

INVENTARIO DEL CICLO DE VIDA DE MATERIALES Y PROCESOS CARACTERÍSTICOS DEL SECTOR CERÁMICO

Bovea, M.D ^(P); Díaz-Albo, E.; Gallardo, A.; Carlos, M.; Colomer, F.

Abstract

The stage of the Life Cycle Inventory (LCI) in the Life Cycle Analysis (LCA) methodology, implies the data acquisition and the calculation procedures to quantify the inputs and outputs of a system.

This is the most time consuming stage of the LCA for two main reasons. The first one is related to the high consumption of resources, namely time, required for the data acquisition and their assignation to the selected functional unit. The second of them has to do with the willingness of the companies to publish their data, for confidentiality reasons, mainly.

Although the making of an LCI is an iterative process, in this communication it will be presented a first approximation to a characteristic inventory of the ceramic tile manufacturing industry sector, covering materials and processes like:

- Step 1: extraction, treatment and commercialization of the clay
- Step 2: wet milling and spray drying
- Step 3: production of frit and glaze
- Step 4: production of the ceramic tile (reception of the clay, forming process (pressing), drying, glazing, pre-drying and firing, packaging and palletising).

Keywords: life cycle analysis, LCA, life cycle inventory, LCI, ceramic tile.

Resumen

La etapa de análisis del Inventario del Ciclo de Vida (ICV) en un estudio de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) implica la recopilación de los datos y los procedimientos de cálculo para cuantificar las entradas y salidas de un sistema.

Ésta es la etapa más costosa en la realización de un ACV por dos motivos principales. El primero de ellos está relacionado con el elevado consumo de recursos, principalmente tiempo, que requiere la recopilación de datos agrupados y su asignación a la unidad funcional seleccionada. El segundo de ellos tiene que ver con la disponibilidad de las empresas del sector por hacer públicos sus datos, por problemas de confidencialidad, principalmente.

Aunque la realización de un ICV es un proceso iterativo, en esta comunicación se presenta una primera aproximación a un inventario característico del sector cerámico, que engloba materiales y procesos tales como:

- Fase 1: extracción, tratamiento y comercialización de arcilla
- Fase 2: atomizado de la arcilla
- Fase 3: producción de frita y esmalte
- Fase 4: producción de baldosa cerámica (recepción de arcilla atomizada, prensado, secado, esmaltado, cocción (presecado), cocción (horno), embalaje y paletizado).

Palabras clave: análisis del ciclo de vida, ACV, inventario del ciclo de vida, ICV, baldosa cerámica

1. Introducción

La metodología de Análisis del Ciclo de Vida es una herramienta que permite analizar la carga ambiental de un sistema a lo largo de su ciclo de vida. De acuerdo con las normas ISO 14040-44 (2006) [1,2], se estructura en cuatro etapas: definición de objetivos y alcance, análisis de inventario, evaluación del impacto e interpretación de los resultados. Esta comunicación se centra en el análisis de la segunda etapa para el sector cerámico, en concreto, en el inventario de las materias primas y procesos necesarios para la producción de la baldosa cerámica.

La etapa de inventario del ciclo de vida (ICV), básicamente, consiste en contabilizar los distintos impactos medioambientales que el sistema en estudio ejerce sobre el medio. Por tanto, para cada una de las etapas en que puede dividirse el ciclo de vida, se especifican las materias primas, materias auxiliares, energía utilizada y emisiones medioambientales.

Cualquier análisis del ciclo de vida que se realice requiere la utilización de un gran número de datos individuales procedentes de diferentes fuentes. Por tanto, la calidad y credibilidad de los resultados del estudio dependerán en gran medida de la calidad de los datos tomados como partida. Puede decirse que la etapa ICV es la más crítica y relevante del estudio, tanto por la influencia que tiene en los resultados como por el consumo de recursos que supone.

Existe dos tipos de datos que pueden utilizarse para conformar un ICV: datos primarios (site-specific) obtenidos directamente de las empresas productoras y datos secundarios (average) obtenidos a partir de bases de datos de inventarios y estudios previos.

A nivel nacional, no existe ninguna base de datos propia de ICV. A nivel internacional existe una amplia variedad de bases de datos, incluyendo públicas, comerciales o de acceso restringido (consultar revisión en referencia [3]). Sin embargo, es muy poca la información que contienen relativa a las materias primas y procesos característicos del sector cerámico.

