

VALIDACIÓN DE MÉTODOS DE ESTIMACIÓN DE TIEMPOS DE DESMONTAJE EN EL SECTOR DEL MUEBLE

Torrano, I.; Justel, D.^(p); Vidal, R.; Lauroba, N., Garcia, M.; Espartero, S.

Abstract

The disassembly at the end of life (EOL) of the product has acquired importance as a result of the initiatives to reduce environmental impact through the reuse and recycling of components.

To decide what EOL to take, the economic viability must be evaluated. For this purpose, the time of disassembly, the cost of tooling needed, the tools, of the workforce, the logistics, and the building of the energy consumed, have to be known.

The aim of this communication is to determine the validity of the methods of estimating time of disassembly (Kroll, Desai & Mital, etc.) developed for electrical-electronic products within the furniture sector.

Keywords: Design for disassembly, time of disassembly

Resumen

El desmontaje al final de la vida de los productos (EOL) ha adquirido importancia como consecuencia de las iniciativas de reducción del impacto ambiental mediante la reutilización y el reciclaje de componentes.

Para decidir qué EOL adoptar, es necesario valorar la rentabilidad económica. Con este fin se debe conocer: el tiempo de desmontaje, el coste de los utillajes necesarios, el de las herramientas, el de la mano de obra, el de la logística, el del edificio y el de la energía consumida.

El objetivo de esta comunicación es determinar la validez de los métodos de estimación de tiempos de desmontaje (Kroll, Desai & Mital, etc.) desarrollados para productos eléctrico-electrónicos en el sector del mueble.

Palabras clave: Diseño para desensamblaje, estimación de tiempos de desmontaje.

1. Introducción

Antiguamente los productos en su fin de vida iban directamente al vertedero y en algunos casos se reciclaba la materia prima. No obstante, las nuevas tendencias impuestas en los últimos años por la Unión Europea impulsan a la sociedad y a las empresas hacia la sostenibilidad.

De cara al logro de cero residuos, que es una de las estrategias para alcanzar la sostenibilidad, el fin de vida de un producto es un factor clave. En este sentido algunos investigadores han analizado el potencial económico y la eficiencia medioambiental de las estrategias fin de vida (EOL) de un producto. A partir de estas investigaciones han definido un ranking de estrategias EOL a utilizar de acuerdo al potencial económico y a la eficiencia medioambiental [1-2]:

1. Reutilización
2. Reutilizar para alargar el servicio

3. Refabricación
4. Reciclado
5. Deposición en vertedero (Incineración o no)

Para concretar qué EOL utilizar durante las fases de diseño, es preciso valorar la rentabilidad económica y para ello se debe estimar, entre otras cosas, el tiempo de desmontaje, que se supone necesario para desmontar y separar los componentes de un producto para cualquiera de las opciones de fin de vida. De este modo, el desmontaje se ha convertido en un proceso vital.

Justel et ál. [3], en una investigación anterior, identificaron 6 métodos de estimación de tiempos de desmontaje. Esta investigación es una continuación de aquella, en la que se partirá de los tres métodos que resultaron más fiables, y se aplicarán al sector del mueble.

1. Dowie & Kelly (1994)
2. Disassembly evaluation method (DEC), Kroll (1995)
3. Desai & Mital (2003)

El primer y segundo método se desarrollaron para evaluar tiempos de desensamblaje de aparatos del sector eléctrico-electrónico. En cambio el tercero es genérico.

2. Métodos de estimación de tiempos de desmontaje

En la tabla 1 se pueden observar los aspectos y consideraciones que adopta cada método. Dicha tabla se ha completado a partir de diferentes fuentes bibliográficas [4-9].

