

03-036

DFA-LC: DESIGN FOR ASSEMBLY METHODOLOGY CONSIDERING THE PRODUCT LIFE CYCLE

Ezpeleta Lascurain, Iñigo; Justel Lozano, Daniel; Bereau Mutuberria, Unai; Zubelzu Lacunza, Julen

Mondragon Unibertsitatea

Design for Assembly (DFA) methodologies help the designer to take into account the assembly process during the development phases of a product (specifications, conceptual design and detailed design), thus improving the assembly process of the product. Nevertheless, to what extent can they support the life cycle of a product?

The article identifies DFA's contributions to product lifecycle design. Thus, first, a review of the existing DFA methodologies is carried out in order to know how many there are, which are their approaches, and which are the most widespread and best documented. Subsequently, the relationship between the circular economy, products life cycle and DFA methodologies is analysed. Finally, the Design For Assembly Life Cycle (DFA-LC) methodology is defined, which takes into consideration all the phases of a product life cycle from the perspective of product assembly.

Keywords: *DFA methodologies; product development; product life cycle; circular economy*

DFA-LC: METODOLOGÍA DE DISEÑO PARA EL MONTAJE CONSIDERANDO EL CICLO DE VIDA DE PRODUCTO

Las metodologías Design for Assembly (DFA) ayudan al diseñador a tener en cuenta el proceso de montaje durante las fases de desarrollo de un producto (especificaciones, diseño conceptual y diseño en detalle), de esta forma se consigue mejorar el proceso de montaje del mismo. Pero, ¿en qué medida pueden dar soporte en el ciclo de vida de un producto?

La comunicación identifica las aportaciones del DFA en el diseño para el ciclo de vida de los productos. Así, en primer lugar, se realiza una revisión de las metodologías DFA existentes con el objetivo de conocer cuántas existen, cuáles son sus enfoques y cuáles son las más extendidas y mejor documentadas. Posteriormente, se analiza la relación entre la economía circular, el ciclo de vida de un producto y las metodologías DFA. Finalmente, se define la metodología Design For Assembly Life Cycle (DFA-LC) que toma en consideración todas las fases del ciclo de vida de un producto bajo la perspectiva del montaje de producto.

Palabras clave: *Metodologías DFA; desarrollo de producto; ciclo de vida producto; economía circular*

Correspondencia: Iñigo Ezpeleta Lascurain. iezpeleta@mondragon.edu

Acknowledgements/Agradecimientos: Los autores agradecen a la facultad de ingeniería de Mondragon Unibertsitatea, IHOBE (Sociedad Pública de gestión ambiental del Gobierno Vasco) y Orona S.Coop. por financiar este trabajo.



©2019 by the authors. Licensee AEIPRO, Spain. This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

1. Introducción

En un mundo globalizado donde los mercados reclaman cada vez con mayor celeridad la reducción de los tiempos de comercialización de nuevos productos que satisfagan sus necesidades (Makovac & Butala, 1998), la reducción de los tiempos de lanzamiento de nuevos productos resulta clave para la supervivencia de las empresas. En el ciclo de vida de un producto, la fase de diseño representa un periodo corto de tiempo, pero en dicha fase, se dictamina entre el 70% ÷ 90% del coste total del ciclo de vida del mismo (Korpi & Ala-Risku, 2008).

Las metodologías Design For X (DFX), dentro del ámbito del diseño, tratan de aumentar la eficiencia de la fase de diseño, reducir el coste total del producto y reducir el tiempo de desarrollo de los productos (Chiu & Okudan, 2010). Dombrowski, Schmidt y Schmidtchen (2014) en su investigación, identifican 13 métodos DFX entre las que se encuentran: el diseño para el montaje, conocido como Design For Assembly (DFA), diseño para el desmontaje conocido como Design For Disassembly (DFD), Diseño para la mantenibilidad (DFMt), etc.

Las metodologías DFA proporcionan al diseñador un proceso de reflexión y orientación para que el producto pueda ser desarrollado de forma que favorezca el montaje (Otto & Wood, 2001). La aplicación de estas metodologías DFA resultan clave en la reducción de los tiempos de desarrollo y montaje, más aun teniendo en cuenta que las tareas de montaje representan el 50% del tiempo total de producción y el 20% del coste producción de una unidad (Lotter, 1989; Nof, Wilhelm, & Warnecke, 1997). Ante estas mejoras en la reducción de tiempos, numerosas empresas de diferentes ámbitos industriales las han implementado dentro de sus procesos (Wallace & Sackett, 1996).

Actualmente, en Europa, la Unión Europea está impulsando un plan de acción para fomentar la economía circular (European Commission, 2015). Por lo tanto, las empresas deben comenzar a implementar criterios de economía circular. Para ello, deben considerar todo el ciclo de vida de los productos que manufacturan y consecuentemente las metodologías DFA empleadas también deben considerar el ciclo de vida del producto.

2. Objetivo

El objetivo principal de esta comunicación es desarrollar una metodología DFA bajo el enfoque del ciclo de vida de producto. El objetivo principal se divide en 3 sub-objetivos:

1. Realizar un estado del arte en metodologías DFA, con el objetivo de conocer cuántas existen, cuáles son sus enfoques y cuáles son las más extendidas y mejor documentadas.
2. Identificar metodologías DFA que contemplen todo el ciclo de vida producto.
3. Desarrollar una metodología DFA que contemple todo el ciclo de vida de producto.