El objetivo de esta comunicación es analizar la disponibilidad y calidad de datos secundarios relativos a la producción de baldosas cerámicas y sus materias primas, y realizar una comparación con los datos primarios *preliminares* que se están obteniendo directamente de empresas productoras del sector cerámico.

2. Descripción de las materias primas y procesos involucrados en la producción de la baldosa cerámica

La fabricación de la baldosa cerámica utiliza diversas materias primas elaboradas, como son la arcilla atomizada, fritas, esmaltes y colores cerámicos. Su proceso de fabricación abarca las fases mostradas en la Figura 1.

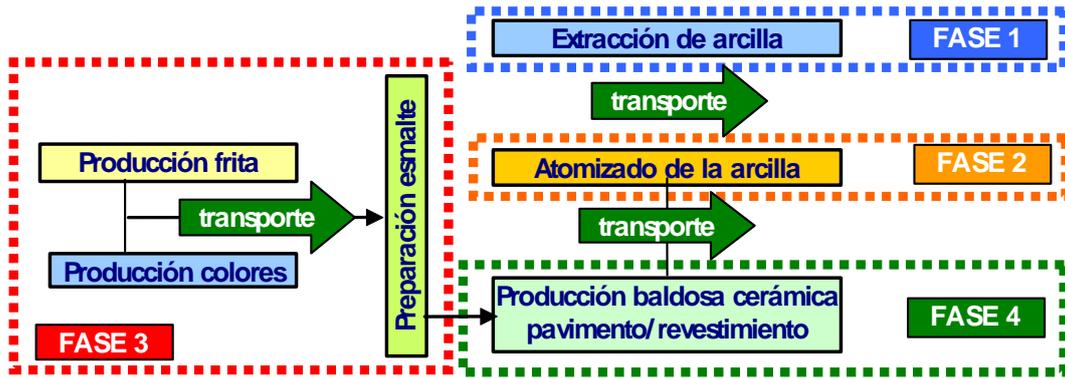


Figura 1. Etapas del ciclo de vida consideradas en el estudio (de la cuna a la puerta fabricante).

A continuación se describe cada una de las fases en que se ha dividido el ciclo de vida (de la cuna a la puerta del fabricante). Para cada una de ellas va a especificarse inicialmente las diferencias entre los inventarios incluidos en bases de datos comerciales (datos secundarios) y los *preliminares* que están obteniéndose directamente de diferentes empresas del sector cerámico ubicadas en la provincia de Castellón. Indicar que se está trabajando actualmente en la recogida de datos, por lo que se presenta a continuación es un avance preliminar del inventario.

3. Inventarios de materias primas y procesos que intervienen en la producción de baldosas cerámicas.

3.1 Arcilla

En general, el proceso de extracción, tratamiento de arcillas con destino a la industria cerámica engloba las fases y procesos unitarios que se observan en la Figura 2.

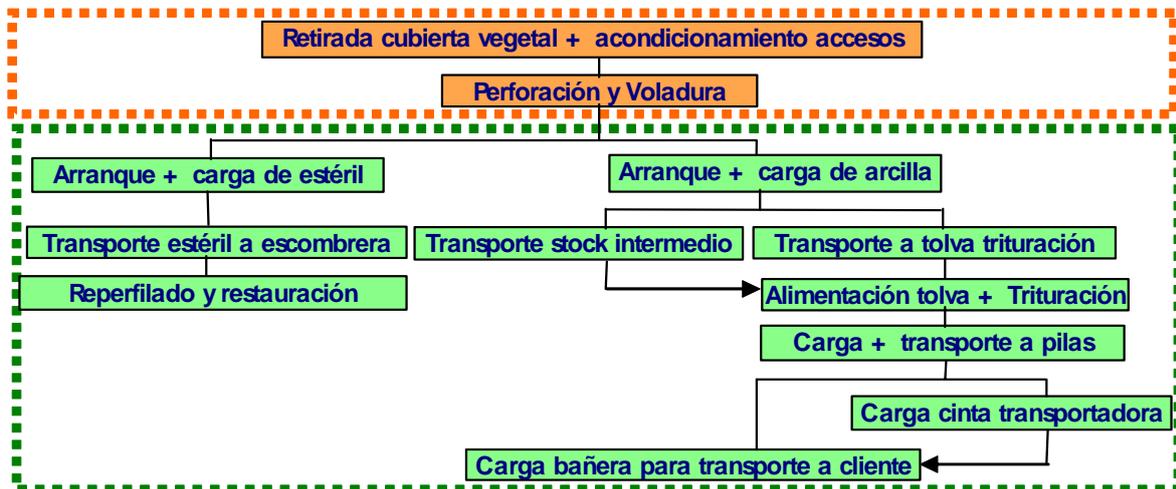


Figura 2. Flujograma del proceso de extracción, tratamiento y comercialización de arcillas procedente de una mina ubicada en la provincia de Castellón.