	Características	Nº de operaciones	Ventajas	Inconvenientes
1.- Dowie & Kelly (1994)	Desarrollado en base al desmontaje de electrodomésticos de línea marrón y blanca, ordenadores, teléfonos y aparatos electrónicos similares	7	Poco tiempo en realizar el cálculo de estimación de tiempo	El método es generalista. Faltan consideraciones, como fuerza necesaria, posicionamiento de la herramienta o la mano, accesibilidad a la unión, tipo de herramienta usada, etc.
2.- Kroll (DEC) (1995)	Desarrollado en base a experimentos de desmontaje manual realizados en pequeños aparatos eléctricos y productos como ordenadores, teclados, monitores e impresoras	16	Muchas operaciones y muchos parámetros. Las operaciones están muy bien definidas, además incluye muchas variantes dentro de cada operación. Además del tiempo de desensamblaje, describe cómo medir la eficacia del proceso, n° de componentes necesarios, etc.	Se tarda bastante tiempo en estimar el tiempo de desensamblaje.
3.- Desai & Mital (2003)	Basado en el sistema MTM (Method Time Measurement).	6 factores	Se puede estimar el tiempo de cualquier tipo de operación.	Dificultad para evaluar operaciones complejas (necesario evaluar numerosas sub-operaciones). No se estima el tiempo total del desensamblaje. No tiene en cuenta las dimensiones del elemento de unión.

Tabla 1. Comparación entre los diferentes métodos de desmontaje a analizar

A la hora de la aplicación de los métodos puede influir de manera muy importante las consideraciones que se hagan. Estas consideraciones pueden ser las siguientes: la experiencia del operario, conocimiento del proceso de desmontaje del producto, la destreza del operario, el grado de obstrucción de los componentes, accesibilidad, etc.

3. Aplicación de los métodos de estimación de tiempos al sector del mueble

En la figura 1 se puede observar la metodología de trabajo seguida para determinar si los métodos de estimación de tiempos de desmontaje desarrollados para el sector eléctrico-

electrónico sirven para el sector del mueble. En primer lugar se define el proceso de desmontaje de los dos armarios analizados (figura 2). Después se procede al desmontaje de los mismos por 6 operarios distintos; mientras se desmonta se procede a la grabación en video. Seguidamente se realiza la medición de los tiempos de desmontaje a partir del video. Después se realiza la estimación de los tiempos de desmontaje mediante los tres métodos mencionados. Finalmente se realiza una valoración de los resultados obtenidos comparando la estimación teórica con la realidad.

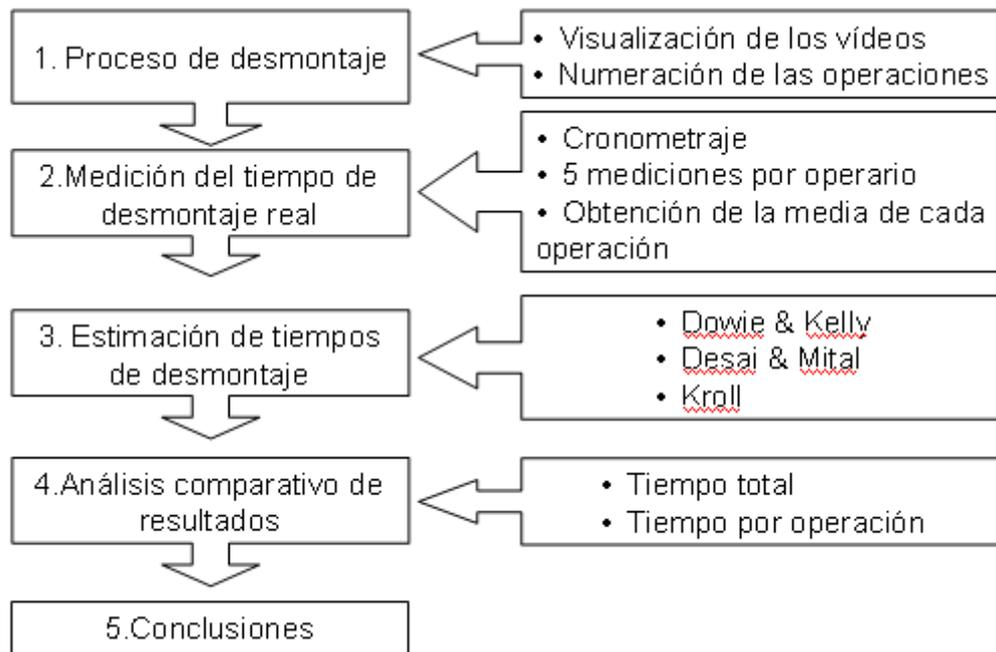


Figura 1. Metodología de trabajo.