Por todo ello, en esta comunicación en primer lugar se realiza una revisión de las metodologías DFA. Después, se analiza la relación entre la economía circular, el ciclo de vida de un producto y las metodologías DFA. Seguidamente, se define un nuevo marco para el DFA, bajo el cual se propone una nueva metodología de diseño para el montaje

denominada Design For Assembly Life Cycle (DFA-LC). En la metodología DFA-LC se toman en consideración todas las fases de del ciclo de vida de un producto desde la perspectiva del montaje. En la misma, se definen los procesos para identificar y trasladar las necesidades de montaje de los agentes participantes en las distintas fases del ciclo de vida a la fase inicial de diseño. Finalmente se extraen las conclusiones y se exponen las líneas futuras.

3. Revisión de las metodologías DFA

Tras una revisión bibliográfica de metodologías DFA se han detectado treinta ocho referencias, las cuales, abarcan un periodo que se remonta desde comienzos del año 1970 hasta la actualidad. De cara a clasificar las metodologías derivadas de la búsqueda, se ha optado por emplear los criterios propuestos por Ehlers (2012) a partir de la investigación de Causey (1999). Así, Ehlers clasifica las metodologías DFA en tres generaciones (con cierto grado de superposición en el tiempo entre ellas) en base a la evolución que han experimentado los principios DFA:

- Primera generación: Desde los años sesenta a finales de los setenta.
- Segunda generación: Desde los años setenta hasta la actualidad.
- Tercera generación: Desde la década de 1990 hasta la actualidad.

3.1 Primera generación

La primera generación abarca desde los años sesenta hasta finales de los setenta. Durante esta generación las investigaciones fueron de naturaleza cualitativa (Ehlers, 2012) y se focalizaban en desarrollar reglas o guías de diseño. Un diseñador o un equipo de diseñadores podían rediseñar un producto mejorando su facilidad de montaje, pero durante el proceso carecían de indicadores cuantitativos que los guiasen. Esta forma de rediseñar dependía en gran medida de la habilidad del diseñador para aplicar las guías. Se trataba de una forma de diseñar que requería de mucha mano de obra, pero que sin embargo fue muy válido en su momento. Aún a día de hoy, algunas reglas siguen vigentes, tales como: minimizar número de piezas de un montaje, minimizar las direcciones de montaje una pieza, etc.

Dentro de esta generación se encuentran: Boothroyd, Poli y Murch (1978); Andreasen, Kälhler y Lund (1983); Scarr, Jackson, y McMaster (1986). En esta primera generación también incluiríamos a Bralla (1999) y Edwards (2002) a pesar de situarse fuera de las décadas empleadas para la definición de la misma, ya que proponen guías de diseño.

3.2 Segunda generación

La segunda generación abarca desde los años setenta hasta la actualidad. Las investigaciones son de naturaleza cuantitativa y se focalizan en el desarrollo e implementación de metodologías cuantitativas (Ehlers, 2012). Estas metodologías introducen una medición cuantitativa de la montabilidad en los diseños. Además, permiten identificar las áreas problemáticas y ayudan en el rediseño del producto. Utilizando un enfoque cuantitativo, el diseñador puede probar varias soluciones y rápidamente compararlas entre sí. Estos métodos no suponen una automatización del proceso de rediseño y se sigue necesitando realizar una evaluación minuciosa para buscar soluciones con las que modificar los diseños y obtener diseños más efectivos. Por lo que la habilidad y el conocimiento de la persona que rediseña el producto sigue siendo importante. Sin embargo, la cuantificación ayuda al diseñador a orientar su trabajo. Mediante el empleo de softwares se consigue

agilizar el proceso de implementación de las metodologías, reduciendo el tiempo de aplicación de las mismas. Funcionan de manera muy similar al método manual en base a plantillas, los diseñadores son guiados a través de preguntas y opciones de selección múltiple en el proceso de diseño (Choi & Guda, 2000).

Dentro de esta generación se encuentran las metodologías de: Zorowski (1986) - *The product design merit* (PDM); Poli, Graves y Groppetti (1986) - *Assembly Analysis and line balancing*; Takahashi y Senba (1986) - *Productivity estimation method* (PEM); Miyakawa y Ohashi (1986) - *The Hitachi Assemblability Evaluation Method* (AEM); Yamagiwa (1988) - *Design for cost effectiveness* (DAC); Swift y Miles (1988) *Lucas*; Warnecke y Bäßle (1988) *Assembly Oriented Product Design* (AOPD); Arpino y Groppetti (1988) - *A consultation system for the integration of product and assembly system design* (ASSYST); Sturges (1989) - *Design for assembly calculator*; Boothroyd y Dewhurst (1994) - *Product design for Manufacture and assembly*; Hsu, Lim y Lee (1996) - *State transitional model*; Appleton y Garside (2000) - *Team based design for assembly methodology*; Desai y Mital (2010); Mathieson, Wallace y Summers (2013); Iwaya, Rosso y Hounsell (2013) - *Redesign for Assembly* (RFA); Shetty y Ali (2015); Favi, Germani y Mandolini (2016); Favi, Germani y Marconi (2017) - *4M*; Dochibhatla, Bhattacharya y Morkos (2017); Cabello et al. (2018).