Tras la retirada de la cubierta vegetal y acondicionamiento de los accesos, se realizan perforaciones en las que se insertan los explosivos y se realiza la voladura, con el fin de conseguir un frente de mina abierto. El material extraído puede dividirse en estéril (material arrancado cuya composición no es apta para su venta como arcilla) y arcilla (material que

posteriormente va a ser tratado y comercializado como arcilla). El estéril se separa de la arcilla y se transporta hasta la escombrera o zona de relleno de la mina. Finalmente se reperfila y restaura la zona de la que se ha extraído la arcilla. La arcilla apta para su comercialización se carga y pasa directamente a la tolva para la trituration o a almacenarse en un stock intermedio, según las necesidades del mercado. Finalmente se transporta hasta la alimentación de tolva trituration de donde se extrae la arcilla de un tamaño de grano uniforme acorde con las necesidades de los clientes. Finalmente se acumula en pilas de almacenamiento, de donde se carga directamente a los camiones bañera encargados de la distribución al cliente o se carga en una cinta transportadora que la descarga en un silo, desde el que se cargan directamente las bañeras.

La Tabla 1 muestra la comparativa entre los datos secundarios obtenidos de la base de datos Ecoinvent [4] y datos bibliográficos [5] y los primarios obtenidos directamente de una mina de arcilla roja ubicada en la provincia de Castellón. El detalle de los datos primarios puede consultarse en [6].

	Datos secundarios		Datos primarios
	[4]	[5]	datos 1 empresa
ENTRADAS			
<i>Materiales</i>			
Material mantenimiento (kg)			8,02E-08
Explosivos (kg)			2,10E-04
Reactivos varios laboratorio (l)			1,95E-07
Tensioactivos (l)			3,20E-03
<i>Electricidad/calor</i>			
Combustible(MJ)	2,97E-02	1,78E-2	1,70E-02
Electricidad(KWh)		2,83E-2	6,04E-04
SALIDAS			
Residuos sólidos varios (kg)			3,64E-05

Tabla 1. Datos primarios y secundarios para arcillas para pavimento/revestimiento cerámico.

3.2. Molturación y atomizado de arcilla

El objetivo de esta etapa es obtener un polvo con la humedad y tamaño de partícula que requiere la producción de las baldosas esmaltadas.

Según muestra la Figura 3, tras dosificar y pesar las arcillas procedentes de la mina, se realiza una molturación por vía húmeda en los molinos de bolas, donde se mezclan las arcillas y aditivos con agua, obteniendo así la barbotina. Finalmente, en el atomizador, la barbotina se seca por la acción del aire caliente a contracorriente formando el polvo atomizado, que se almacena finalmente en unos silos para homogeneizar la humedad.



Figura 3. Proceso de molturación y atomizado.

A continuación, la Tabla 2 muestra los datos de inventario obtenidos de la bibliografía [5] y los primarios obtenidos directamente de una empresa atomizadora ubicada en la provincia de Castellón.

	Datos secundarios [5]	Datos primarios datos de 1 empresa
ENTRADAS		
Materiales		
Arcilla + aditivos	1,15E+00	1,01E+00
Electricidad/calor		
Combustible (MJ)	2,01E+00	2,01E+00
Electricidad (kWh)	5,30E-02	
SALIDAS		
Emisiones al aire		
NOx (kg)		3,44E-05
Partículas (PM10) (kg)		9,06E-06
Residuos		
Rechazo (kg)	1,5E-1	9,86E-03

Tabla 2. Datos primarios y secundarios para el proceso de molturación y atomizado (U.F: 1 kg).

3.3. Fritas, colores y esmaltes

La frita cerámica es preparada fundiendo materias primas en un horno de fusión a elevada temperatura (1350°C–1550°C). El material es posteriormente sumergido en agua, enfriándolo bruscamente, lo que lo transforma en un material sólido fragmentado en desmenuzados compuestos insolubles.

