálica sándwich de metal y poliuretano*

Las cubiertas inclinadas metálicas sándwich están formadas por dos planchas metálicas con un núcleo aislante. La tipología concreta utilizada en esta Tesis Doctoral es la conformada por dos chapas de acero (de 5mm cada una) con un tratamiento de pintura y con un núcleo de poliuretano de 5cm de espesor. El conjunto llega a obra montado, panel prefabricado.

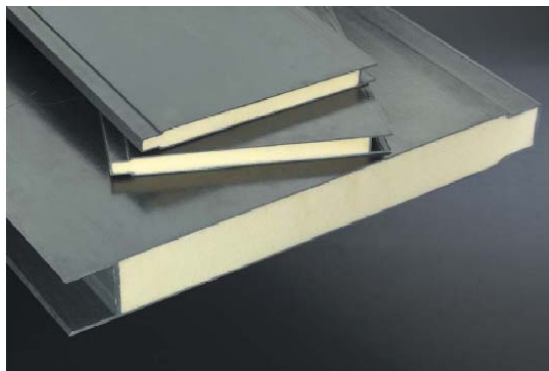
#### *Cubierta inclinada metálica sándwich de metal y fibra de vidrio*

Este tipo de cubierta es similar a la anterior, también se trata de dos chapas metálicas con un núcleo, esta vez de fibra de vidrio que le confiere una mejora sensible en la propiedad de aislar acústicamente el edificio.

La cubierta con la cual se ha realizado el estudio en este capítulo, es la formada por dos chapas de acero (de 5mm cada una) con un tratamiento de pintura y con un núcleo de fibra de vidrio de 5cm de espesor. Todo ello montado en la misma obra, “in situ”.

#### *Cubierta inclinada de material compuesto*

En la construcción de cubiertas se puede utilizar materiales compuestos formados por dos pieles de poliéster reforzado con fibra de vidrio y con un núcleo aislante de poliuretano (5cm). El material compuesto de este tipo de paneles puede estar formado por fibra de vidrio y una resina de poliéster o de viniléster. Las características de este tipo de panel son las mismas que el descrito en el apartado de fachadas (8.2).



**Figura 8.14. Panel de PRFV con núcleo de poliuretano**

### **8.3.2. Comparación de tiempos para el ciclo de vida de las soluciones constructivas estudiadas para las cubiertas de edificios industriales.**

En este punto se realiza el estudio de tiempos de las distintas soluciones constructivas para cubiertas de edificios industriales consideradas. Para ello, al igual que para el resto de sistemas constructivos estudiados, se tienen en cuenta todos los tiempos que desde un punto de vista de construcción afectan a la vida útil de un edificio industrial.

La fuente de los datos utilizados para este estudio de tiempos, es la misma que para los casos anteriores, la base de datos suministrada por el ITEC. Las subactividades principales consideradas para el análisis de las 8 tipologías de cubiertas estudiadas son las siguientes:

#### FASE 1. Encargo y compra de material

- Encargo y compra de materiales necesarios para la realización de las distintas soluciones constructivas de cubiertas.
- Transporte de estos materiales hasta la obra.

#### FASE 2. Construcción de cubiertas (según la solución concreta)

- Formación de pendientes
- Colocación de barrera de vapor
- Colocación de aislamiento térmico
- Colocación de membrana impermeable
- Colocación de pavimento o grava superficial
- Colocación de elementos prefabricados de cubierta (chapas, paneles, etc.)
- Formación de cubiertas con elementos discretos in situ (tejas cerámicas, solera de placas de hormigón, etc.)

#### FASE 3. Desconstrucción cubierta

- Desconstrucción o demolición (según el caso) de la cubierta.
- Desplazamiento material residual a planta de reciclaje o vertedero autorizado según el caso.

Se ha tenido en cuenta que el transporte abarca una distancia media de 20 km. Con todo ello, se han obtenido los tiempos recogidos en la tabla 8.7 para cada tipología de cubierta. En las figuras 8.15, 8.16 y 8.17 se muestran las gráficas comparativas para la fase de construcción, la fase de desconstrucción y la suma de ambas fases, respectivamente para cubiertas.

Tabla 8.7. Resumen de resultados de tiempos para cubiertas.

COMPARACION DE TIEMPOS EN CUBIERTAS (por m2 de cubierta)						
	Construcción	Ud.	Desconstrucción y transporte	Ud.	TOTAL	Ud.
Plana tradicional	0,410	h.	0,504	h.	0,914	h.
Plana invertida	0,325	h.	0,357	h.	0,682	h.
Plana deck invertida	0,295	h.	0,277	h.	0,572	h.
Inclinada tradicional	0,375	h.	0,196	h.	0,571	h.
Inclinada metálica simple	0,085	h.	0,031	h.	0,116	h.
Inclinada sándwich de fibra de vidrio	0,225	h.	0,101	h.	0,326	h.
Inclinada sándwich de poliuretano	0,130	h.	0,103	h.	0,233	h.
Inclinada de MC	0,125	h.	0,081	h.	0,206	h.

