

Aplicación del **design-for-assembly** en el desarrollo de un nuevo chasis para armarios de distribución eléctrica



Alberto Comesaña-Campos*
José Benito Bouza-Rodríguez**
Antonio Riveiro-Rodríguez*
Luis González-Piñeiro**

Ingeniero Industrial
Doctor Ingeniero Industrial
Doctor Ingeniero Industrial
Doctor Ingeniero Industrial

* CENTRO UNIVERSITARIO DE LA DEFENSA. Escuela Naval Militar de Marín. Plaza de España, 2 - 36920 Marín. Tfno: +34 986 804900.

** UNIVERSIDADE DE VIGO. ETSII. Campus Universitario Lagoas-Marcosende - 36310 Vigo (Pontevedra). Tfno: +34 986 812218. lpineiro@uvigo.es

Recibido: 14/07/2011 • Aceptado: 07/12/2011

DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/4323>

APPLICATION OF DESIGN-FOR-ASSEMBLY TO DEVELOP A NEW CHASSIS FOR ELECTRICAL CABINETS

ABSTRACT

• Introduction

The technique related to the elaboration of electrical cabinets provides, in most cases, solutions that imply a high heterogeneity of pieces, high costs, complexity and excessive time of assembly. Moreover, it does not allow to exchange pieces between the cabinets of different manufacturers, which generates individualized and not reusable structures. In particular, the structures responsible for supporting the electrical devices and wiring, collectively known as the chassis of the electrical cabinet, is a paradigmatic example of this problem for its high impact on the time and cost of assembling a standard electrical cabinet.

Materials and Methods

In order to reduce this problem, we have used the Design-for-Assembly (DFA) method to evaluate existing designs and create a new chassis from the point of view of the assembly stage.

DFA method considers aspects of the final assembled process in early stages of the conceptual design, providing an effective methodology for the achievement of new designs, more robust, simple and objectively reliable.

Results

A new chassis were designed according to the guidelines of the DFA method, after being identified the problems and evaluated a representative sample of the different existing chassis. It has been reduced the number of parts and increased their versatility and ease of assembly.

Conclusions

Finally, we have obtained a new chassis which improves the results of the prior DFA evaluation and reduces the time and cost of manufacture. In addition, DFA method has been proved as an effective guide in the conception and implementation of new designs.

• **Keywords:** Design Process, Design for Assembly (DFA), Assembly Process, Electrical Cabinets

RESUMEN

Introducción

La técnica relacionada con la elaboración de armarios eléctricos aporta, en la mayoría de los casos, soluciones que implican una elevada heterogeneidad de piezas, costes elevados, complejidad y tiempos de montaje excesivos. Además, no permite la permutabilidad entre los armarios de los diferentes fabricantes, lo que genera estructuras individualizadas y no reutilizables. En especial, las estructuras encargadas de dar soporte a la aparatamenta y cableado, conjuntamente conocidas como chasis del armario eléctrico, son un ejemplo paradigmático de esta problemática por su alto impacto en los tiempos y costes de montaje de un armario eléctrico estándar.

Materiales y Métodos

Con el fin de reducir esa problemática se ha empleado el método DFA (*Design-for-Assembly*) para evaluar los diseños actuales y crear un nuevo chasis más eficiente de cara al montaje.

DFA considera aspectos del proceso de ensamblado final en las etapas iniciales de concepción del diseño, aportando una metodología eficaz para la realización de

los nuevos diseños, objetivamente más robustos, sencillos y fiables.

Resultados

Una vez identificados los problemas y evaluada una muestra representativa de los diferentes chasis actuales, se ha diseñado un nuevo chasis, según las directrices del método DFA, reduciendo el número de piezas y aumentando su versatilidad y facilidad de montaje.

Conclusiones

Finalmente, se ha obtenido un nuevo chasis que mejora los resultados de la evaluación DFA previa y que logra acortar los tiempos y costes de fabricación. Además, el método DFA se ha mostrado como una guía eficaz en la concepción y ejecución de los nuevos diseños.

Palabras clave: Proceso de Diseño, Diseño para el Ensamblaje (DFA), Procesos de Montaje, Armarios Eléctricos

1. INTRODUCCIÓN

La evolución experimentada en las últimas décadas en el sector de los armarios de distribución eléctrica ha sido muy significativa, tanto en el apartado de la seguridad y funcionamiento como en el diseño orientado a una reducción de costes y facilidad de manejo. En muchos casos los cambios se han introducido a medida que se desarrollaban nuevas normas con el fin de adaptar, de manera homogénea, los productos a la nueva reglamentación. Sin embargo, en otros casos, cuando la norma deja vía libre a los fabricantes, los desarrollos obtenidos resultan muy heterogéneos.

Es por ello que, actualmente, no existe una completa estandarización en la fabricación de armarios eléctricos de manera que la oferta existente es muy variada, existiendo innumerables modelos. Esta diversidad complica la logística de materiales, su manipulación y la integración de las distintas marcas. Es decir, si entendemos un armario eléctrico como la unión de la envolvente externa y el conjunto de soportes

interiores, que denominaremos chasis, en el mercado actual cada fabricante posee modelos propios no intercambiables con otras marcas. Los armarios se diseñan sin considerar características primordiales en su montaje y uso posterior.

El empleo de métodos de diseño enfocados a características que debe poseer el producto, especialmente durante su ciclo de vida, es algo bien conocido y agrupado bajo las siglas DFX (*Design for X*, siendo X una de esas características) (Huang, 1996), (Kuo et al., 2001). Los DFX son un conjunto de métodos que tienen en consideración, durante las fases iniciales del diseño, características que deben cumplir los productos durante su fabricación y una vez que salgan al mercado (Viñoles-Cebolla et al., 2008). Además, todas las metodologías de diseño centrado en el usuario (Gulliksen et al., 2003) guardan una estrecha relación con los desarrollos de DFX y sus derivados. Al hacer estas consideraciones se logra diseñar productos más baratos, más adaptables al mercado, y en ciertos casos de mayor calidad, empleando tiempos más ajustados, pues se reduce la necesidad de fases de rediseño o modificación derivadas del uso del producto.

En el caso de los armarios eléctricos el punto de vista del montador es fundamental. Estos armarios son productos que son montados por personal electricista en un taller o en una obra. Por lo tanto, una de las características fundamentales que deben poseer es la de ser de fácil montaje, empleando el menor número de piezas y evitando, de ser posible, el uso de elementos externos de sujeción como por ejemplo tornillos. Asimismo, ligado a esto, sus piezas y subconjuntos deberían ser versátiles y poder adaptarse a diferentes modelos con el fin de evitar demoras por la falta de recambios.