3.3 Tercera generación

La tercera generación abarca desde la década de 1990 hasta la actualidad. En la tercera generación se incluyen los softwares DFA que asumen una parte o todo el proceso de rediseño del producto de acuerdo a los principios de DFA sin orientación humana (Ehrs, 2012). Es decir, se trata de softwares que automatizan el proceso de diseño. Por ejemplo, partiendo de un diseño en tres dimensiones, los softwares autónomamente optimizan el diseño. Mediante el empleo de estos softwares se iría un paso más allá que la de la simple informatización de la segunda generación, puesto que los softwares realizarían partes del proceso de diseño. En este sentido los ordenadores ofrecen la ventaja añadida de poder iterar los diseños mucho más rápido que los seres humanos y acercarse a una solución óptima.

Dentro de esta generación se encuentran: Swift (1983) – *Design for assembly consultation system* (DACon); Rosario y Knight (1989); Holbrook y Sackett (1990) - *Assisted Design for Assembly And Manufacture* (ADAM); Li y Hwang (1992); Lee, Kim y Bekey (1993) - *INtelligent aSsembly Planning Integrated with R E design* (INSPIRE); Mo, Cai, Zhang y Lu - *Function relation model* (FRM) (1999); Dalglish, Jared y Swift (2000) - *DFA Sandpit*; Zha, Du y Qiu (2001) - *Assembly oriented design expert system* ((AODES); Coma, Mascley Véron (2003); Shehab y Abdalla (2006); Sanders et al. (2009); Read, Ritchie y Lim (Read, Ritchie, & Lim, 2017); Alfadhlani et al. (2018).

3.4 Metodologías más extendidas y mejor documentadas

Para conocer cuáles son las metodologías más extendidas y mejor documentadas se ha realizado una recopilación del número de citas que tiene cada metodología en el buscador académico de google a fecha de 20/09/2019. A su vez, se ha clasificado la información disponible sobre cada metodología en 3 rangos: alta, media y baja. Se ha considerado como alta la disponibilidad de la información cuando se dispone de todos los datos para poder aplicar la metodología. Se considera la disponibilidad de información como media cuando la información requerida para la implementación de la metodología no es suficiente y se deben suponer algunos pasos o datos. Por último, se considera que la disponibilidad de información es baja cuando no es posible la implementación de la metodología con la información disponible. En la Tabla 1, Tabla 2, y Tabla 3 se puede observar la recopilación realizada para cada una de las generaciones identificadas anteriormente.

Tabla 1. Metodologías de la primera generación

Primera Generación			
	Autor- Metodología	Citas	Información disponible
1	Boothroyd, Poli y Murch (1978)	11	BAJA
2	Andreasen, Kähler y Lund (1983)	403	ALTA
3	Scarr, Jackson, y McMaster (1986)	18	MEDIA
4	Bralla (1999)	396	ALTA
5	Edwards (2002)	126	MEDIA

Tabla 2. Metodologías de la segunda generación

Segunda Generación			
	Autor- Metodología	Citas	Información disponible
1	Zorowski (1986)	11	BAJA
2	Poli, Graves y Groppetti (1986)	26	BAJA
3	Takahashi y Senba (1986)	0	BAJA
4	Miyakawa y Ohashi (1986)	32	ALTA
5	Yamagiwa (1988)	5	BAJA
6	Swift y Miles (1988)	60	ALTA
7	Warnecke y Bäßle (1988)	78	BAJA
8	Arpino y Groppetti (1988)	9	BAJA
9	Sturges (1989)	34	ALTA
10	Boothroyd y Dewhurst (1994)	2536	ALTA
11	Hsu, Lim y Lee (1996)	9	BAJA
12	Appleton y Garside (2000)	30	MEDIA
13	Desai y Mital (2010)	6	MEDIA
14	Mathieson, Wallace y Summers (2013)	31	MEDIA
15	Iwaya, Rosso y Hounsell (2013)	2	MEDIA
16	Shetty y Ali (2015)	3	MEDIA
17	Favi, Germani y Mandolini (2016)	14	MEDIA
18	Favi, Germani y Marconi (2017)	2	MEDIA
19	Dochibhatla, Bhattacharya y Morkos (2017)	1	ALTA
20	Cabello Ulloa et al. (2018)	0	BAJA

Tabla 3. Metodologías de la tercera generación

Tercera Generación		
Autor- Metodología	Citas	Información disponible
1 Swift (1983)	96	BAJA
2 Rosario y Knight (1989)	25	BAJA
3 Holbrook y Sackett (1990)	5	BAJA
4 Li y Hwang (1992)	54	BAJA
5 Lee, Kim y Bekey (1993)	33	BAJA
6 Mo, Cai, Zhang y Lu (1999)	25	BAJA
7 Dalgleish, Jared y Swift (2000)	49	BAJA
8 Zha, Du y Qiu (2001)	97	BAJA
9 Coma, Mascley Véron (2003)	41	BAJA
10 Shehab y Abdalla (2006)	31	BAJA
11 Sanders et al. (2009)	49	BAJA
12 Read, Ritchie y Lim (2017)	0	BAJA
13 Alfadhani et al. (2018)	0	BAJA

En cuanto a la primera generación, de la Tabla 1 se concluye que las guías más extendidas y con alta disponibilidad de información son: Andreasen, Kälhler y Lund (1983) y Bralla (1999). Se constata que en la última década y media no se ha realizado ninguna aportación. Por lo tanto, se puede concluir que actualmente no se desarrollan.