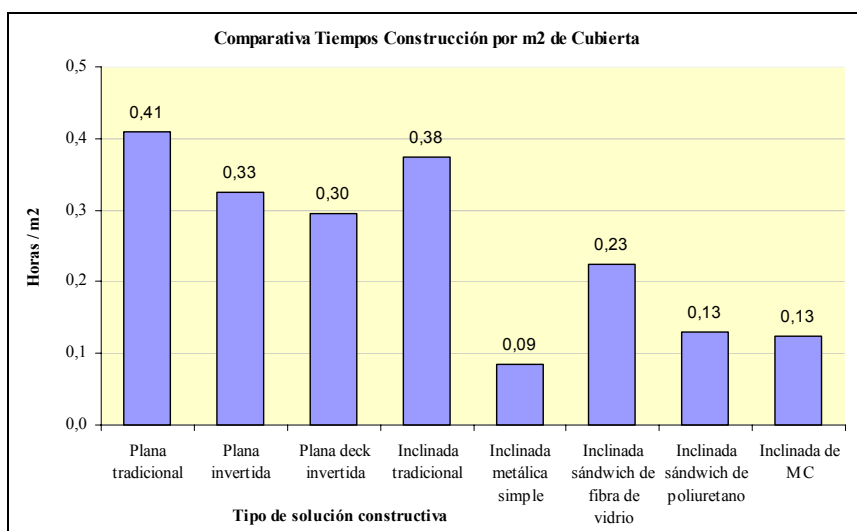


Figura 8.15. Gráfico comparativo tiempos de construcción para cubiertas.



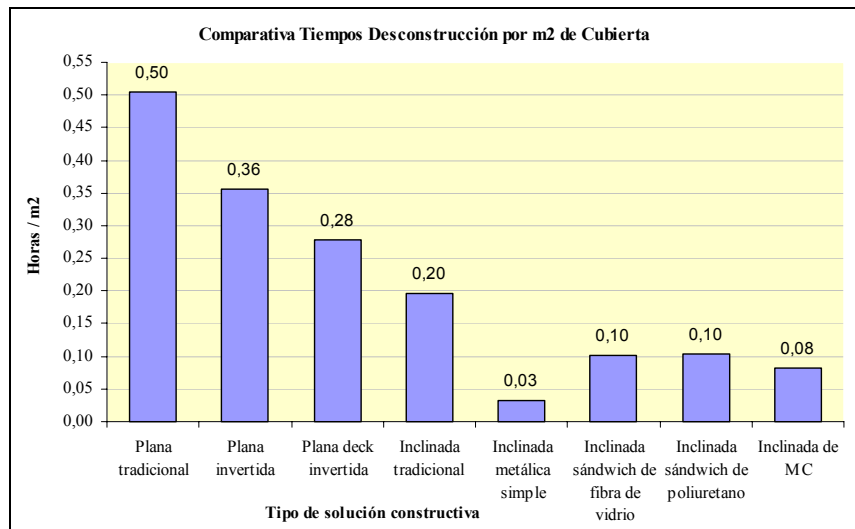


Figura 8.16. Gráfico comparativo tiempos de desconstrucción para cubiertas.

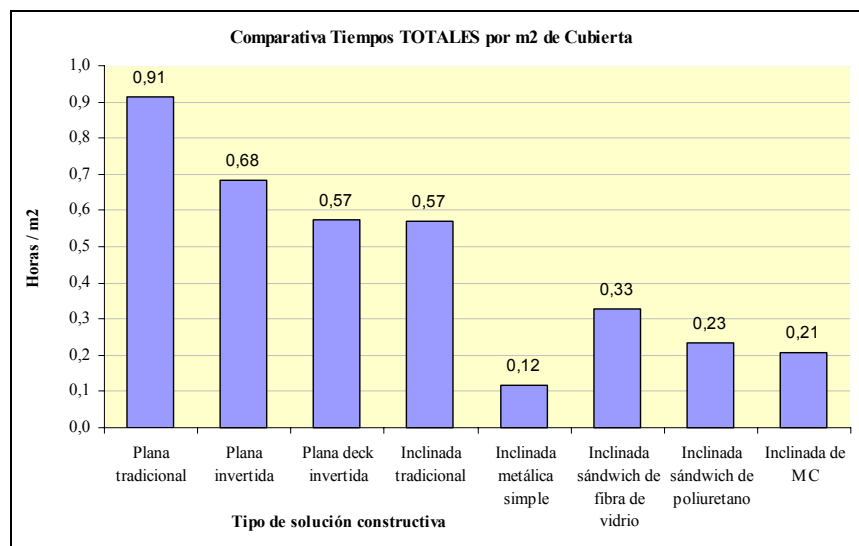


Figura 8.17. Gráfico comparativo tiempos totales para cubiertas.

*Discusión de resultados*

De los gráficos comparativos de tiempos para cubiertas, se observa que la solución que presenta mejores prestaciones generales es la cubierta a base de chapa simple metálica. Esta se descarta debido a no cumplir los requisitos mínimos de la normativa acústica y térmica vigentes. Bajo esta premisa, para la fase de construcción (figura 8.15) se encuentra que la cubierta que requiere de un mayor tiempo de construcción es la plana tradicional, mientras que la que precisa de un tiempo menor es la inclinada de panel de MC, seguida muy de cerca de la inclinada con panel sándwich de poliuretano.

Para la fase de desconstrucción (figura 8.16), la situación es muy parecida a la anterior. El mayor tiempo es para la plana tradicional, mientras que el menor es para la inclinada de MC seguida de las inclinadas sándwich. Con estos datos, para la suma de fases (figura 8.17) los resultados son los mismos.

Así pues, como conclusión general se puede afirmar que la solución de cubierta inclinada de paneles de MC con núcleo de poliuretano, es la que presenta un mejor comportamiento en cuanto a tiempos se refiere. Sin duda que la ligereza de estos materiales ha sido la clave para los resultados obtenidos, facilitando en gran medida su montaje y desmontaje. Esta conclusión es posible descartando la solución de chapa metálica simple por sus problemas de aislamiento.