Considerando estas características como fundamentales en el diseño de un buen armario eléctrico, en el presente artículo nos proponemos mejorar el chasis de un armario eléctrico empleando un método DFX, concretamente el *Design for Assembly* (DFA).

El DFA, introducido por Geoffrey Boothroyd en 1977 (Boothroyd et al., 2002), considera características asociadas al montaje de un producto durante la fase inicial del diseño y

Métodos de diseño: Design for X

Los Design for X son métodos de diseño basados en determinar el desarrollo de un nuevo producto centrándose en alguno de sus factores (X) que le afectan a lo largo del ciclo de vida del producto. Dentro de la familia de métodos, agrupados bajo las siglas DFX, encontramos diferentes tipos según sea la característica guía del diseño, a saber:

- Design for Assembly* (Boothroyd et al., 2002) – Se diseña pensando en el futuro montaje del producto.
- Design for Manufacture* (Boothroyd et al., 2002) – Se diseña pensando en la fabricación del producto.
- Design for Storage* (Kuo et al., 2001) – Se diseña pensando en el almacenamiento y distribución del producto.
- Design for Quality* (Kuo et al., 2001) – Se diseña pensando en los factores de calidad asociados al producto.
- Design for Environment* (Kuo et al., 2001) – Se diseña todo el ciclo de vida del producto considerando principios de sostenibilidad ecológica, social y económica, reduciendo, además, el impacto en el medio ambiente.
- Design for Ergonomics* (Beitz et al., 2003) – Se diseña pensando en la ergonomía del producto cara al usuario.
- Design for Aesthetics* (Beitz et al., 2003) – Se diseña primando la estética del producto.
- Design for Maintainability* (Beitz et al., 2003) – Se diseña considerando en futuro mantenimiento del producto.
- Design for Recycling* (Kuo et al., 2001) – Se diseña pensando en que los componentes del producto puedan reciclarse al final del ciclo de vida del producto.

permite solventar los problemas anteriormente mencionados.

El objetivo general del presente trabajo es diseñar y desarrollar un nuevo chasis para los armarios eléctricos que sea de fácil montaje, formado por un número reducido de piezas, de bajo coste, versátil y que permita integrar la diversidad de apartamentas, canaletas y equipos de automatización y comunicaciones existentes en el mercado. Para todo ello se empleará el método DFA que considera los aspectos de ensamblado final en las etapas iniciales de concepción del diseño.

Para materializar este objetivo general, se definen una serie de objetivos específicos que son:

- 1- Disminuir la dispersión de componentes necesarios para el montaje mediante la optimización del número de piezas necesarias para la composición de cualquier tipo de armario.
- 2- Mejorar los tiempos y procesos de montaje para la reducción de costes de mano de obra.
- 3- Aumento de las prestaciones y utilidad de las piezas diseñadas.

- 2- Combinar todas las partes aisladas, creando conjuntos en el ensamblaje.
- 3- Simplificar el ensamblaje final a través de optimizar todas las operaciones necesarias (Yazdani y Holmes, 1999).

Asimismo, establece una herramienta de análisis y evaluación de la eficiencia del diseño en función de las consideraciones antes descritas. Esto sirve para evaluar modelos existentes y compararlos con nuevos diseños.

2.2. DESCRIPCIÓN DE UN CHASIS DE ARMARIO ELÉCTRICO

Para llevar a cabo la aplicación del método DFA es necesario realizar una inspección previa de los posibles problemas y limitaciones de los chasis de los armarios eléctricos actuales.

Como ya se comentó previamente, si observamos las estructuras más características de los armarios de distribución eléctrica, podemos distinguir dos partes claramente diferenciadas: las envolventes y los chasis. El chasis es la

El método DFA aporta al diseñador (Boothroyd et al., 2002):

- Una estimación, en etapas iniciales del diseño, de la complejidad tanto del producto como de su montaje, evitando de este modo focalizar el diseño únicamente en las funciones del producto sin considerar ni los costes del producto ni la competitividad del mismo.
- Una guía de diseño para simplificar el producto, lo que repercutirá en un ahorro en los costes de montaje y piezas.
- Una guía de consulta de datos útiles para el diseño (tiempos de montaje, costes, etc.) recogidos en base a la experiencia que podría paliar una posible inexperiencia del diseñador.

2. MATERIAL Y METODOS

2.1. EL MÉTODO DFA Y SUS CARACTERÍSTICAS

El DFA (Boothroyd et al., 2002), (Hsu y Lin, 1998), (Andreasen et al., 1983) es un método de diseño en el cual los productos son diseñados considerando especialmente la facilidad de montaje del producto final. Resulta claro que si un producto contiene menos piezas se tardará menos tiempo en ensamblar. Además, si las partes se proporcionan con características que las hacen más fáciles de entender, mover, orientar e insertar, esto también reducirá el tiempo de ensamblaje y los costes correspondientes. Aquí es donde se observan los beneficios principales de la aplicación del Diseño para el Ensamblaje.

DFA es una probada herramienta de diseño (Dalglish et al., 2000) y se relaciona con sistemas de diseño enfocados a la calidad (Bimal et al., 2006), (Suh, 1995), lo que le aporta una elevada eficacia. Todo ello convierte a este método de diseño en una herramienta que propicia resultados óptimos.

El método DFA se puede resumir en tres actuaciones básicas, que son:

- 1- Eliminar todos los elementos de sujeción prescindibles, especialmente, tornillos, tuercas y arandelas.

parte del armario eléctrico cuya misión es dar soporte a la apartamentas eléctrica y a todos sus elementos de instalación, fijándolos a la envolvente del armario. Contiene diferentes subconjuntos, uno de los cuales será lógicamente un sistema de sujeción de carriles.

Los sistemas de sujeción de carriles normalizados se componen, asimismo, de una serie de piezas que anclan el carril normalizado a la estructura del chasis del armario. Son el elemento clave de cualquier chasis, condicionando la forma, el tiempo de montaje y el comportamiento del resto de componentes del mismo.

De este modo, podemos dividir el chasis en cuatro subconjuntos principales:

- Subconjunto 1: formado por las barras ancladas a la estructura y sobre las que se apoyan los demás subconjuntos y que denominaremos barras verticales de apoyo. El sistema de sujeción de los carriles emplea estas estructuras para fijarse al resto del armario. Además, sobre estas barras, y a través de diferentes soluciones se colocan las canaletas, elementos auxiliares que sirven para alojar los cables.

- Subconjunto 2: es el que se compone de las piezas que actúan de nexo entre el subconjunto 1 y el carril normalizado. Constituye, por lo tanto, el sistema de sujeción, y básicamente su modo de operar es el de, primero sujetar el carril normalizado a un soporte y luego éste a la barra vertical de apoyo.
- Subconjunto 3: formado por las canaletas para alojar los cables y las barras auxiliares necesarias para su colocación.
- Subconjunto 4: es el que componen los carriles normalizados según norma DIN (o carriles DIN) para la colocación de la aparamenta eléctrica.