De la Tabla 2 se concluye que la metodología más extendida de la segunda generación es Boothroyd y Dewhurst (1994), siendo la disponibilidad de información alta. Los últimos años se han seguido realizando aportaciones en esta generación, ya sea mediante la incorporación de metodologías novedosas como las propuestas por Desai y Mital (2010); Favi, Germani y Mandolini (2016) o mediante metodologías basadas en las ya existentes como por ejemplo Shetty y Ali (2015); Dochibhatla, Bhattacharya y Morkos (2017). Se trata de metodologías apropiadas para su implementación en la empresa, puesto que están contrastadas, son relativamente sencillas de implementar y aportan evaluaciones cuantitativas válidas para el diseñador, sin que la simplicidad o complejidad del producto a analizar influya en la ejecución. El problema de cara a su aplicación puede venir de la disponibilidad de información (Tabla 2). La implementación de estas metodologías se realiza durante la fase de lanzamiento de nuevo producto (LNP). Algunos de ellos en la sub-fase de diseño conceptual y otras en la sub-fase de diseño en detalle.

Por último, de la Tabla 3 se concluye que, de la tercera generación, los programas avanzados, más extendidos son: Swift (1983); Zha, Du y Qui (2001). Siendo la disponibilidad de información de todas ellas baja. Las metodologías o programas clasificados en esta generación y que tratan de automatizar todo el proceso de diseño están en continua evolución. A pesar de que existen desarrollos que permiten automatizar partes del proceso de diseño, todavía no se dispone de un software que abarque la automatización de todo el proceso y además, la disponibilidad de

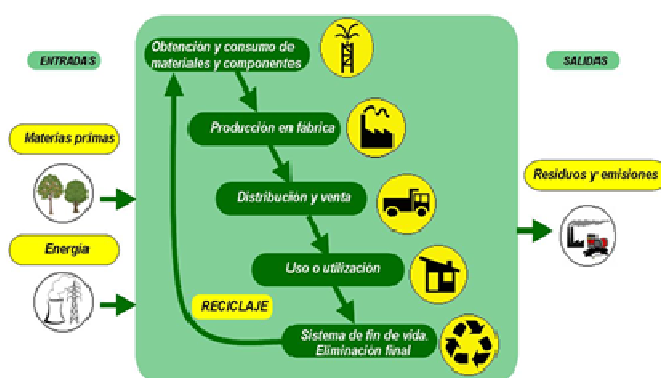
información en todas ellas es baja. Los softwares que automatizan partes del proceso presentan problemas al aumentar la complejidad del diseño a analizar. Por lo tanto, se puede concluir que a pesar de tratarse de softwares más evolucionados que los de la segunda generación, resultan menos adecuados para su aplicación en la empresa. Ya que como afirman Väänänen-Vainio-Matilla, Roto, y Hassenzahl (2008) las tecnologías para poder ser trasladadas del ámbito académico y científico a la realidad industrial deben pasar una fase de experimentación, lo cual viene a corroborar esta última conclusión.

4. Economía circular, ciclo de vida de producto y DFA

Las economías más desarrolladas del mundo se encuentran en proceso de transición de una economía lineal hacia una economía circular. Según Geissdoerfer et al. (2017), la economía circular enmarcada dentro de un marco económico de desarrollo sostenible, viene promovida por un cambio de mentalidad en la que es evidente que los recursos ya no son inagotables y en la que los impactos medioambientales negativos derivados del consumo de recursos están generando el cambio climático, contaminación, pérdida de biodiversidad, etc. La economía circular busca (FEC, 2019): i) que el valor de los productos, los materiales y los recursos se mantengan en la economía durante el mayor tiempo posible, ii) reducir el consumo de los recursos naturales, iii) reducir al mínimo la generación de residuos y iv) cerrar el ciclo de vida de los productos. De esta forma, se consigue alargar la vida útil, facilitar la reparabilidad, mantenibilidad y la reutilizabilidad de los productos (Ihobe, 2015)

Ante este proceso de cambio económico, las empresas también deben de empezar a considerar en sus procesos de diseño y desarrollo criterios de economía circular. Para ello, la visión del ciclo de vida de un producto industrial también se debe concebir de una forma circular. Bajo una perspectiva evaluadora del impacto medioambiental que genera un producto durante su ciclo de vida, Ihobe (2000) define el ciclo de vida según la Figura 1.

Figura 1: Ciclo de vida de producto (Ihobe, 2000)



Esta perspectiva del ciclo de vida de producto (Figura 1) no contempla la fase de lanzamiento de nuevo de producto (LNP), el cual debe ubicarse entre las fases de obtención y consumo de materiales y la de producción en fábrica. La fase de LNP es una fase clave en el ciclo de vida de producto puesto que en ella se definen todas las características del producto. A modo de ejemplo, en la Figura 2 se presenta un proceso genérico de LNP, el cual se compone de las siguientes sub-fases: Definición de especificaciones, diseño conceptual, diseño en detalle, prototipado y preserie.

Figura 2: Fase de lanzamiento de nuevo producto.