### **8.3.3. Comparación de costes para el ciclo de vida de las soluciones constructivas estudiadas para las cubiertas de edificios industriales.**

En este apartado se realiza el estudio comparativo de costes para las distintas soluciones de cubiertas consideradas. Para ello, al igual que para el resto de sistemas constructivos, se tienen en cuenta todos los costes que desde un punto de vista de construcción tienen importancia en la vida útil del edificio industrial.

Al igual que para el resto de sistemas constructivos estudiados, los costes se calculan para las distintas soluciones constructivas estudiadas, permitiendo una comparación entre ellos. Las fuentes de los datos utilizados para este estudio de costes, son la base de datos del ITEC (tiempos y costes económicos) y distintas casas comerciales fabricantes de los materiales necesarios.

Las fases y subactividades consideradas para el análisis de costes de las 8 tipologías de cubiertas consideradas, son las mismas que las utilizadas en el apartado anterior de tiempos (8.3.2). Con todo ello se han obtenido los costes medios por metro cuadrado para cada cubierta, indicados en la tabla 8.8. En las figuras desde la 8.18 hasta la 8.22 se muestran gráficas comparativas de los costes entre las distintas soluciones de cubiertas estudiadas.

Tabla 8.8. Resumen de resultados de costes para cubiertas.

COMPARACION DE COSTES EN CUBIERTAS (por m2 de cubierta)											
	Encargo y compra de material principal	Ud.	Construcción	Ud.	Suma de compra construcción	+	Ud.	Desconstrucción y transporte	Ud.	TOTAL	Ud.
Plana tradicional	19,45	€/m2	23,51	€/m2	42,97		€/m2	<b>18,66</b>	€/m2	<b>61,63</b>	h.
Plana invertida	14,77	€/m2	22,46	€/m2	37,23		€/m2	13,58	€/m2	50,81	h.
Plana deck invertida	24,15	€/m2	20,24	€/m2	44,39		€/m2	14,93	€/m2	59,32	h.
Inclinada tradicional	22,13	€/m2	<b>24,03</b>	€/m2	<b>46,16</b>		€/m2	10,00	€/m2	56,16	h.
Inclinada metálica simple	<b>8,90</b>	€/m2	<b>7,01</b>	€/m2	<b>15,91</b>		€/m2	<b>2,22</b>	€/m2	<b>18,13</b>	h.
Inclinada sándwich de fibra de vidrio	20,31	€/m2	23,89	€/m2	44,20		€/m2	7,36	€/m2	51,57	h.
Inclinada sándwich de poliuretano	23,90	€/m2	10,93	€/m2	34,83		€/m2	8,89	€/m2	43,72	h.
Inclinada de MC	<b>28,38</b>	€/m2	10,38	€/m2	38,76		€/m2	7,16	€/m2	45,91	h.

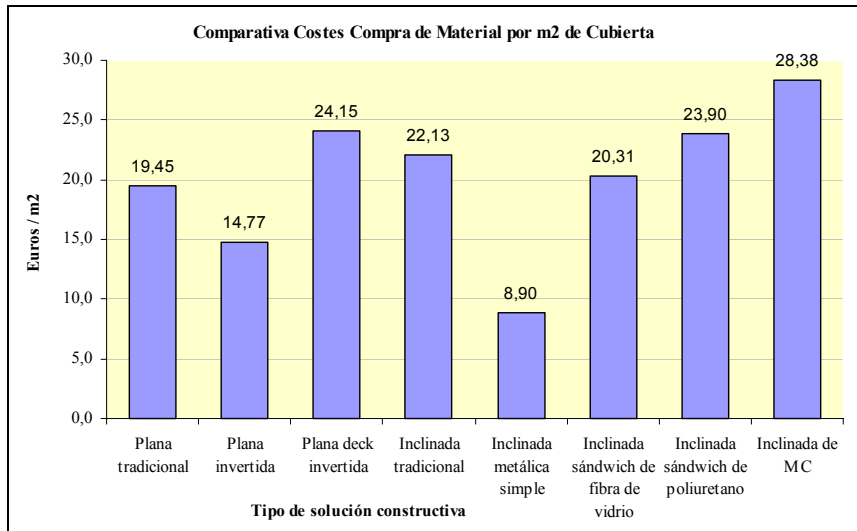


Figura 8.18. Gráfico comparativo de costes de compra de material para cubiertas.

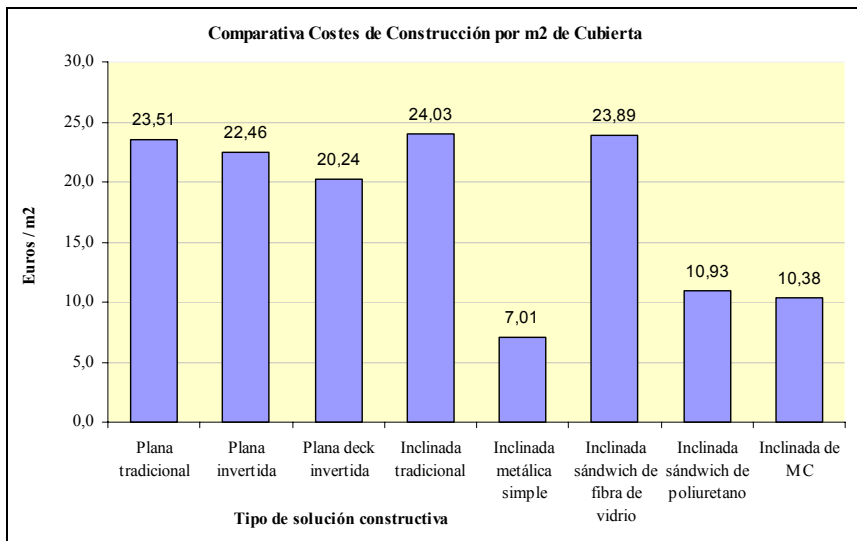


Figura 8.19. Gráfico comparativo de costes de construcción para cubiertas.