3.1 Proceso de desmontaje

En la figura 2 se pueden observar los dos armarios estudiados y los componentes de cada uno de ellos. Para cada uno de los armarios se han definido el proceso de desmontaje (operaciones y herramientas necesarias).

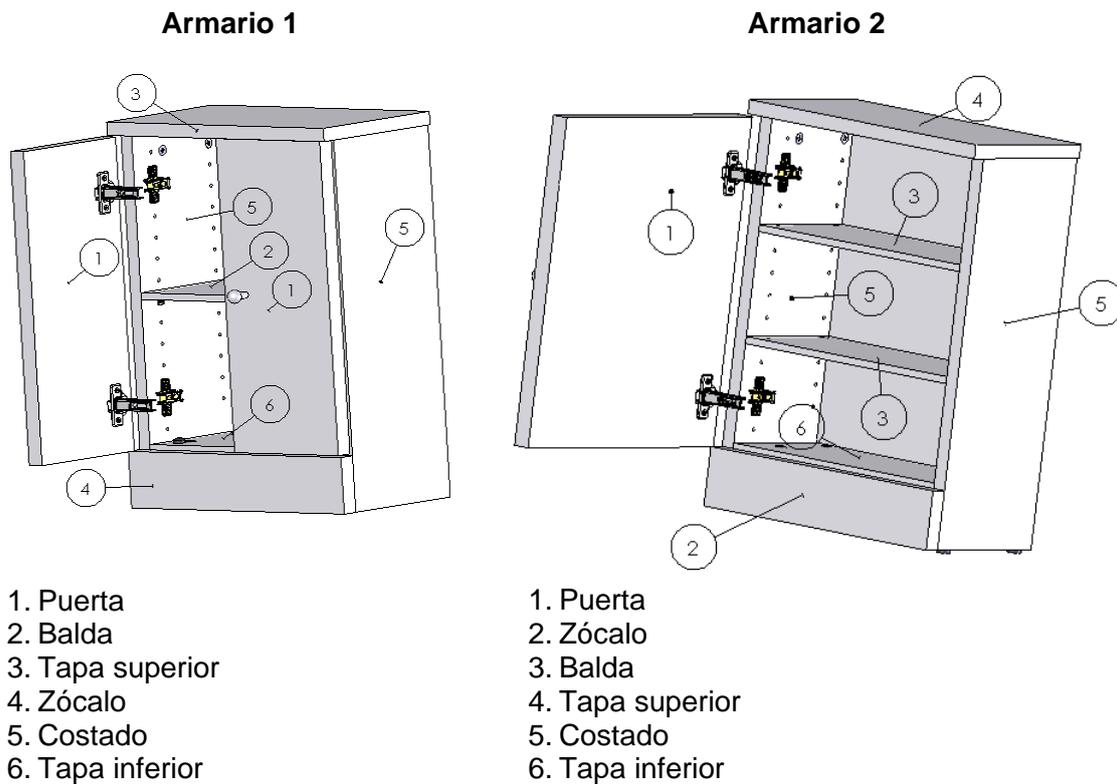


Figura 2. Configuración de los armarios analizados.

3.2 Medición del tiempo de desmontaje real

Una vez determinado de proceso de desmontaje de cada armario se procede a la medición del tiempo real de desmontaje de los mismos. Mediante la observación del vídeo se ha cronometrado a cada uno de los operarios, hasta un total de 5 mediciones por operario y operación. Posteriormente, para cada una de las operaciones, se ha tomado el valor medio de cada operario, para después calcular la media de todos los operarios obteniendo así el tiempo de desmontaje real de dicha operación. La suma de los tiempos de todas las operaciones nos dará el tiempo total de desmontaje para los dos armarios (tabla 2).

Armarios	Tiempo de desmontaje (min)
Armario 1	8,18
Armario 2	7,12

Tabla 2. Tiempos de desmontaje reales.

Se debe tener en cuenta que algunos técnicos de laboratorio son de perfil no mecánico, y por lo tanto presentan menos destreza. También influyen factores como la fatiga y el agotamiento.