La principal aplicación de la frita cerámica es la fabricación de esmaltes cerámicos. Existen diversas tipologías de esmaltes, aunque en su mayoría están compuestos por fritas, materias primas no fritadas, aditivos y colores cerámicos. Entre la base arcillosa de la baldosa y el esmalte se coloca el engobe, superficie que facilita el acoplamiento de la base con el esmalte cerámico. Cuando los esmaltes son aplicados en la superficie de bizcochos cerámicos y después cocidos, confieren una capa impermeable, protectora y decorativa, proporcionando al azulejo su belleza y características técnicas específicas.

Los colores cerámicos son preparados de fritas, pigmentos cerámicos y varias materias primas inorgánicas. Están compuestos por óxidos de diferentes elementos (aluminio,

antimonio, cadmio, cinc, cobalto, cromo, estaño, hierro, manganeso, níquel, silicio, vanadio, etc.).

La figura 4 muestra el esquema de producción de estos tres materiales.

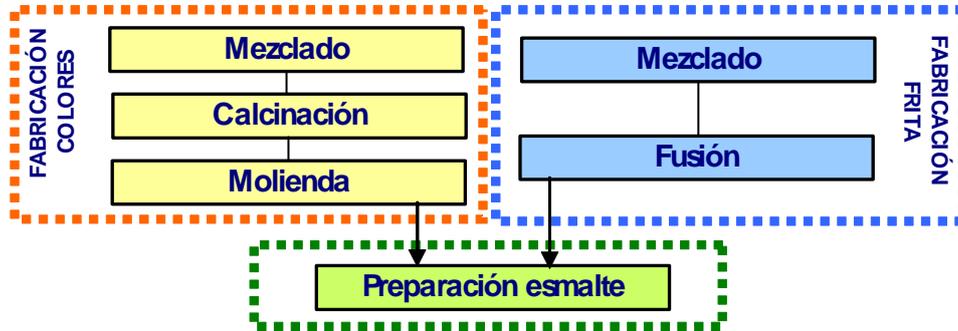


Figura 4. Esquema proceso producción fritas, pigmento y esmalte.

La Tabla 3 muestra los datos de inventario recopilados de la bibliografía [5]. Actualmente se está en proceso de obtención de datos primarios directamente de empresas fabricantes de fritas, esmaltes y colores ubicadas en la provincia de Castellón.

	Datos secundarios referencia [5]
ENTRADAS	
Recursos materiales	
Colemanita (kg)	6,73E-02
Dolomita (kg)	2,92E-02
Cuarzo y feldespato (kg)	1,15E-01
Pentahidrato de boro (kg)	1,44E-01
Óxido de aluminio (kg)	9,73E-02
Óxido de plomo (kg)	2,22E-01
Óxido de bario (kg)	1,96E-01
Óxido de estaño (kg)	6,19E-03
Óxido de zinc (kg)	1,14E-01
Óxido de zirconio (kg)	8,85E-03
Óxido de titanio (kg)	8,85E-04
Electricidad/calor	
Combustible (MJ)	7,96E-02
Electricidad (KWh)	1,65E+00

Tabla 3. Datos secundarios para la producción de fritas y esmaltes (U.F.: 1 kg).

3.4. Producción baldosa cerámica (pavimento/revestimiento)

La producción de la baldosa cerámica abarca las etapas mostradas en la Figura 5, teniendo como principal entrada de materia prima la arcilla atomizada y el esmalte. La tierra atomizada se carga en silos para pasar posteriormente a la etapa de prensado, proceso en el que se conforma la pieza cerámica. Se lleva a cabo mediante prensas hidráulicas que comprimen mecánicamente el atomizado en moldes de geometría regular. Una vez conformada la pieza cerámica (soporte) se somete a un secado, con el fin de reducir el contenido en humedad hasta niveles suficientemente bajos para que las fases de esmaltado y cocción se desarrollen adecuadamente. En la etapa de esmaltado se aplican sobre la pieza seca los esmaltes correspondientes para decorar cada producto. La etapa de cocción engloba dos subprocesos encargados de definir las principales características de la baldosa: el presecado, que elimina la humedad adquirida en el proceso de esmaltado y la cocción, donde se somete a la pieza cerámica a un ciclo térmico en unos hornos monoestrato, donde las piezas entran por encima de rodillos y el calor necesario para su cocción es aportado por quemadores gas natural-aire. La fase final es el embalaje y paletizado de la baldosa, preparado para su posterior distribución a cliente.