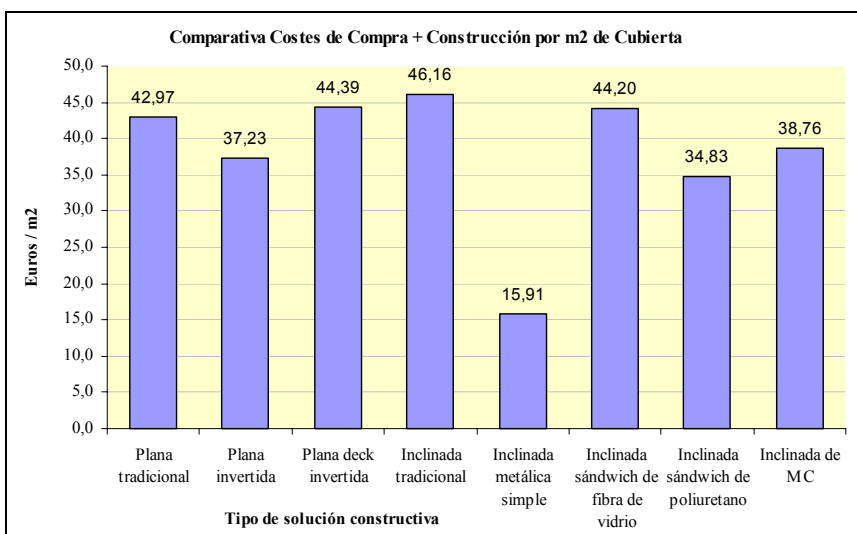


Figura 8.20. Gráfico comparativo de costes de compra + construcción para cubiertas.

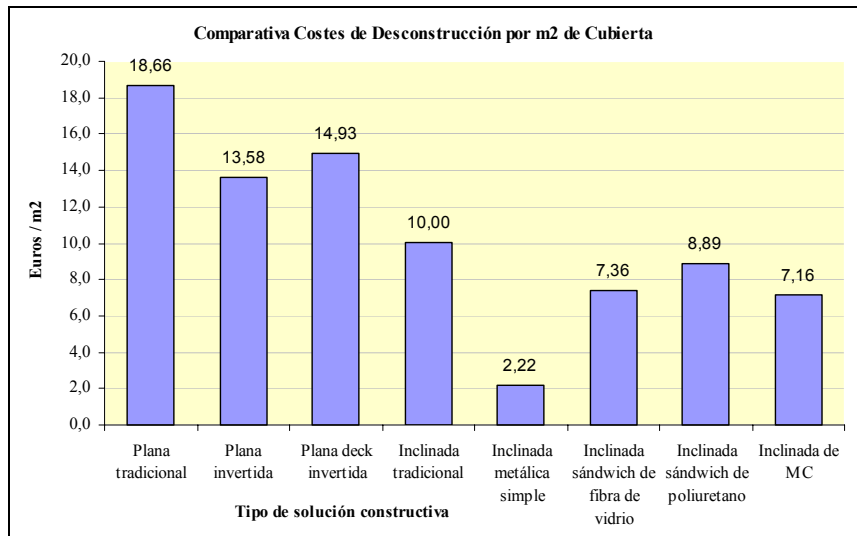


Figura 8.21. Gráfico comparativo de costes de desconstrucción para cubiertas.

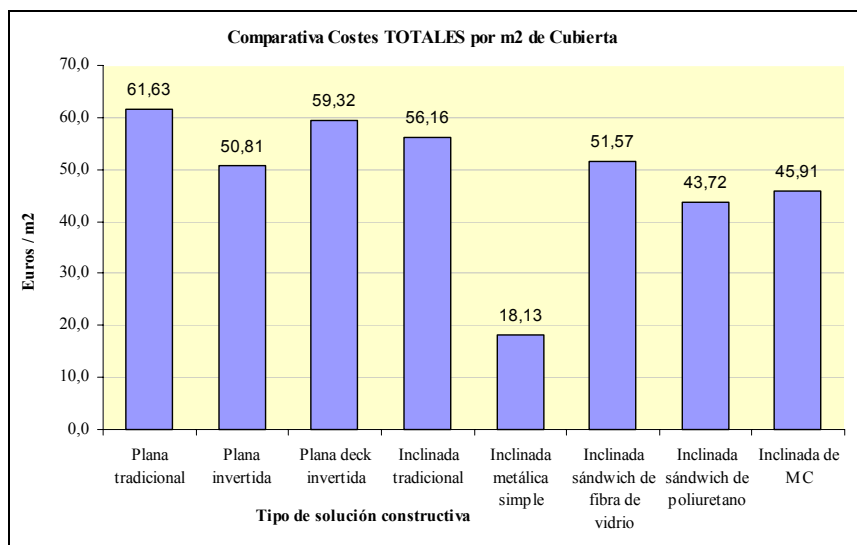


Figura 8.22. Gráfico comparativo de costes totales para cubiertas.