En la Figura 1 se puede observar la distribución de estos subconjuntos en una disposición habitual.

Con el objetivo de contrastar más los nuevos modelos, además de la disposición habitual mostrada en la Figura 1, se ha considerado otra, distribuida del mismo modo y presente en el mercado.

La Figura 1 representan un chasis comercial básico en el que se usan tornillos para fijar todas las piezas. Sin embargo, en el mercado también se encuentran otro tipo de chasis que emplean combinaciones de sistemas de fijación. Ese es el caso de la Figura 2.

En la Figura 2 el chasis mantiene la distribución de subconjuntos, variando los elementos que conforman el subconjunto 2. Así, este subconjunto pasa de estar constituido

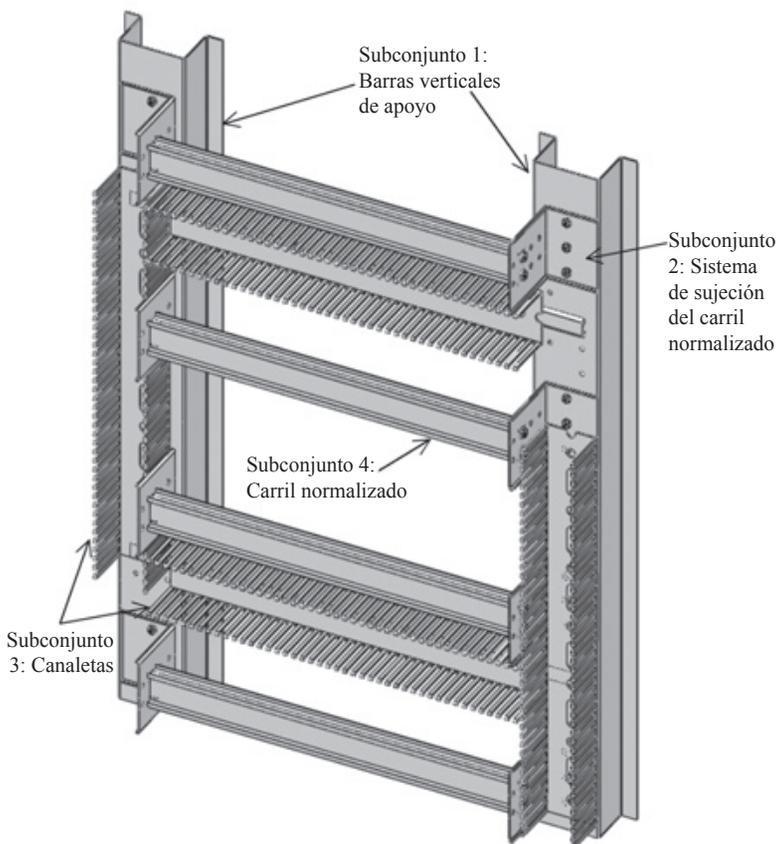


Figura 1: Vista de los subconjuntos principales de un chasis para un armario de distribución eléctrica

por una única pieza (el soporte) a estar formado por dos piezas unidas mediante un tornillo. Estas dos piezas, una, el soporte, y otra, que podemos denominar pieza intermedia, encargada de fijar el carril DIN al soporte, se unen mediante un tornillo. Además, el soporte se fija a la barra vertical de apoyo mediante dos tornillos y una pequeña lengüeta (ver detalle de la Figura 2). Esto mejora, ya el montaje del chasis mostrado en la Figura 1 y, por lo tanto, supone una mejora presente en el mercado.

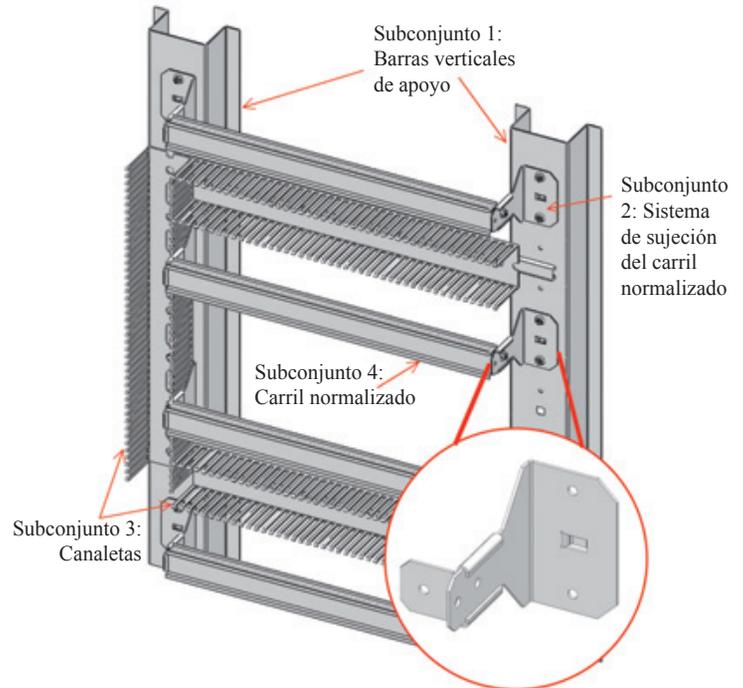


Figura 2: Vista de un chasis comercial para un armario de distribución eléctrica, junto con el detalle del soporte empleado

3. RESULTADOS

Previamente a la aplicación y evaluación del método en los nuevos diseños, identificaremos los problemas detectados en un chasis común de un armario eléctrico comercial, evaluándolo posteriormente con DFA.

3.1. DETERMINACIÓN DE LOS PROBLEMAS Y LIMITACIONES DE LOS CHASIS ACTUALES

Siguiendo la distribución interna antes señalada, abordaremos a continuación los problemas identificados en el chasis.

Subconjunto 1: Barras verticales de apoyo

Se han observado, en una muestra representativa de los diferentes fabricantes, una tendencia clara hacia construir estas estructuras pensando únicamente en su funcionamiento como soporte de los carriles DIN (a través de las piezas-nexo correspondientes) olvidando en ocasiones otras funciones de las mismas. Sobre estas barras también

se colocan posteriormente las canaletas, mediante unos sistemas de fijación que encuentran limitaciones en la forma y accesibilidad de las propias barras verticales de apoyo. Los tiempos invertidos para, por ejemplo, fijar una barra auxiliar para colocar encima la canaleta son excesivos, puesto que la propia forma impide o dificulta los accesos de las herramientas. Por otra parte, no ofrecen ninguna otra alternativa al sistema tradicional de colocación de canaletas, reduciendo su función a ser una base del chasis y aporte en el fortalecimiento estructural del armario.