Figura 5. Esquema del proceso de producción de la baldosa cerámica (pavimento y revestimiento).

La Tabla 4 muestra los datos de inventario primarios y secundarios para la producción de pavimento/revestimiento esmaltado.

Los datos secundarios se han obtenido de dos fuentes diferentes, de la bases de datos Idemat 2001 [7] y de datos bibliográficos [5]. Los datos primarios se han obtenido de tres empresas ubicadas en la provincia de Castellón, mostrándose en la Tabla 4 la media de todos ellos.

	Datos secundarios		Datos primarios
	[5]	[7]	Promedio 3 empresas
ENTRADAS			
Materiales			
Arcilla + aditivos (kg)	2,02E+01		
Electricidad/calor			
Combustible (MJ) Secado+Cocción	6,17E+01	6,09E+01	6,18E+01
Electricidad (KWh) Prensado+secado+esmaltado+cocción	1,48E+00		1,78E+00
SALIDAS			
Emisiones al aire			
HF (kg)		3,20E-03	8,08E-04

PM10 (kg)		1,21E-03	1,53E-03
NO ₂ (kg)			6,45E-03
SO ₂ (kg)		6,60E-03	2,55E-03
SO (kg)		6,39E-04	
CO (kg)		1,49E-02	3,41E-03
CO ₂ (kg)		4,03E+00	3,28E+00
Pb (kg)			1,71E-04
NO (kg)		8,52E-03	
Cl (kg)		1,07E-03	

Tabla 4. Datos primarios y secundarios para la producción de baldosas cerámicas (U.F.: 1 m²).

4. Discusión y conclusión

A la vista de los resultados presentados en el apartado anterior, se observa que la información relativa a datos de inventario de materias primas y procesos relativos al sector cerámico incluidos en bases de datos comerciales es bastante escasa y existen entre ellos grandes discrepancias y falta de información relativa a los aspectos que incluyen y a la calidad de los mismos.

La Figura 6 muestra un esquema de la metodología a seguir para obtener un modelo de ICV que sea representativo del sector objeto de estudio. Hay que priorizar siempre la utilización de datos primarios, y en caso de que eso no sea posible, utilizar secundarios, pero con precaución y teniendo en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Utilizar siempre datos primarios, si es posible.
- En caso de que no sea posible, usar datos secundarios procedentes de la bibliografía o bases de datos comerciales o públicas de ICV.
- Utilizar los datos secundarios más recientes posible, comprobando que la tecnología y el área geográfica que cubren son compatibles con el estudio a realizar.
- Utilizar/sustituir el perfil eléctrico (mix) de los datos secundarios por el del área geográfica de estudio. Completar con un estudio de sensibilidad para evaluar la influencia que el perfil eléctrico tiene sobre los resultados.
- Comprobar la inclusión o no inclusión del transporte en los datos secundarios. En caso de estar incluidos en el modelo, comprobar distancias y medios de transporte, para ajustarlo a las características del sector y del área geográfica en estudio.

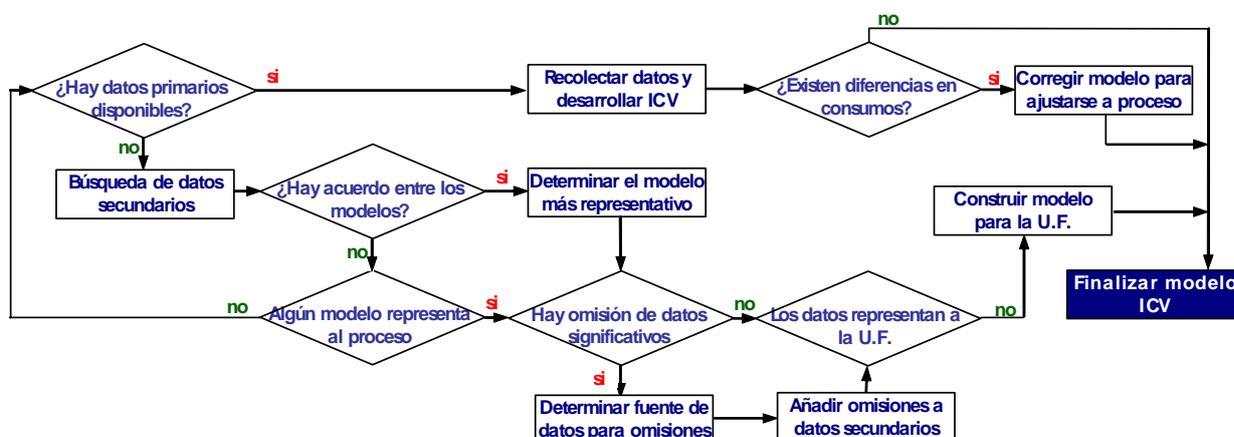


Figura 6. Metodología para confeccionar un modelo de ICV.