Para la concepción circular de la vida del producto, el montaje y desmontaje de productos resultan claves. En este sentido, las metodologías DFA deben ser útiles para las empresas de cara a facilitar el montaje del producto durante todo el ciclo de vida del mismo. Por lo tanto, las metodologías DFA deben considerar todas las fases del ciclo de vida de producto.

Del análisis de la revisión bibliográfica de las metodologías DFA (Tabla1-Tabla 3) realizada en el apartado 3, no se ha encontrado ninguna metodología DFA que considere todas las fases del ciclo de vida del producto en su análisis de montaje. Todas las metodologías se centran en una única fase del ciclo de vida, la fase LNP. Únicamente se ha encontrado un estudio de Yamigiwa, Negishi y Takeda (1999) que considera el ciclo de vida de producto en la metodología DFA. Este estudio propone una modificación en la metodología DAC de la empresa SONY Corp. En la cual, se introduce un enfoque de ciclo vida para identificar las características complejas del montaje y desmontaje durante el desarrollo del producto. La información disponible al respecto es pequeña, no se indica cómo implementar esta modificación en la metodología ni se propone ningún caso de estudio. Ante este contexto, se detecta una oportunidad para plantear una nueva metodología DFA que contemple todas las fases del ciclo de vida de un producto.

5. Metodología DFA-LC

En este apartado primeramente se expondrá el marco teórico para la metodología DFA-LC y posteriormente la propia metodología.

5.1 Marco teórico

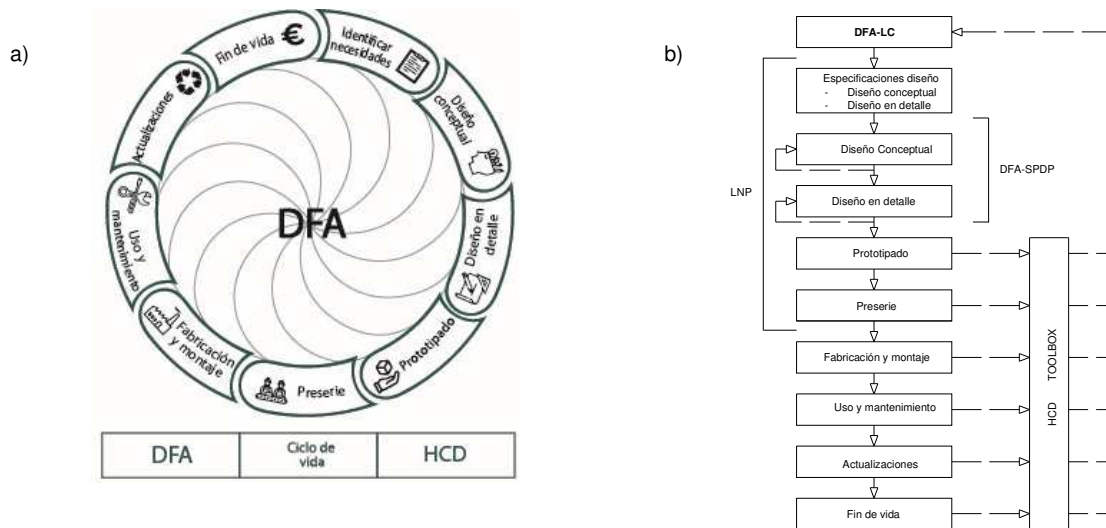
Ante la oportunidad detectada se plantea un nuevo marco teórico para que las metodologías DFA abarquen todo el ciclo de vida de producto (Figura 3). Es decir, un marco donde considerar el diseño para el montaje bajo el prisma del ciclo de vida de producto. Para ello, se propone un marco que se sustenta sobre tres pilares básicos (Figura 3a): Las herramientas human center design (HCD), las metodologías DFA y las fases que componen el ciclo de vida de producto.

- Las herramientas HCD permiten identificar los problemas y las necesidades de los agentes participantes en las diferentes fases del ciclo de vida del producto (Maguire, 2001). En este marco, las herramientas HCD ayudaran a identificar los problemas de montaje detectados por todos los agentes participantes durante las distintas fases de montaje por las que pasa un producto en su ciclo de vida.
- Las metodologías DFA ya existentes y catalogadas en la segunda generación deben formar la columna vertebral donde sustentarse el nuevo marco. Estas metodologías no contemplan todo el ciclo de vida de un producto pero la forma en la cual plantean la simplificación de las actividades de montaje y la evaluación de la facilidad de montaje siguen siendo válidas. La evaluación la realizan mediante diferentes tipos

indicadores: estimación de tiempo de montaje, complejidad del montaje, facilidad de inserción de piezas, etc.

- El marco propuesto debe considerar todas las actividades de montaje que se realizan durante las etapas del ciclo de vida de producto (Figura 3a): identificación de necesidades, diseño conceptual, diseño en detalle, prototipado, preserie, fabricación-montaje, uso-mantenimiento, actualizaciones y fin de vida.

Figura 3: Nuevo marco metodológico (a) y metodología DFA-LC (b)



5.2 Metodología DFA-LC

Bajo el marco teórico propuesto en el punto anterior, se define la nueva metodología Design For Assembly Life Cycle (DFA-LC). Se trata de una metodología circular, continua y que auto-incorpora nuevas especificaciones de montaje durante el ciclo de vida de un producto. Lo cual permite que en los nuevos desarrollos y en los rediseños se plasmen las nuevas especificaciones (Figura 3b). A continuación, se presentan las fases más importantes que se deben considerar en la implementación de la metodología.