*Discusión de resultados*

Al igual que para el análisis de tiempos, la solución constructiva que presenta mejores resultados en las comparaciones de todas las fases, es la cubierta inclinada metálica simple. Esta solución, a la práctica, se descarta pues no cumple con los requisitos mínimos de aislamiento térmico y acústico exigidos por la normativa vigente en España.

Bajo la hipótesis anterior, de la figura 8.18 se extrae que el coste más elevado de compra del material corresponde a la cubierta inclinada de MC, mientras que el coste menor corresponde a la cubierta plana invertida. Para la fase de construcción (figura 8.19) los resultados varían, siendo la cubierta inclinada tradicional la de mayor coste de construcción y la inclinada de MC la de menor coste. Sumando ambos valores (figura 8.20), se obtiene el coste total de construcción de la cubierta (incluyendo la compra de los materiales). De estos valores se concluye que el coste más elevado es para la cubierta inclinada tradicional,

mientras que el menor corresponde a la cubierta inclinada sándwich con poliuretano, seguida de cerca por la plana invertida y por la inclinada de MC.

Para la fase de desconstrucción (figura 8.21), la cubierta de mayor coste es la plana tradicional, mientras que la más económica es la inclinada de MC. Sumando los valores de construcción total y de desconstrucción, se consiguen los costes totales del ciclo de vida de cada tipología de cubierta (figura 8.22). De estos valores se observa que el coste total más elevado es para la cubierta plana tradicional, mientras que los costes más bajos corresponden a la cubierta inclinada sándwich con poliuretano, seguida muy de cerca por la cubierta inclinada de MC.

La solución de cubierta formada por paneles de MC presenta unos costes totales sensiblemente superiores a la mejor tipología encontrada. Si se observan todas las gráficas comparativas, se aprecia que ello es debido al elevado precio de compra que tiene el MC. En el resto de fases, el coste de la solución de cubierta con MC es menor. Ello implica que con un consumo a gran escala de este tipo de materiales, reduciendo el precio de compra, la solución de cubierta con MC fácilmente pasaría a presentar las mejores condiciones económicas en el conjunto del ciclo de vida de las cubiertas consideradas (sin tener en cuenta la cubierta inclinada de chapa metálica simple).

#### **8.3.4. Comparación de la seguridad para el ciclo de vida de las soluciones constructivas estudiadas para las cubiertas de edificios industriales.**

La siguiente comparación a realizar es la de seguridad de la aplicación en obra de las distintas soluciones consideradas para las cubiertas. Para ello se han seguido los mismos pasos que los realizados para los sistemas constructivos anteriores (estructura y fachadas).

Para analizar la seguridad en la construcción se ha utilizado el método FINE modificado. Con él se encuentran las magnitudes de riesgo asociadas a cada actividad concreta, permitiendo estos valores una comparación relativa entre distintas soluciones constructivas. Los riesgos considerados para la aplicación del método FINE son los identificados por el INSHT, listados en el capítulo 7.

Los valores medios de magnitud de riesgo resultantes por metro cuadrado de cubierta, se indican en la tabla 8.9. En las figuras 8.23, 8.24 y 8.25, se muestran gráficas comparativas de la magnitud de riesgo entre las distintas soluciones de cubiertas estudiadas para la fase de construcción, para la fase de desconstrucción, y para la suma de ambas fases, respectivamente.

Tabla 8.9. Resumen de resultados de magnitud de riesgo para cubiertas.

COMPARACION DE MAGNITUD DE RIESGO EN FACHADAS (por m2 de fachada)						
	Construcción	Ud.	Desconstrucción y transporte	Ud.	TOTAL	Ud.
Plana tradicional	0,650	Ud.	1,327	Ud.	1,977	Ud.
Plana invertida	0,532	Ud.	0,923	Ud.	1,455	Ud.
Plana deck invertida	0,482	Ud.	0,724	Ud.	1,206	Ud.
Inclinada tradicional	0,663	Ud.	0,481	Ud.	1,144	Ud.
Inclinada metálica simple	0,169	Ud.	0,057	Ud.	0,226	Ud.
Inclinada sándwich de fibra de vidrio	0,436	Ud.	0,173	Ud.	0,609	Ud.
Inclinada sándwich de poliuretano	0,301	Ud.	0,192	Ud.	0,492	Ud.
Inclinada de MC	0,259	Ud.	0,153	Ud.	0,412	Ud.

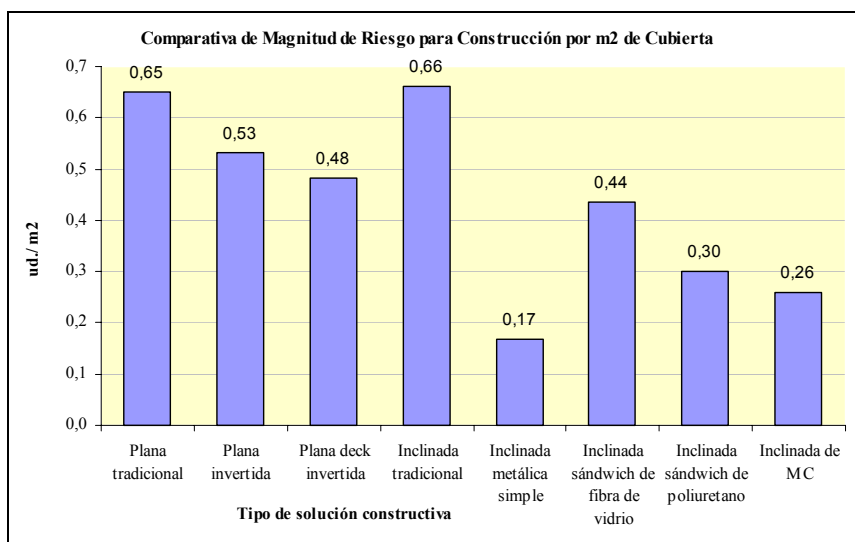


Figura 8.23. Gráfico comparativo de magnitud de riesgo en construcción para cubiertas.