Subconjunto 2: Soportes de unión del carril DIN con la barra vertical

Las piezas que actúan de nexo entre la barra vertical de apoyo y los carriles DIN son de vital importancia en el desempeño final del armario. El sistema habitual más sencillo (ver Figura 1) consta de un solo soporte a través del cual, mediante el empleo de tornillos, se fija el carril a la barra vertical. Sin embargo también existen sistemas formados por dos piezas (como se puede observar en la Figura 2): una, el soporte, fijado a la barra vertical y otra, una pieza intermedia, que fija el propio carril DIN al citado soporte. En ambos casos, el principal problema detectado deriva de la manera de fijar las diferentes piezas. Lo más habitual es encontrar sistemas en los que la sujeción del soporte a la barra vertical se logra a través de elementos ajenos al propio soporte, tales como tornillos. Todo esto incrementa notablemente el número de piezas, y, por lo tanto, incrementa el tiempo y número de operaciones necesarias para el ensamblaje final del chasis. Como ejemplo, en la Figura 3 mostramos un modelo comercial habitual en el cual se emplean únicamente tornillos tanto para fijar el carril DIN al soporte como para fijar el soporte a la barra vertical de apoyo. Nótese el tiempo que lleva atornillar los cuatro tornillos.

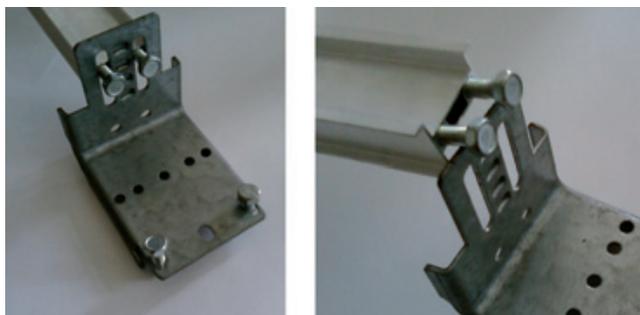


Figura 3: Sistema comercial de sujeción de carriles.

Subconjunto 3: Canaletas

En lo relativo a la sujeción de canaletas cada fabricante ofrece formas diferentes de colocarlas dentro de las envolventes de los armarios (véase Figura 4), e incluso, en ocasiones, ni siquiera se contemplan estas formas de sujeción en el montaje del armario. La más frecuente es emplear una barra auxiliar atornillada a las barras verticales del chasis sobre la cual se fija la canaleta también mediante

tornillos, tal y como se puede ver en las imágenes de la Figura 4. Sin embargo no se encuentra una solución que no conlleve demoras y aumento de la complejidad en los procesos de montaje debido a la necesidad de adaptar las estructuras internas de los armarios a la forma escogida para sujetar las canaletas; forma que habitualmente es elegida por el personal encargado del montaje.

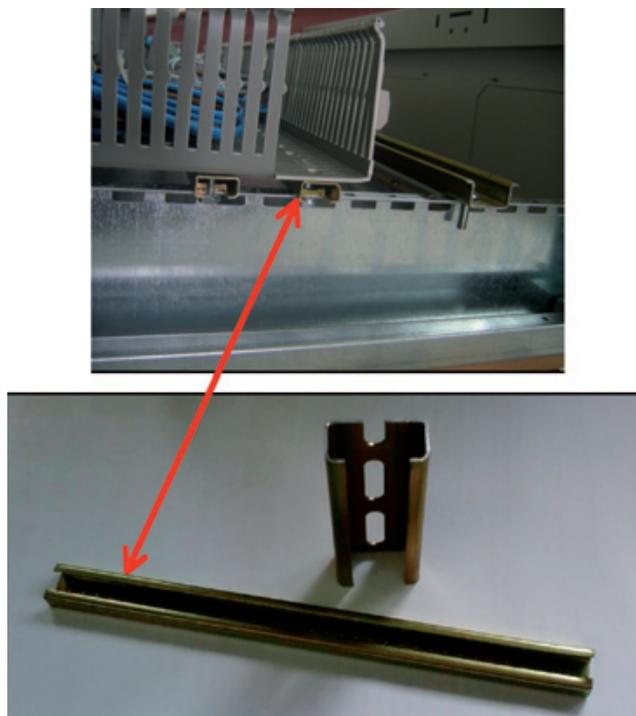


Figura 4: Sistema habitual de colocación de canaletas basado en el empleo de una barra auxiliar

Subconjunto 4: Carril Normalizado DIN

Los carriles DIN son unos elementos de muy elevada especificidad. Quizá su función, únicamente de soporte de la aparatada, quede un tanto reducida.

3.2. LA EVALUACIÓN SEGÚN DFA

Tomando como referencia los chasis anteriores (ver Figuras 1 y 2) se ha elaborado una previa evaluación DFA de un ejemplo representativo de los modelos de chasis existentes para valorar la eficiencia de esos diseños y, de este modo, poder contrastar estos valores con los obtenidos con los nuevos diseños. En las Figuras 5 y 6 se muestra esta evaluación y los resultados obtenidos en la misma. En ella se puede ver como se realiza una valoración del tiempo invertido y coste asociado en los procesos de manejo e inserción durante el ensamblaje de cada una de las partes del chasis estudiado.

Los datos fueron obtenidos, en su mayor parte, observando las tablas de datos existentes para la aplicación del método DFA (Boothroyd et al., 2010). Sin embargo, algunos de ellos, sobre todo los relativos a piezas más específicas del sector eléctrico, fueron tomados y recopilados en talleres de

montaje de armarios eléctricos que contaban con montadores profesionales cualificados.

En lo relativo al cálculo de costes se ha supuesto un coste aproximado para la mano de obra de 30 euros por cada hora de trabajo, resultando un coste de unos 0.0085 euros (0.85c€) por cada segundo de trabajo.

Con esos datos se calculan tanto el tiempo total estimado como el coste total estimado de operación, además de realizar una estimación (última columna de la tabla) del número de partes mínimas teóricas. Este último término representa a cada una de las partes esenciales de un ensamblaje, que no es posible combinar con otras y cumple alguno de los criterios siguientes (Boothroyd et al., 2002):

- Se mueve relativamente respecto de otras partes ya ensambladas.
- Está elaborada en otro material.
- Está separada del resto de partes ensambladas.

Para calcular este número de partes mínimas teóricas es necesario contar con la experiencia y perspectiva del diseñador para evaluar y diferenciar las diferentes partes del ensamblaje en la búsqueda de un diseño más simplificado.

Finalmente se calcula la eficiencia del diseño que se define como el cociente entre el tiempo ideal de ensamblaje y el tiempo total estimado de ensamblaje. El primer término se calcula como el número total de partes mínimas teóricas multiplicado por 3. El número 3 representa la suma de los tiempos teóricos de

manipulación (1.5 segundos) e inserción (1.5 segundos) de un componente ideal que no presenta dificultades de ensamblado.