- *Fase de especificaciones:* Es una fase clave de la metodología puesto que en ella se definen: i) las especificaciones de producto en base a las necesidades conceptuales identificadas ii) las especificaciones en detalle a cumplimentar por el producto iii) los valores de los indicadores que se medirán durante la aplicación de la metodología. Para esta fase resulta clave crear un equipo multidisciplinar formado por los diferentes agentes participantes durante el ciclo de vida del producto. Esta fase se alimenta continuamente con nuevas especificaciones detectadas por los agentes participantes durante el ciclo de vida producto, lo cual permite realizar mejoras en el producto existente y el lanzamiento de productos con mayor facilidad de montaje.
- *Fases de diseño conceptual y en detalle:* En estas dos fases se propone emplear la metodología DFA-SPDP definida por De autor (2019). La metodología DFA-SPDP combina las 4 metodologías mejor documentadas de la segunda generación Boothroyd-Dewhurst (1994), Swift-Miles (1988), Sturges (1989) y Miyakawa-Ohashi (1986), lo cual aporta la ventaja añadida de:
 - i) Tener en cuenta el montaje tanto durante la sub-fase de diseño conceptual como durante la sub-fase de diseño en detalle. Con ello se logra una mayor optimización del diseño del producto desde el punto de vista de montaje.

- ii) Obtener un mayor número de indicadores para la valoración del diseño desde el punto de vista del montaje.
- *Fase de Prototipado y preserie:* Para la implementación de la nueva metodología DFA-LC, se propone utilizar un HCD toolbox. En él, se recopilan una selección de herramientas HCD más apropiadas para su uso con los agentes participantes durante las diferentes fases de montaje del ciclo de vida del producto. Para determinar qué herramientas del toolbox son las más adecuadas para emplear en cada fase, es necesario que el equipo de personas participantes este completamente definido. El uso de estas herramientas con los equipos participantes permite detectar necesidades o especificaciones de montaje no identificadas. Además, se deben definir los procesos adecuados para trasladar estas necesidades a la fase de especificaciones de diseño. Por lo tanto, para estas fases se deberán:
 - i) Definir los procesos que permitan medir los indicadores definidos en la fase de especificaciones de diseño.
 - ii) Seleccionar del toolbox HCD las herramientas adecuadas que permitan mediante su uso detectar las necesidades o especificaciones de montaje de los agentes participantes no considerados en las especificaciones de diseño.
 - iii) Definir los procesos que permitan trasladar a la fase inicial de LNP las nuevas especificaciones para futuros rediseños o lanzamientos de nuevos productos.
- *Fase montaje, uso y mantenimiento:* Durante estas fases se deberán:
 - i) Definir los procesos que permitan medir los indicadores definidos en la fase de especificaciones de diseño.
 - ii) Seleccionar del toolbox HCD las herramientas adecuadas que permitan detectar las necesidades o especificaciones de montaje de los agentes participantes no considerados en las especificaciones de diseño.
 - iii) Definir los procesos que permitan trasladar a la fase inicial de LNP las nuevas especificaciones para futuros rediseños o lanzamientos de nuevos productos.
- *Fase de actualizaciones:*
 - i) Definir los procesos que permitan medir los indicadores definidos en la fase de especificaciones de diseño.
 - ii) Seleccionar del toolbox HCD las herramientas que permitan detectar las especificaciones de montaje no consideradas en las especificaciones de diseño para ayudar a mejorar el servicio ofrecido a los usuarios finales.
 - iii) Definir los procesos para trasladar a la fase inicial de LNP las especificaciones de montaje.
- *Fase de fin de vida:*
 - i) Definir los procesos que permitan medir los indicadores definidos en la fase de especificaciones de diseño.
 - ii) Seleccionar del toolbox HCD las herramientas que ayuden a detectar las especificaciones de montaje para alargar la vida de diferentes partes del producto que no se hayan considerado en las especificaciones de diseño.
 - iii) Definir procesos para trasladar a la fase inicial de LNP las especificaciones de montaje de cara a alargar la vida de diferentes partes.

6. Conclusiones y líneas futuras

En esta esta comunicación se han presentado 38 metodologías DFA clasificadas en base al criterio de Ehrens (2012). Se han determinado cuáles son las más extendidas en base al número de citas de cada una de ellas en el buscador google académico y se han determinado las mejor documentadas en base a la información disponible sobre cada metodología. Al no considerar ninguna de las metodologías el montaje con una visión de ciclo de vida de producto, se ha propuesto la metodología DFA-LC basada en un nuevo marco. El nuevo marco se fundamenta sobre 3 pilares: herramientas HCD, metodología DFA-SPDP y ciclo de vida. La nueva metodología todavía debe ser desarrollada y definida con mayor detalle para demostrar su validez y potencial sobre un caso real.