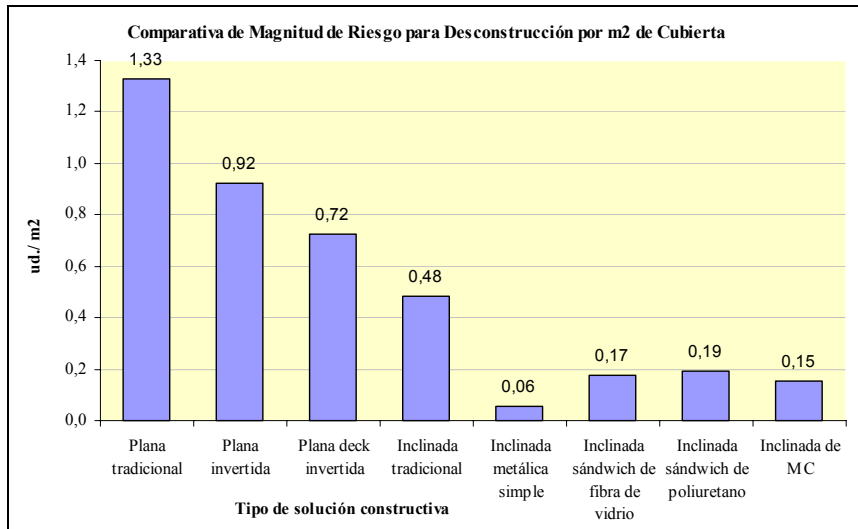


Figura 8.24. Gráfico comparativo de magnitud de riesgo en desconstrucción para cubiertas.

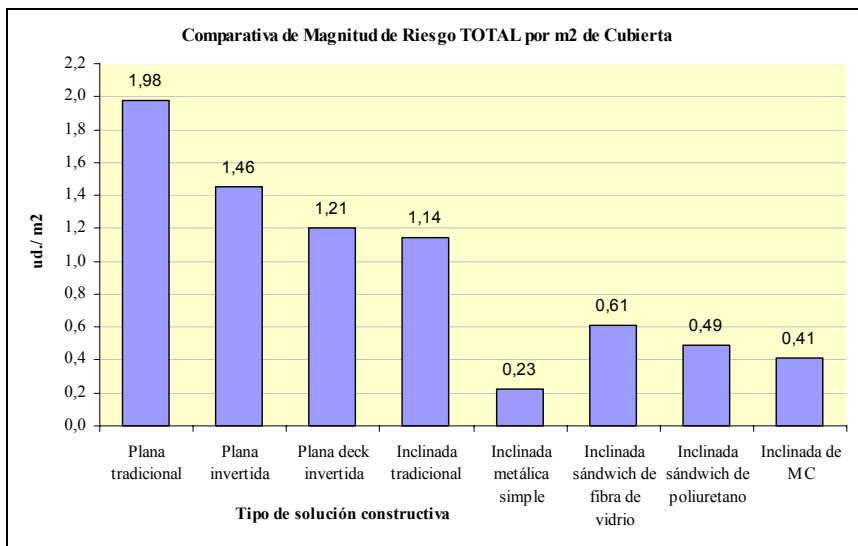


Figura 8.25. Gráfico comparativo de magnitud de riesgo total para cubiertas.

### Discusión de resultados

Para la magnitud de riesgo en las cubiertas estudiadas, se da la misma casuística que para el análisis de tiempos y de costes: la mejor solución es la cubierta inclinada metálica simple. De igual manera que para los casos anteriores, esta se descarta debido a sus problemas de aislamiento.

En el gráfico comparativo para la fase de construcción (figura 8.23), se extrae que la tipología de cubierta que presenta una mayor magnitud de riesgo, en esta fase, es la cubierta inclinada tradicional. En cambio, la que presenta un valor menor es la cubierta inclinada formada por paneles de MC. Para la fase de desconstrucción (figura 8.24), la solución con magnitud de riesgo menor sigue siendo la cubierta inclinada de paneles de MC, mientras que la que presenta una magnitud de riesgo mayor es la cubierta plana tradicional.

Sumando los resultados de ambas fases (figura 8.25), se puede apreciar que la cubierta formada por paneles de MC es la que presenta una menor magnitud de riesgo a lo largo de su vida útil, seguida a cierta distancia



por la cubierta inclinada sándwich de poliuretano. En cambio, la peor tipología de cubierta, desde el punto de vista de magnitud de riesgo, es la cubierta plana tradicional.

La conclusión final de este apartado es que la cubierta inclinada formada de paneles de MC con poliuretano, es la que presenta las mejores propiedades, en cuanto al aspecto de magnitud de riesgo se refiere a lo largo de su vida útil, de todas las cubiertas estudiadas (salvo el caso concreto de la cubierta inclinada metálica simple).

### 8.3.5. Comparación del impacto medioambiental para el ciclo de vida de las soluciones constructivas estudiadas para cubiertas de edificios industriales.