	ITEMS (I)	MANIPULACIÓN	INSERCIÓN	TIEMPO DE OPERACIÓN	COSTE DE OPERACIÓN	PARTES MÍNIMAS TEÓRICAS
		Tiempo por ítem (MT)	Tiempo por ítem (IT)	I * (MT + IT) = TO	TO * 0.85 = CO	
BARRA VERTICAL	2	4.1	12.0	32.2	27.4	2
SOPORTE	8	2.7	2.0	37.8	32.2	8
TORNILLOS SOPORTE	40	1.1	8.0	365.2	310.4	0
CARRIL DIN	4	4.1	2.5	26.4	22.4	4
CANALETA	4	4.1	2.0	24.4	20.7	4
TORNILLOS CANALETA	28	1.1	8.0	255.6	217.3	0
BARRA AUXILIAR	4	4.1	10.5	58.4	49.6	0
TORNILLOS BARRA AUX.	8	1.1	42.0	345.0	293.3	0

TIEMPO TOTAL (TT) Segundos	COSTE TOTAL (CT) c€	PARTES MÍNIMAS TEÓRICAS (PMT)
1145.12	973.35	18.00
EFICIENCIA DEL DISEÑO		
$(3 * PMT / TT) * 100$		
4.72%		

Figura 5: Evaluación DFA previa de un chasis comercial genérico (ver Figura 1)

	ITEMS (I)	MANIPULACIÓN	INSERCIÓN	TIEMPO DE OPERACIÓN	COSTE DE OPERACIÓN	PARTES MÍNIMAS TEÓRICAS
		Tiempo por ítem (MT)	Tiempo por ítem (IT)	I * (MT + IT) = TO	TO * 0.85 = CO	
BARRA VERTICAL	2	4,1	12,0	32,2	27,4	2
SOPORTE	8	2,7	2,0	37,6	32,0	8
TORNILLOS SOPORTE	16	1,1	8,0	146,1	124,2	0
PIEZA INTERMEDIA	8	2,7	2,0	37,6	32,0	8
TORNILLOS PIEZA INTERMEDIA	8	1,1	8,0	73,0	62,1	0
CARRIL DIN	4	4,1	2,5	26,4	22,4	4
CANALETA	4	4,1	2,0	24,4	20,7	4
TORNILLOS CANALETA	28	1,1	8,0	255,6	217,3	0
BARRA AUXILIAR	4	4,1	10,5	58,4	49,6	0
TORNILLOS BARRA AUX.	8	1,1	42,0	345,0	293,3	0

TIEMPO TOTAL (TT) Segundos	COSTE TOTAL (CT) c€	PARTES MÍNIMAS TEÓRICAS (PMT)
1036,40	880,94	26,00
EFICIENCIA DEL DISEÑO		
$(3 * PMT / TT) * 100$		
7,53%		

Figura 6: Evaluación DFA previa de un chasis comercial genérico (ver Figura 2)

Una vez hechos los cálculos se obtiene la eficiencia del diseño. Dicha eficiencia es del 4.72% para el chasis mostrado en la Figura 1 y de un 7.53% para el mostrado en la Figura 2.

que se reducirán piezas y se acortarán los tiempos de ensamblado. Asimismo se evitará su uso en el anclaje de las canaletas, lo que provocará que las

Recomendaciones generales de diseño según DFA (Boothroyd et al., 2002):

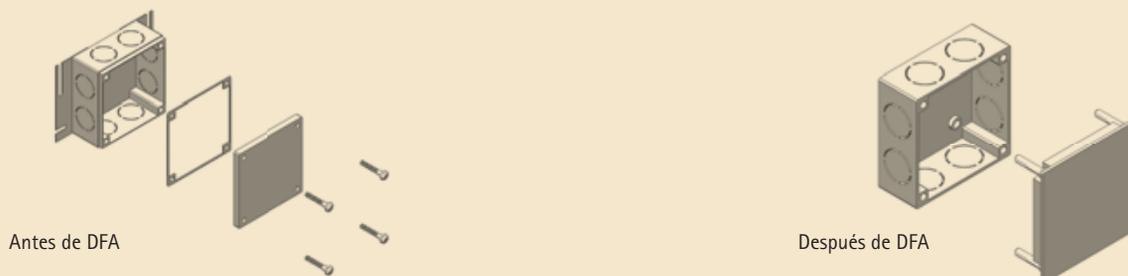
Enfocadas al manejo de las diferentes piezas

- Diseñar favoreciendo la máxima simetría de las piezas. De no ser posible, favorecer lo contrario, la máxima asimetría.
- Diseñar las piezas para que no contengan partes o zonas que dificulten su montaje sobre otras.
- Diseñar evitando que las piezas sean resbaladizas, delicadas, flexibles, demasiado pequeñas, demasiado grandes o peligrosas en su manipulación por parte del montador.

Enfocadas a la colocación de las piezas

- Diseñar las piezas favoreciendo su montaje unas sobre otras mediante la reducción del esfuerzo de inserción a través del uso de chaflanes y evitando atascos.
- Diseñar pensando en la estandarización de partes comunes, procesos y métodos comunes a la línea de productos.
- Diseñar pensando en un montaje progresivo sobre una pieza o base común.
- Diseñar favoreciendo el fácil alineamiento de las piezas que deben montarse de forma concéntrica.
- Diseñar evitando que las piezas durante su montaje tengan que ser colocadas de modo dificultoso.
- Diseñar evitando el uso de fijaciones mecánicas que empleen elementos externos.
- Diseñar para que el montaje final no deba variar en gran medida su orientación durante el propio proceso de montaje.

A continuación se muestra un ejemplo de aplicación de DFA en el rediseño de una caja de derivación de las utilizadas en pequeñas instalaciones eléctricas, donde se observa el antes y el después del diseño.



3.3. LOS NUEVOS DISEÑOS BASADOS EN EL MÉTODO DFA

Para el diseño de un nuevo chasis se han tenido en consideración, además de las aportaciones que, basándose en su experiencia, han sugerido los propios encargados de montar armarios eléctricos, las principales directrices del método DFA. A saber:

- Reducción de partes: se buscó recortar el número de piezas y subconjuntos de piezas presentes en el diseño, bien eliminándolos por innecesarios o excesivos, o bien fusionando varias piezas o subconjuntos en un único subconjunto.
- Eliminación de los elementos superfluos de sujeción: DFA recomienda evitar el uso de tornillos, por lo que ese será el punto de partida del nuevo diseño. Se suprimirán todos los tornillos existentes en el sistema, desde los que fijan el soporte hasta los que fijan el carril DIN al propio soporte, con lo

barras auxiliares actualmente empleadas también se eliminan.