Referencias

- Alfadhilani, Samadhi, T. M. A. A., Ma'ruf, A., & Toha, I. S. (2018). A Framework for the Development of Automatic DFA Method to Minimize the Number of Components and Assembly Reorientations. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 319, p. 012083).
- Andreasen, M. M., Kähler, S., & Lund, T. (1983). *Design for Assembly*. IFS and Springer-Verlag.
- Appleton, E., & Garside, J. A. (2000). A team-based design for assembly methodology. *Assembly Automation*, 20(2), 162–170.
- Arpino, F., & Groppetti, R. (1988). ASSYST: A consultation system for the integration of product and assembly system design. In *Developments in Assembly Automation – Japan vs Europe; Product Design for Assembly; Assembly Automation. Proceedings of the 9th International Conference* (pp. 167–179). London, UK: IFS Publications.
- Boothroyd, G. (1994). Product design for manufacture and assembly. *Computer-Aided Design*, 26(7), 505–520.
- Boothroyd, G., Dewhurst, P., & Knight, W. A. (1994). *Product design for manufacture and assembly*. M. Dekker.
- Boothroyd, G., Poli, C. R., & Murch, L. . (1978). *Handbook of Feeding and Orienting Techniques for Small Parts*. University of Massachusetts at Amherst. Dept. of Mechanical Engineering. Automation Project.
- Bralla, J. G. (1999). *Design for Manufacturability Handbook, 2nd edition*. McGraw Hill.
- Cabello Ulloa, M. J., Ramirez Jauregui, A., Zulaika Munain, I., Areitioaurtena Oartzun, M., Retolaza Ojanguren, I., Campos Insunza, M. A., & Martínez Noguera, F. (2018). New integrative approach to existing design for assembly (DFA) methodologies: Application on elevator components. In *Proceedings of the DESIGN 2018 15th International Design Conference* (pp. 215–224).
- Causey, G. (1999). *Elements of agility in manufacturing Auxano Osseointegrative Surface Morphology View project*. Case Western Reserve University.
- Chiu, M.-C., & Okudan, G. E. (2010). Evolution of Design for X Tools Applicable to Design Stages: A Literature Review. In *IDETC/CIE*. Montreal, Quebec, Canada.
- Choi, A. C. K., & Guda, P. (2000). Product design enhancement by integration of virtual design and assembly analysis tools. *Assembly Automation*, 20(4), 283–290.
- Coma, O., Mascle, C., & Véron, P. (2003). Geometric and form feature recognition tools applied to a design for assembly methodology. *Computer-Aided Design*, 35(13), 1193–1210.
- Dalgleish, G. F., Jared, G. E. M., & Swift, K. G. (2000). Design for assembly: Influencing the design process. *Journal of Engineering Design*, 11(1), 17–29.
- De autor (2019). DFA-SPDP, a new DFA method to improve the assembly during all the product development phases. In *29th CIRP Design*. Povia de Varzim, Portugal.

- Desai, A., & Mital, A. (2010). Facilitating Design for Assembly Through the Adoption of a Comprehensive Design Methodology. *Industrial Engineering*, 17(2), 92–102.
- Dochibhatla, S. V. S., Bhattacharya, M., & Morkos, B. (2017). Evaluating Assembly Design Efficiency: A Comparison Between Lucas and Boothroyd-Dewhurst Methods. In *Volume 4: 22nd Design for Manufacturing and the Life Cycle Conference; 11th International Conference on Micro- and Nanosystems* (p. V004T05A012). ASME.
- Dombrowski, U., Schmidt, S., & Schmidtchen, K. (2014). ScienceDirect Analysis and integration of Design for X approaches in Lean Design as basis for a lifecycle optimized product design. In *Procedia CIRP* (Vol. 15, pp. 385–390).
- Edwards, K. L. (2002). Towards more strategic product design for manufacture and assembly: priorities for concurrent engineering. *Materials and Design*, 23, 651–656.
- Ehrs, M. (2012). Is the Automotive Industry Using Design-for-Assembly Anymore? A statistical analysis of repair data. Finland: Vaasan yliopisto.
- European Commission. (2015). Communication from the Comisión to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Closing the loop - An EU action plan for the Circular Economy. COM (2015) 614 final.
- Favi, C., Germani, M., & Mandolini, M. (2016). Design for Manufacturing and Assembly vs. Design to Cost: Toward a Multi-objective Approach for Decision-making Strategies During Conceptual Design of Complex Products. *Procedia CIRP* (Vol. 50, pp. 275–280).
- Favi, C., Germani, M., & Marconi, M. (2017). A 4M approach for a comprehensive analysis and improvement of manual assembly lines. In *27th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing* (Vol. 11, pp. 1510–1518).
- FEC. (2019). Economía Circular | economiecircular.org. Retrieved March 21, 2019, from https://economiecircular.org/wp/?page_id=62
- Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N., & Hultink, E. (2017). Journal of cleaner production., 143(1), 757–768.
- Holbrook, A., & Sackett, P. (1990). Design-for-assembly through knowledge application. *Assembly Automation*, 10(2), 87–92.
- Hsu, W., Lim, A., & Lee, C. S. G. (1996). Conceptual level design for assembly analysis using state transitional approach. In *Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation* (Vol. 4, pp. 3355–3360).
- Ihobe. (2000). Manual práctico de ecodiseño-operativa de implantación en 7 pasos. IHOBÉ, S.A.
- Ihobe. (2015). Ecodiseño para una Economía Circular.
- Iwaya, L. H., Rosso, R. S. U., & Hounsell, M. S. (2013). A Design for Assembly application with dynamic information retrieval from case database*. *IFAC Proceedings Volumes*, 46(7), 186–191.
- Korpi, E., & Ala-Risku, T. (2008). Managerial Auditing Journal Life cycle costing: a review of published case studies. *Managerial Auditing Journal*, 23, 240–261.
- Lee, S., Kim, G. J., & Bekey, G. A. (1993). Combining assembly planning with redesign: an approach for more effective DFA. In *[1993] Proceedings IEEE International Conference on Robotics and Automation* (pp. 319–325). IEEE Comput. Soc. Press.
- Li, R.K., & Hwang, C.-L. (1992). A framework for automatic DFA system development. *Computers & Industrial Engineering*, 22(4), 403–413.
- Lotter, B. (1989). *Manufacturing assembly handbook*. London: Butterworths.
- Maguire, M. (2001). Methods to support human-centred design. *Int. J. Human-Computer Studies*, 55, 587–634.
- Makovac, M., & Butala, P. (1998). The Role of DFA in Product Development - An Industrial Case Study. In *IFAC Proceedings Volumes* (Vol. 31, pp. 129–134). Elsevier.
- Mathieson, J. L., Wallace, B. A., & Summers, J. D. (2013). Assembly time modelling through connective complexity metrics. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 26(10), 955–967.