Por lo tanto, a la vista de los resultados, se hace necesaria la realización de un inventario propio, con datos primarios recopilados directamente de empresas del sector. Esta etapa se ha iniciado, por lo que los datos primarios que se han presentado en el apartado 4 son un avance preliminar del inventario que se está confeccionando. La realización de un ICV es un proceso iterativo, un proceso con realimentación, que va completándose conforme van actualizándose los datos que ya existen y van complementándose con datos de nuevas empresas.

A la hora de recopilar datos primarios, se está siguiendo la metodología mostrada en la Figura 7.

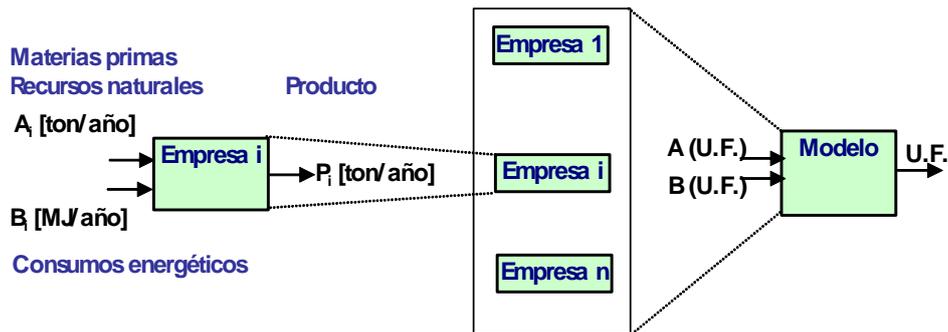


Figura 7. Proceso para obtener datos primarios.

En este proceso de adquisición de datos primarios hay que tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Determinar si los datos son representativos del sector en estudio.
- Aportar datos agregados del sector, medias/medianas y valores máximos y mínimos, para preservar al máximo la confidencialidad de los datos individuales procedentes de cada empresa.
- Comprobar si los datos agregados que se obtienen representan a las mejores técnicas disponibles o a un promedio de las tecnologías existentes.

Referencias

- [1] UNE-EN ISO 14040, "Gestión ambiental. Análisis de ciclo de vida. Principios y marco de referencia", 2006.
- [2] UNE-EN ISO 14044, "Gestión ambiental. Análisis de ciclo de vida. Requisitos y directrices", 2006.
- [3] Curran M.A., Notten P, "Summary of global life cycle inventory data resources", SETAC/UNEP Life Cycle Initiative, 2006.
- [4] Ecoinvent v2, "The life cycle inventory data version 2", Swiss Centre for Life Cycle Inventories, 2008.
- [5] Nicoletti G.M., Notarnicola B., Tassielli G., "Comparative life cycle assessment of flooring materials: ceramic versus marble tiles", *Journal of Cleaner Production*, 10, 2002, pp.: 283-296.

[6] Bovea M.D., Saura U., Ferrero J.L., Giner J., "Cradle-to-gate study of red clay for use in the ceramic industry", *International Journal of Life Cycle Assessment*, 12 (6), 2007, pp. 439-447.

[7] *Idemat 2001*, Delft University of Technology, The Netherlands,

Agradecimientos

Este trabajo ha sido posible gracias a la financiación de la Generalitat Valenciana al proyecto **GV/2007/094**. Los autores desean agradecer a las empresas que han colaborado y van a colaborar en la elaboración del modelo de inventario.

Correspondencia (Para más información contacte con):

María Dolores Bovea Edo.

Área de Proyectos de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Mecánica y Construcción.

Universitat Jaume I de Castellón. Av. Sos Baynat s/n. E-12071 Castellón. España.

Tel.: 964728112.

Fax: 964728106.

E-mail: bovea@emc.uji.es.

URL: <http://www.ingres.uji.es>