- Facilidad de montaje: el soporte, entendido como el componente clave del sistema, dado que condiciona mucho el tiempo del montaje, se ha diseñado de manera que contiene en su base los elementos que le servirán para asegurar su conexión. Debe estar constituido en un único bloque, aportando todas las sujeciones que se pretenden mediante modificaciones de su geometría. Además debe ser simétrico e intercambiable con su homólogo del lado opuesto. Junto a esto, el sistema debe contener soluciones que integren en él la colocación de las canaletas.
- Diseño a medida: mediante el diseño de un pequeño conjunto de dos piezas se logra anclar la canaleta al carril DIN y, por lo tanto, al resto de la estructura del armario.

Empleando las directrices previamente mencionadas, se ha diseñado un nuevo chasis completo para un armario eléctrico. El nuevo chasis, como se muestra en la Figura 7, se compone, al igual que los mostrados en las Figuras 1 y 2, de una serie de subconjuntos formados, a su vez, de una serie de piezas diversas. Salvo los carriles normalizados, se han diseñado todos los demás subconjuntos. Estos subconjuntos son:

1. Subconjunto 1: Barras verticales de apoyo
2. Subconjunto 2: Sistema de sujeción de carriles normalizados
3. Subconjunto 3: Sistema de sujeción de canaletas

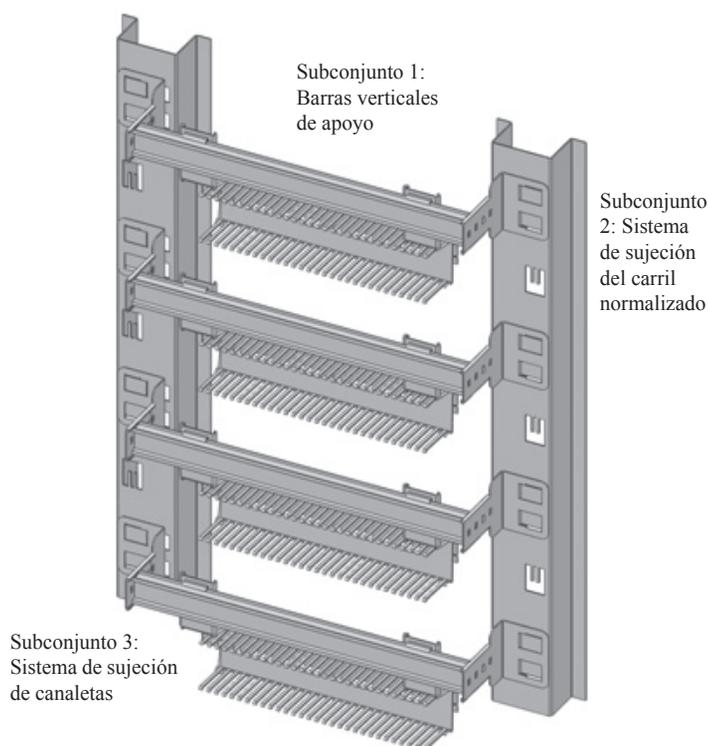


Figura 7: Vista del nuevo chasis diseñado, ensamblado con todos sus subconjuntos

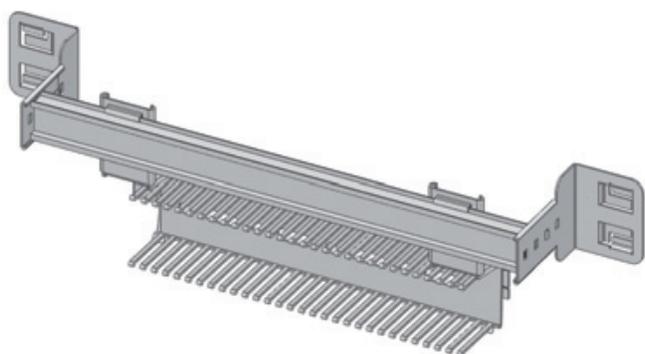


Figura 8: Vista de los nuevos sistemas de sujeción de carriles y de canaletas

Las barras verticales de apoyo han sido diseñadas con el objetivo de que sean simétricas y, por lo tanto, puedan

ser colocadas indistintamente a uno u otro lado del chasis. Asimismo, debido a su función de soporte del resto de subconjuntos, contienen todos los cortes y agujeros necesarios para acoger el nuevo sistema de sujeción de carriles normalizados.

Su diseño está ligado al propio del sistema de sujeción, por lo que las condiciones y fundamentos del mismo son análogos a éste.

El sistema de sujeción de carriles normalizados (véanse las Figuras 8, 9 y 10) constituye el principal aporte del diseño. Se han eliminado por completo los elementos externos, como por ejemplo los tornillos, planteando un sistema de dos piezas. Como se puede ver en la Figura 10, el sistema se compone únicamente de un soporte (1) y una pieza (2) de enganche del carril DIN (3). Todo el sistema de sujeción del soporte a las barras verticales se ha resuelto con soluciones geométricas a través de dos pares de lengüetas que fijan la pieza en la barra vertical a través de un posicionamiento bidireccional. Además, el carril DIN, donde se fija la aparatenta, encaja en el propio soporte y efectúa funciones estructurales propias impidiendo el retroceso del mismo. El sistema de sujeción solventa los problemas derivados del empleo de tornillos para sujetar los carriles DIN a los soportes y éstos a las envolventes.



Figura 9: Vista del nuevo sistema de sujeción de carriles

Para diseñar el nuevo sistema de sujeción, como ya se mencionó, se emplearon soluciones geométricas, basadas en la realización de sistemas de fijación en la propia estructura del soporte. De esta manera partiendo de la modificación de la forma básica del soporte (ver Figuras 1 y 3) se ha logrado crear nuevas caras y aristas en ella, permitiendo con ello la fijación del soporte en la barra vertical. Esta modificación de la forma conlleva, comparando el soporte inicial y el propuesto, una mayor complejidad en la fabricación, hecho considerado durante el diseño, pero que no supone un hándicap real a la hora de fabricar la pieza.