- Miles, B. L., & Swift, K. G. (1988). Design for Assembly. *Automotive Engineer*, 13(3), 38–40.
- Miyakawa, S., & Ohashi, T. (1986). The Hitachi Assemblability Evaluation Method (AEM). In *Proceedings of 1st Int. Conf. on Product Design for Assembly, 1986*.
- Mo, J., Cai, J., Zhang, Z., & Lu, Z. (1999). DFA-oriented assembly relation modelling. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 12(3), 238–250.
- Nof, S. Y., Wilhelm, W. E., & Warnecke, H. J. (Hans-J. (1997). *Industrial Assembly*. London: Chapman and Hall.
- Otto, K. N., & Wood, K. (2001). *Product Design: Techniques in Reverse Engineering and New Product Development*. New Jersey: Prentice Hall.
- Poli, C., Graves, R., & Groppetti, R. (1986). Rating products for ease of assembly. *Machine Design*, 58(19), 79–84.
- Read, A., Ritchie, J., & Lim, T. (2017). Haptic Virtual Reality DFMA - A Case Study. In *International Conference on Virtual Reality and Augmented Reality* (pp. 24–38).
- Rosario, L. M., & Knight, W. A. (1989). Design for Assembly Analysis: Extraction of Geometric Features from a CAD System Data Base. *CIRP Annals*, 38(1), 13–16.
- Sanders, D., Chai Tan, Y., Rogers, I., & Tewkesbury, G. E. (2009). An expert system for automatic design-for-assembly. *Assembly Automation*, 29(4), 378–388.
- Scarr, A., Jackson, D., & McMaster, R. (1986). Product design for robotic and automated assembly. In *Proceedings. 1986 IEEE International Conference on Robotics and Automation* (Vol. 3, pp. 796–802). Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- Shehab, E. M., & Abdalla, H. S. (2006). A Cost-Effective Knowledge-Based Reasoning System for Design for Automation. In *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture* (Vol. 220, pp. 729–743). SAGE.
- Shetty, D., & Ali, A. (2015). A new design tool for DFA/DFD based on rating factors. *Assembly Automation*, 35(4), 348–357.
- Sturges, R. H. (1989). A quantification of manual dexterity: the design for an assembly calculator. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 6(3), 237–252.
- Swift, K. G. (1983). A computer based design consultation system. *Assembly Automation*, 3(3), 151–154.
- Takahashi, K., & Senba, K. (1986). Design for automatic assembly. In *Proceedings of the 7th international Conference on Assembly Automation* (pp. 149–160).
- Väänänen-Vainio-Matilla, K., Roto, V., & Hassenzahl, M. (2008). Towards practical user experience evaluation methods. In *Proceedings of the International Workshop on Meaningful Measures: Valid Useful User Experience Measurement (VUUM)* (pp. 19–22). Reykjavik, Iceland.
- Wallace, G., & Sackett, P. (1996). Integrated design for low production volume, large, complex products. *Integrated Manufacturing Systems*, 7(3), 5–16.
- Warnecke, H. J., & Bäbler, R. (1988). Design for Assembly — Part of the Design Process. *CIRP Annals*, 37(1), 1–4.
- Yamagiwa, Y. (1988). Assembly ease evaluation method: DAC, for product designers-from improved production to good design. Japan Efficiency Association, JMA Production management.
- Yamagiwa, Y., Negishi, T., & Takeda, K. (1999). Life cycle design achieving a balance between economic considerations and environmental impact with assembly-disassembly evaluation/design: DAC (design for assembly/disassembly cost-effectiveness). In *Proceedings First International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing* (pp. 760–765). IEEE.
- Zha, X. ., Du, H. ., & Qiu, J. . (2001). Knowledge-based approach and system for assembly-oriented design, Part II: the system implementation. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 14(2), 239–254.
- Zorowski, C. F. (1986). PDM a product assemblability merit analysis tool. In *Design Engineering Technical conference*. Columbus, Ohio 5-8.