En este punto se realiza un estudio comparativo de los impactos medioambientales entre las cubiertas estudiadas. Al igual que para los sistemas constructivos anteriores, el estudio comparativo abarca todas las fases de la vida útil del edificio industrial. Se valoran y estudian las soluciones aplicadas en la actualidad, sin entrar a valorar que pasaría con hipotéticas soluciones futuras que se están desarrollando. El procedimiento seguido es el análisis del Ciclo de Vida (ACV), con las fases e impactos medioambientales definidos en el capítulo 7. De la misma manera, se trabaja con el edificio definido a partir de los valores medios del edificio tipo descrito en el capítulo 6. Para todas las fases del ACV consideradas y para las 8 tipologías de cubiertas estudiadas, ha sido necesario el realizar un desglose completo de todos los inputs y outputs del sistema. Una vez obtenidos todos los datos necesarios e introducidos en el análisis del ciclo de vida de cada solución constructiva, se obtienen los resultados indicados en la tabla 8.10, mostrando estos de manera gráfica en el Anexo II.

Tabla 8.10. Resumen de resultados para impactos estudiados en ACV.

Caracterización (%)	Plana tradicional	Plana invertida	Plana deck invertida	Inclinada tradicional	Incl. Sand. poliuretano	Incl. Sand. Fib. V.	Icl. Metálica simple	INCl. MC
Calentamiento global	15	14	23	4	20	20	3	1
Formación de niebla tóxica	20	14	13	24	5	5	8	10
Acidificación	21	12	11	25	1	1	11	17
Eutrofización	22	15	12	25	1	2	11	12
Salud humana, cáncer	0	0	0	0	98	0	0	1
Salud humana	0	2	3	1	71	10	8	5
Agentes cont., salud humana	36	26	5	19	4	4	4	0
Ecotoxicidad	3	2	2	3	11	12	11	56
Consumo de combustible	25	2	1	14	0	1	57	1
Ocupación	31	34	3	25	2	0	0	4
Deterioramiento capa de ozono	-	-	-	-	35	33	33	-
Uso de agua	33	0	1	65	0	0	0	1

Aplicando el método del Valor Técnico Ponderado, explicado en el capítulo 7, se realiza una comparación global para las diferentes tipologías de cubiertas en relación a los impactos ambientales considerados. Los pesos asignados a cada impacto y sus justificaciones se indican seguidamente:

- Calentamiento global.

Los valores más altos son debidos a las etapas de fabricación y transporte. Este factor es bastante importante, por lo que se le asigna un peso elevado. Peso (g) = 9

- Formación de niebla tóxica

Las emisiones de óxidos de nitrógeno en la fabricación de las piezas cerámicas son las que más afectan a este factor. El peso no es demasiado elevado. Peso (g) = 4

- Acidificación

Los valores de estas emisiones son debidas a las emisiones de óxidos de nitrógeno y de azufre en la fabricación de piezas cerámicas. Los valores de estas emisiones no tienen un valor demasiado alto porque al producirse las emisiones en la fase de fabricación es difícil que produzcan acidificación. Peso (g) = 4

- Eutrofización

En este caso también afectan los óxidos de nitrógeno, sobretodo en la fabricación de piezas cerámicas. Peso (g) = 3

- Salud humana, cáncer

Los valores son debidos a las emisiones de pentano en la fabricación del poliuretano, su valor a tener en cuenta se considera medio. Peso (g) = 5

- Salud humana

Los valores de este factor también son debidos a las emisiones de pentano en la fabricación de poliuretano. Su valor se considera medio. Peso (g) = 5

- Agentes contaminantes, salud humana

Los mayores valores de estos porcentajes son debidos a las emisiones de polvo, sobretodo en la etapa de fabricación del hormigón y los elementos cerámicos. Peso (g) = 4

- Ecotoxicidad

Este factor esta caracterizado en las cubiertas por las emisiones de pentano en la fabricación de poliuretano. Los valores son muy bajos. Peso (g) = 3

- Consumo de combustible

En las etapas donde se consume mayor cantidad de combustible son las del reciclaje del acero y en el transporte de materiales. Los valores son bastante importantes. Peso (g) = 9

- Ocupación

La mayoría de los valores que aumentan los porcentajes en cada elemento constructivo son ocasionados en la etapa de deposición en el vertedero principalmente y en la extracción de los materiales. Su valor no es menospreciable. Peso (g) = 7

- Deterioro de la capa de ozono

Las emisiones de bromo a la atmósfera en la etapa de fabricación de la pintura son las culpables de este impacto. Peso (g) = 4

- Uso de agua

En la fabricación de las piezas cerámicas es donde se consume más agua, su valor es muy alto. Peso (g) = 10

Aplicando los pesos definidos (g) y las calificaciones de cada impacto (P) obtenidas del ACV, se llega a los resultados recogidos en la tabla 8.11.