Nº	OPERACIONES	MEDIA OPERACIÓN
1	Abrir puerta 1	0,83
2	Soltar bisagras y extraer puerta 1	4,45
3	Extraer bisagras (del mueble)	25,74
4	Extraer bisagras (de la puerta 1)	34,45
5	Abrir puerta 2	1,05
6	Soltar bisagras y extraer puerta 2	4,74
7	Extraer bisagras (del mueble)	47,79
8	Extraer bisagras (de la puerta 2)	27,53
9	Extraer balda	3,49
10	Desatornillar los tornillos donde apoya la balda (del mueble)	34,39
11	Soltar excéntricas tapa superior	24,90
12	Extraer tapa superior	8,92
13	Desatornillar los cuatro enganches de tornillo de tapa superior	21,75
14	Extraer zócalo	3,67
15	Desatornillar los tornillos de cada encaje (del zócalo)	40,40
16	Extraer fondo de armario	4,04
17	Soltar excéntricas costado derecho (de tapa inferior)	6,90
18	Extraer costado derecho	4,28
19	Desatornillar los tornillos de costado derecho	24,59
20	Extraer excéntricas costado derecho	19,55
21	Soltar excéntricas costado izquierdo (de tapa inferior)	6,59
22	Extraer costado izquierdo	3,62
23	Desatornillar los tornillos de costado izquierdo	10,52
24	Extraer excéntricas costado izquierdo	17,15
25	Extraer excéntricas de tapa inferior (4)	16,70
26	Extraer tornillos allen	27,82
27	Extraer zócalo interior	2,62
28	Soltar embellecedores de las patas	10,09
29	Extraer patas	52,00
	TOTAL (min.)	8,18

Tabla 3. Promedio de tiempos de desmontaje reales del armario 1.

3.3 Estimación de tiempos de desmontaje

Para que los resultados obtenidos en cada operación sean comparables es necesario definir un modelo estándar de la operación, ya que no todos los métodos consideran los mismos aspectos. En las figuras 3 y 4 se pueden observar qué aspectos considera cada método. Las casillas de color gris indican si el método permite estimar el tiempo de la tarea o suboperación.

OPERACIÓN:DESTORNILLAR		Dowie & Kelly	Kroll	Desai & Mital	
Operaciones de destornillado	Coger hta.				
	Mov.aproximación				
		Accesibilidad			
		Posicionamiento			
	Destornillar				
		Nº de revoluciones			
		Uso de arandela			
		Métrica			
		Tipo de cabeza			
		Resistencia			
		Depositar tornillo			
	Dejar hta.				

Figura 3. Modelo estándar de la operación de destornillar

OPERACIÓN:EXTRAER		Dowie & Kelly	Kroll	Desai & Mital	
Operaciones de extracción	Alcanzar componente				
		Accesibilidad			
	Extraer				
		Girar			
		Tirar/Empujar			
		Hacer palanca			
		Componente atascado			
		Uso de herramienta			
		Tamaño			
		Nº grados de libertad			
	Dejar el objeto				

Figura 4. Modelo estándar de la operación de extraer

En la tabla 4 se puede ver las estimaciones obtenidas mediante los métodos de Desai & Mital, Dowie & Kelly, y Kroll, y la desviación que presentan con respecto a la realidad. El método que más se ajusta a la realidad es el de Desai & Mital, que tiene una desviación de 9,78 %, y 5,53 %, respectivamente. Le sigue el método de Dowie & Kelly con unas desviaciones de 17,67% y 35,41%. El peor método de los tres es el de Kroll con -28,49% y -29,22%. Una desviación negativa significa que el tiempo estimado es superior al tiempo real de desmontaje.

A nivel global, el error cometido en la estimación del tiempo de desmontaje se puede considerar aceptable.

MÉTODOS DE ESTIMACIÓN		Dowie & Kelly			Desai & Mital			Kroll		
ARMARIOS	TIEMPO TOTAL (MIN)	Tiempo total estimado (min)	Desviación (%) respecto al tiempo total	Desviación media en valor absoluto (%)	Tiempo total estimado (min)	Desviación (%) respecto al tiempo total	Desviación media en valor absoluto (%)	Tiempo total estimado (min)	Desviación (%) respecto al tiempo total	Desviación media en valor absoluto (%)
		Armario 1	8,18	6,73	17,67	36,84	7,38	9,78	39,09	10,75
Armario 2	7,72	4,98	35,41	45,69	7,29	5,53	33,65	10,09	-30,78	62,41

Tabla 4. Estimación de tiempos de desmontaje.