Para el montaje del sistema de sujeción en el chasis (véase la Figura 11), primero, dos soportes deben ser anclados, cada uno mediante la combinación de dos movimientos, a las barras verticales de ambos lados a través de las lengüetas que poseen en su base. Las barras verticales contendrán a tal efecto unos agujeros distribuidos a lo largo de su cara frontal, en grupos de dos, simétricos entre ellos y con forma de L invertida donde los huecos de la barra vertical son lo suficientemente anchos como para, primero permitir

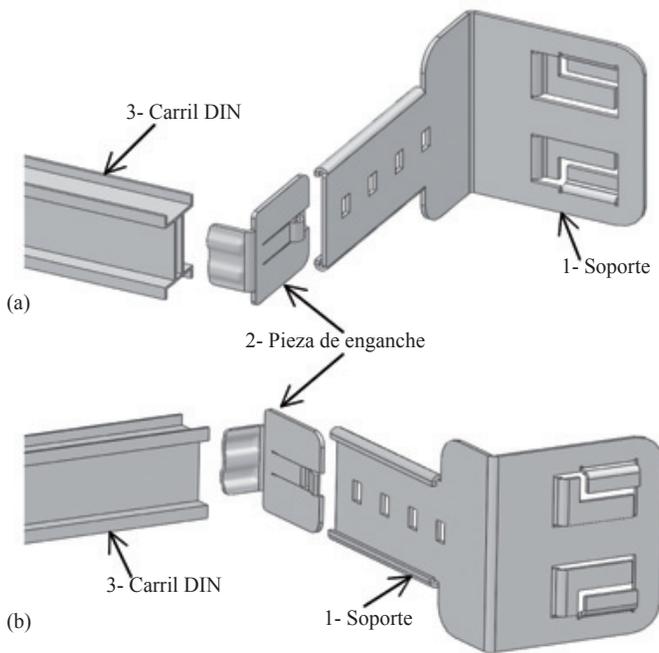


Figura 10: Vista explosionada frontal (a) y posterior (b) del nuevo sistema de sujeción de carriles.

el paso de las lengüetas del soporte y después, permitir el deslizamiento hasta la posición de anclaje. Luego, se lleva a cabo el montaje en los carriles DIN mediante enclavamiento en sus caras laterales de las pestañas que a tal efecto presentan las piezas de enganche que se situaran a ambos lados del carril. Estas dos piezas, junto con el carril DIN, se sujetarán después a los soportes mediante deslizamiento, anclándose a través de la presilla que lleva integrada la pieza de enganche. En este montaje, los carriles DIN no sólo desempeñan su función habitual como marco de enganche para la aparatada eléctrica, sino que impiden el retroceso de los soportes que lo sujetan a las barras. Debido a la simetría de los mismos, el retroceso en ambos es opuesto, por lo que el carril sirve igualmente como fijación. Recurriendo a un sistema de lengüetas múltiples, unida a la citada función del carril DIN colocado entre pares enfrentados de soportes, se logra un

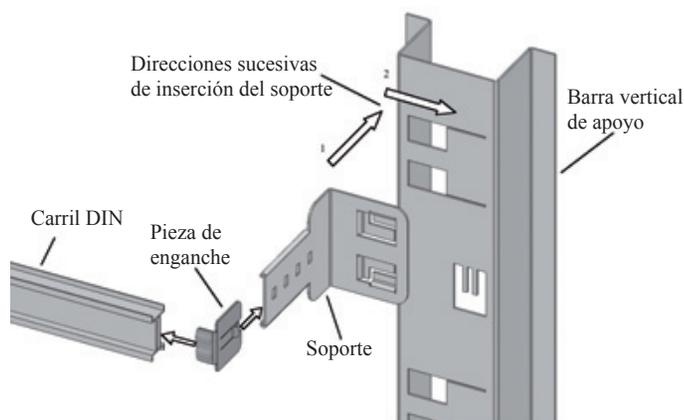


Figura 11: Vista del montaje del sistema de sujeción de carriles en la barra vertical

anclaje de los carriles a la barra vertical lo suficientemente estable, efectivo y robusto como para prescindir de elementos externos tales como tornillos.

El sistema de sujeción de canaletas diseñado (véanse Figuras 12 y 13) pretende uniformizar la forma y el modo de colocar estos elementos en los chasis de los armarios. Para ello el nuevo sistema, como se puede observar en la Figura 13, está formado por una soporte (4) para las canaletas (5) y una presilla (6) para sujetar la canaleta a este soporte (4).

Para la sujeción de las canaletas (véase Figura 7) el sistema posee dos elementos: un soporte enganchado al carril DIN y una presilla metálica y elástica para agarrar las canaletas. El soporte para canaletas se ancla al carril DIN, por la parte posterior de éste, mediante unas guías rebordeadas que presenta el soporte y por donde encaja por deslizamiento en los bordes guía del carril, los mismos que los empleados para colocar la aparatada eléctrica. La canaleta se coloca en la parte inferior de este soporte y se sujetará a través de la presilla metálica y elástica.

El diseño de este nuevo sistema de sujeción de canaletas se basa en el empleo de una presilla que sujeta la canaleta a un soporte anclado al carril DIN. Ambas piezas, presilla y soporte, aprovechan la forma y características de elementos presentes en todo armario eléctrico. Así, la presilla se ha diseñado considerando los huecos que dejan entre sí las patillas plásticas, de modo que puede sujetar la canaleta fácilmente. Del mismo modo, el anclaje del soporte al carril DIN se efectúa gracias a las guías rebordeadas que éste último presenta habitualmente y que son usadas para colocar la aparatada eléctrica.

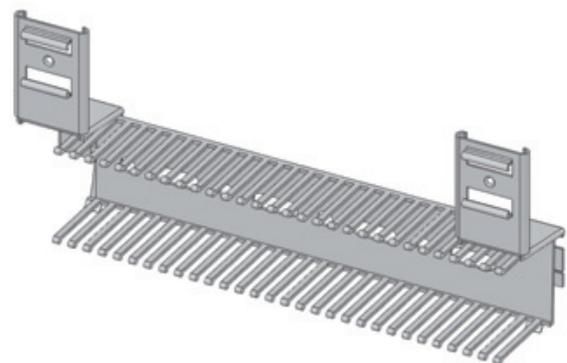


Figura 12: Vista del nuevo sistema de sujeción de carriles

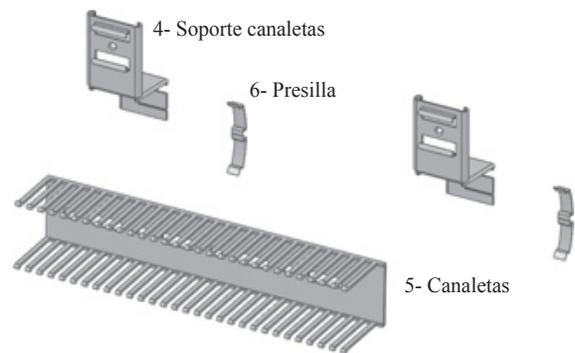


Figura 13: Vista explosionada frontal del nuevo sistema de sujeción de canaletas

3.4. EL PRODUCTO FINAL. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DFA.

La evaluación a través del método DFA del nuevo chasis diseñado (ver Figura 7) nos devuelve los resultados mostrados en la Figura 14, donde se observa como la eficiencia del diseño ha aumentado claramente, obteniendo un valor final del 30,65%. Este dato se puede comparar con los valores obtenidos en las evaluaciones previas de los chasis comerciales que eran, en el caso más genérico (ver Figura 1) de un 4,72% y en el otro modelo comparado (ver Figura 2) de un 7,53%. En ambos casos, el porcentaje de eficiencia del diseño resultante de los nuevos modelos es considerablemente mayor que los obtenidos previamente. La distribución y estructura es análoga a la aplicada en la tabla de la Figura 4. Asimismo las condiciones de obtención y recogida de datos son las mismas que en la evaluación precedente.