**Tabla 8.11. Resultado del VTP sobre el ACV para el sistema cubiertas.**

Factores	Peso (g)	Plana tradic.		Plana invertida		Plana Deck invertida		Inclinada tradic.		Metal. sánd., con poliuret.		Metal. sánd., con fibra vidrio		Metálica simple		MC	
		P	pxg	P	pxg	P	pxg	P	pxg	P	pxg	P	pxg	P	pxg	P	pxg
Calentamiento global	9	15	135	14	126	23	207	4	36	20	180	20	180	3	27	1	9
F. Niebla tóxica	4	20	80	14	56	13	52	24	96	5	20	5	20	8	32	10	40
Acidificación	4	21	84	12	48	11	44	25	100	1	4	1	4	11	44	17	68
Eutrofización	3	22	66	15	45	12	36	25	75	1	3	2	6	11	33	12	36
Salud humana, cáncer	5	0	0	0	0	0	0	0	0	98	490	0	0	0	0	1	5
Salud humana	5	0	0	0	0	3	15	1	5	71	355	10	50	8	40	5	25
Agentes contaminante, S.H.	4	36	144	26	104	5	20	19	76	4	16	4	16	4	16	0	0
Ecotoxicidad	3	3	9	2	6	2	6	3	9	11	33	12	36	11	33	56	168
Consumo de combustible	9	25	225	2	18	1	9	14	126	0	0	1	9	57	513	1	9
Ocupación	7	31	217	34	238	3	21	25	175	2	14	0	0	0	0	4	28
Deterioro capa de ozono	4	0	0	0	0	0	0	0	0	34	136	33	132	33	132	0	0
Uso de agua	10	33	330	0	0	1	10	65	650	0	0	0	0	0	0	1	10
<b>Suma (pxg)</b>	<b>67</b>		<b>1290</b>		<b>641</b>		<b>420</b>		<b>1348</b>		<b>1251</b>		<b>453</b>		<b>870</b>		<b>398</b>
<b>VTP=</b>		<b>0,193</b>		<b>0,096</b>		<b>0,063</b>		<b>0,201</b>		<b>0,187</b>		<b>0,068</b>		<b>0,130</b>		<b>0,059</b>	

Los Valores Técnicos Ponderados de cada solución constructiva para cubiertas se recogen en la tabla 8.12.

**Tabla 8.12. Resumen de resultados del VTP sobre el ACV para el sistema cubiertas.**

Tipo de Cubierta	VTP
Plana tradicional	<b>0,193</b>
Plana invertida	<b>0,096</b>
Plana Deck Invertida	<b>0,063</b>
Inclinada tradicional	<b>0,201</b>
Metal. Sand., metal y poliuretano	<b>0,187</b>
Metal. Sand., metal y fibra vidrio	<b>0,068</b>
Metálica simple	<b>0,130</b>
Material compuesto con poliuretano	<b>0,059</b>

### *Discusión de resultados*

De los resultados del ACV mostrados en la tabla 8.12, se concluye que la solución constructiva para cubiertas que presenta un menor impacto medioambiental (de las 8 soluciones analizadas) a lo largo de la vida útil del edificio, es la formada por paneles de material compuesto (poliéster con fibra de vidrio) con un núcleo aislante de poliuretano. A escasa distancia la siguen las soluciones de cubierta plana Deck invertida, y la cubierta metálica con aislante de fibra de vidrio.

Por el otro extremo, la solución de cubierta más perjudicial para el medio ambiente es la cubierta inclinada tradicional seguida de la cubierta plana tradicional. En el Anexo II se detallan todos los resultados y conclusiones parciales obtenidas en la aplicación del ACV para las cubiertas en cada impacto ambiental, así como los gráficos explicativos correspondientes.

### 8.4. Resumen de resultados del estudio del ciclo de vida del sistema cerramientos

En las tablas 8.13 y 8.14 se observan los resultados totales de los estudios comparativos del ciclo de vida realizados al sistema constructivo fachadas y al sistema constructivo cubierta de edificios industriales. Se separan los aspectos analizados: tiempo, coste, seguridad e impacto medioambiental.

Tabla 8.13. Resultados del estudio del ciclo de vida del sistema constructivo fachadas para los aspectos considerados.

RESUMEN DE RESULTADO TOTALES PARA EL CICLO DE VIDA (por m2 de fachada)								
	Tiempos	Ud.	Costes	Ud.	Seguridad	Ud.	Impactos Medioamb.	Ud.
Metálica simple	0,194	h.	30,613	€	0,498	Ud.	5,10	%
Sándwich de metal y fibra de vidrio	0,335	h.	50,206	€	0,888	Ud.	7,70	%
Sándwich de metal y poliuretano	0,265	h.	56,527	€	0,591	Ud.	13,80	%
Hormigón prefabricado	0,118	h.	62,011	€	0,211	Ud.	6,30	%
Bloque cerámico obra vista	0,645	h.	70,491	€	1,236	Ud.	11,80	%
Bloque cerámico con acabado superficial	0,595	h.	67,057	€	0,988	Ud.	14,00	%
Bloque de hormigón	0,311	h.	54,067	€	0,660	Ud.	6,30	%
Muro cortina	0,603	h.	318,567	€	1,403	Ud.	31,20	%
MC núcleo de poliuretano	0,215	h.	52,488	€	0,462	Ud.	2,60	%
MC panel alveolar	0,138	h.	31,976	€	0,210	Ud.	1,10	%

Tabla 8.14. Resultados del estudio del ciclo de vida del sistema constructivo cubierta para los aspectos considerados.

RESUMEN DE RESULTADO TOTALES PARA EL CICLO DE VIDA (por m2 de cubierta)								
	Tiempos	Ud.	Costes	Ud.	Seguridad	Ud.	Impactos Medioamb.	Ud.
Plana tradicional	0,914	h.	61,625	€	1,977	Ud.	19,25	%
Plana invertida	0,682	h.	50,814	€	1,455	Ud.	9,57	%
Plana deck invertida	0,572	h.	59,321	€	1,206	Ud.	6,27	%
Inclinada tradicional	0,571	h.	56,164	€	1,144	Ud.	20,10	%
Inclinada metálica simple	0,116	h.	18,128	€	0,226	Ud.	13,00	%
Inclinada sándwich de fibra de vidrio	0,326	h.	51,566	€	0,609	Ud.	6,76	%
Inclinada sándwich de poliuretano	0,233	h.	43,724	€	0,492	Ud.	18,70	%
Inclinada de MC	0,206	h.	45,915	€	0,412	Ud.	5,94	%