3.4 Análisis comparativo de resultados: Tiempo real vs. Estimaciones

Una vez obtenidas las estimaciones de tiempos de desmontaje se realiza una comparación de los resultados obtenidos. En el subapartado anterior ya se ha mostrado que el método que globalmente más se aproxima a la realidad es el de Desai & Mital.

En este subapartado se va a analizar individualmente cada operación para establecer cuál de los métodos de estimación de tiempos comete menor error en cada operación. Del análisis de la tabla 3 se llega a la conclusión de que para el desensamblado de los dos armarios se han realizado básicamente 2 operaciones elementales: destornillar y extraer.

Una vez definida esta comparación se puede entrar a valorar qué método se adapta mejor para cada operación en concreto. De este modo, se han clasificado las operaciones que tengan las mismas características, y se han agrupado por separado de manera que se puedan extraer nuevas conclusiones. Tras revisar los datos obtenidos se han clasificado las operaciones de la siguiente manera:

Destornillar:

- Tornillos autorroscantes (cortos y largos)
- Tornillos allen

Extraer:

- Sin grado de obstrucción
- Con grado de obstrucción
- Hacer palanca

Además, se ha relacionado cada método de estimación de tiempos con las fases del proceso de diseño de un producto. La tipología de datos disponibles en cada una de ellas es diferente, en la fase conceptual es suficiente conocer que se utilizará un tornillo pero no es necesario conocer sus dimensiones; en cambio, en la fase de diseño de detalle, es preciso identificar las características de cada uno de los sistemas de unión. Por eso, se ha considerado conveniente determinar para las fases de diseño conceptual y diseño de detalle qué método estima con mayor precisión el tiempo de desmontaje (Tabla 5).

OPERACIONES			ETAPA CONCEPTUAL	Desv. MEDIA (%)	DISEÑO EN DETALLE	Desv. MEDIA (%)
DESTORNILLAR	Tornillos autorroscantes	Cortos	Desai & Mital	11,9	Desai & Mital	11,9
		Largos (Lroscada>13mm)	Desai & Mital	32,18	Dowie & Kelly	7,25
	Tornillos Allen	Desai & Mital	47,66	Dowie & Kelly	5,56	
EXTRAER	Sin obstrucción		Dowie & Kelly	20,5	Dowie & Kelly	20,5
	Con obstrucción		Kroll	26,62	Kroll	26,62
	Hacer Palanca		Kroll	26,33	Kroll	26,33

Tabla 5. Comparativa de métodos y obtención del método óptimo.

Etapa Conceptual

Tal y como se puede ver en la tabla 5 en la fase de diseño conceptual para los tornillos autorroscantes cortos se obtiene un error en la estimación de un 11,9%. En los tornillos autorroscantes largos el error es de un 32%. Y en los allen el error es mayor, un 47%. En lo que a la operación de extracción se refiere, el error varía entre un 20,5÷ 26, 62 %.

En lo referente al método que mejor se adapta a esta fase, hay que decir que no hay uno que sea mejor que el resto. En función del tipo de operación el mejor método varía.

Etapa de Diseño en Detalle

En esta etapa el error cometido es menor para la operación destornillar (tornillos autorroscantes largos y allen), y se mantiene el error para destornillar (tornillos autorroscantes cortos) y la operación extraer (ver tabla 5). En los tornillos autorroscantes largos el error disminuye hasta un 7,25% y en los allen a un 5,56%.

5. Conclusiones

Los tres métodos de estimación de tiempos que se han analizado fueron creados originalmente para estimar tiempos de desmontaje en el sector eléctrico-electrónico. Con los resultados obtenidos podemos decir en general se comete un error aceptable, por lo se podrían utilizar en el sector del mueble.

Tras el análisis llevado a cabo, podemos decir que si se considera el tiempo total de desmontaje el método de Desai & Mital es el que mejor se adapta a la realidad con unas desviaciones de un 9,78% y 5,53%, para el armario 1 y 2 respectivamente. En consecuencia, con este método se podrían realizar estimaciones de tiempo de desmontaje en el sector del mueble.

Simultáneamente, se ha determinado qué método utilizar en función de la fase del proceso de diseño en la que se encuentre el diseñador. Así, en la fase de diseño conceptual para estimar tiempos de desmontaje de tornillos solamente se puede emplear el método de Desai & Mital. Sin embargo, para las operación de extraer se podrían utilizar cualquiera de los tres métodos, aunque con Dowie & Kelly y Kroll se obtienen mejores resultados, ver tabla 5. En cuanto a la fase de diseño de detalle, aunque se pueden utilizar todos los métodos, es conveniente hacer una mezcla de ellos para obtener un menor error en las estimaciones.

Por otro lado, se observa que los métodos compensan valores entre diferentes operaciones. En unos casos, las estimaciones de tiempo son por encima del valor real, y en otras, por debajo, con ello al final se obtienen unos errores menores. Un ejemplo claro es lo que ocurre con Desai & Mital, en el caso de los tornillos allen se obtiene un error de un 47,6% por arriba, que posteriormente se compensa con otras operaciones cuya estimación están por debajo, y así, finalmente se obtiene un error 9,78% y 5,53%, para el armario 1 y 2 respectivamente.

Estos resultados nos han motivado para seguir trabajando en un nuevo método de estimación de tiempos de desmontaje.

Referencias

- [1] Rose, C., Beiter, K. and Ishii, K. "Determining of end-of-life strategies as a part of product definition". *IEEE International Symposium for Electronic and the Environment*, Danvers, MA; 1999.
- [2] Rose, M. "Design for environment: a method for formulating product end-of-life strategies". Phd Thesis, Department of Mechanical Engineering. Standford University, 2000, pp.19-144.
- [3] Justel, D., Igartua, A., Vidal, R. and Garcia, M. "Estudio de métodos de evaluación de la desmontabilidad de productos industriales", *X Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos, Valencia*, 2006, 13-15 Septiembre.
- [4] Dowie, T. and Kelly, P. "Estimation of disassembly times". Unpublished technical report, Manchester Metropolitan University. 1994
- [5] Kroll, E. "Ease-of-Disassembly Evaluation in Product Recycling". *Unpublished technical report. Department of Mechanical Engineering*. Texas A&M University. May 1995.
- [6] Kroll, E. "Application of work-measurement analysis to product disassembly for recycling". *Concurrent Engineering Research and Applications*, V4, N2, June1996, pp. 149-157.
- [7] Kroll, E. and Carver, B. "Disassembly analysis through time estimation and other metrics". *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, 15, 1999, 191-200.
- [8] Kroll, E. and Hanft, T.A. "Quantitative evaluation of product disassembly for recycling". *Research in engineering Design*, 10,1998, pp.1-14.
- [9] Desai, A. and Mital, A. "Evaluation of disassemblability to enable design for disassembly in mass production". *International Journal of Industrial Ergonomics*, 32, April 2003, pp.265-281.

Agradecimientos

Los autores agradecemos la financiación recibida del Ministerio de Educación y Ciencia y de fondos FEDER para el proyecto DPI2006-15570-C02-01, así como la recibida de Mondragón Corporación Cooperativa (MCC) y de la Escuela Politécnica Superior (EPS) de Mondragón Unibertsitatea.

También queremos expresar nuestro agradecimiento a los técnicos de laboratorio del antiguo Departamento de Tecnología de la Universitat Jaume I de Castellón (Vicente, Pepe Ortega, Alfonso, Arcadio, Pau, Pepe Fuentes) y en especial a Sara Romero. Igualmente queremos agradecer la ayuda prestada por Vicente Chulvi, miembro del Grupo de Ingeniería del Diseño (GID) de la Universitat Jaume I de Castellón.

Correspondencia (Para más información contacte con):

Daniel Justel Lozano. Mondragon Unibertsitatea,
Escuela Politécnica Superior de Mondragón (EPS)
Departamento de Mecánica y Producción Industrial.
C/ Loramendi nº4. Aptdo. 23. 20500, Arrasate.(España).
Phone: +34 943 794700 Fax: +34 943 791536
E-mail: djustel@eps.mondragon.edu
URL: <http://www.eps.mondragon.es>