4. DISCUSIÓN

Mediante la aplicación del método DFA, tal y como ha sido expuesto previamente, se ha llevado a cabo un rediseño de un chasis para armarios de distribución eléctrica. Para ello, se desarrollaron piezas específicas y sistemas de ensamblaje rápido.

Con la inclusión del nuevo chasis, se lograron una serie de armarios eléctricos compuestos por un número sustancialmente menor de elementos que mantienen, y en la mayor parte de los casos mejoran, las prestaciones y servicios de sus homólogos actuales.

Para medir esta mejora, se ha aplicado la evaluación inherente al método DFA que valora el porcentaje de eficiencia del diseño enfocado al ensamblaje. Aplicando esta evaluación a una muestra representativa de los chasis actuales y, posteriormente, al nuevo sistema diseñado, se ha observado que el porcentaje aumentaba, en los dos casos de comparativa establecidos, en más de un 25%.

Si comparamos estos datos con los obtenidos en la numerosa bibliografía sobre ejemplos de aplicación del método DFA, observamos que, en todos ellos, la aplicación del método ha supuesto un aumento de la eficiencia del diseño a través, principalmente, del rediseño e integración de las partes y la supresión de elementos externos de sujeción.

De este modo, con la presente aplicación del método DFA ha quedado de manifiesto que este método y, en general cualquier método DFX es una manera eficaz y segura de mejorar cualquier diseño y reducir costes y tiempos, incluso si estos son ya bajos. Las recomendaciones, guías, consejos y herramientas asociadas al método poseen ya una más que probada eficacia, avalada por centenares de casos bien documentados y casi permiten asegurar una mejora en el diseño, tal y como acabamos de demostrar.

	ITEMS (I)	MANIPULACIÓN	INSERCIÓN	TIEMPO DE OPERACIÓN	COSTE DE OPERACIÓN	PARTES MÍNIMAS TEÓRICAS
		Tiempo por item (MT)	Tiempo por item (IT)	$I * (MT + IT) = TO$	$TO * 0.85 = CO$	
BARRA VERTICAL	2	4.1	12.0	32.2	27.4	2
SOPORTE	8	2.7	5.0	61.8	52.6	8
PIEZA DE ENGANCHE	8	2.7	4.5	57.6	49.0	8
CARRIL DIN	4	4.1	5.0	36.4	30.9	4
SOPORTE CANALETAS	8	2.7	3.5	49.6	42.2	8
PRESILLA	8	1.1	7.5	68.8	58.5	0
CANALETA	4	4.1	2.5	26.4	22.4	4

TIEMPO TOTAL (TT) Segundos	COSTE TOTAL (CT) c€	PARTES MÍNIMAS TEÓRICAS (PMT)
332.84	282.91	34.00
EFICIENCIA DEL DISEÑO		
$(3 * PMT / TT) * 100$		
30.65%		

Figura 14: Evaluación DFA final del nuevo diseño del chasis

5. CONCLUSIONES

El método DFA y, en general, cualquier método enfocado a un factor esencial de un diseño, aporta un valor añadido al proceso de diseño. Además, aporta no sólo recomendaciones de diseño al ingeniero, sino una herramienta para medir cuantitativamente la eficiencia del mismo en etapas previas a la fabricación. Esto supone ahorro tanto en tiempos como en costes.

Todo ello, ha convertido, en nuestro caso, al método DFA en una guía general de diseño del nuevo chasis, lo que ha mejorado las técnicas y métodos habituales basados en las consideraciones y experiencia de cada fabricante.

El incremento de la eficiencia del diseño en más de un 25% sugiere que la aplicación de las directrices del método DFA deriva en productos más eficientes desde el punto de vista del ensamblaje, reduciendo el número de piezas y el número de operaciones de montaje.

Los modelos empleados para la comparativa (ver Figuras 1 y 2) representan chasis que se encuentran en el mercado en la actualidad y que, por lo tanto, son fruto de un proceso de diseño. DFA ha permitido evaluar sus carencias desde un punto de vista centrado en el montaje, lo cual repercute obligatoriamente sobre los tiempos y costes del proceso, y nos ha permitido contrastar la eficiencia del nuevo diseño.

Así, a la vez que se han detectado los problemas principales que lastran los chasis comerciales, el empleo del método DFA ha sugerido estrategias de diseño perfectamente contrastadas en la propia bibliografía y bases de datos del método. Por esta causa se han eliminado todos los elementos externos de fijación, se ha favorecido la facilidad del montaje y se ha buscado la integración e interacción de los diferentes subconjuntos del chasis.

Desde el punto de vista del diseñador, el uso y aplicación del método DFA ha supuesto en nuestro caso:

- 1) Una reducción de los tiempos de montaje y, por lo tanto, de los costes asociados.
- 2) Una mejora evidente en los sistemas de fijación de los carriles normalizados en los chasis de armarios eléctricos.
- 3) Una solución sencilla para la colocación de las canaletas en los chasis que soluciona la gran diversidad de soluciones presentes en el mercado.
- 4) Un incremento de la versatilidad de los componentes del chasis, pues todos son intercambiables y útiles a ambos lados del carril DIN.
- 5) Un aumento de la facilidad de montaje del chasis, y, por extensión del armario eléctrico, que, sin considerar el cableado eléctrico, podría ser efectuado sin problemas por montadores que contasen con poca o ninguna experiencia en el sector.

Como punto final, quisiéramos destacar que la aplicación del método DFA, o cualquiera análogo de la familia de los DFX, en un sector como el de la industria eléctrica supone un nuevo horizonte sobre el que basar futuros trabajos. Así, como líneas de trabajo futuras se podría buscar además

enfocar los diseños tanto de los propios componentes eléctricos como de sus envolventes considerando factores relacionados con el circuito eléctrico para facilitar todas las operaciones de cableado. Por otro lado, integrando los DFX con los actuales métodos de desarrollo se lograrían los primeros pasos para optimizar aún más una industria apoyada en una tecnología muy eficaz y conocida pero susceptible de mejora desde el punto de vista de la logística, el montaje y la propia distribución eléctrica.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Andraesen MM, Kahler S, Lund T, et al. *Design for Assembly*. 2ª edición. Berlín:Springer-Verlag, 1983. 198p. ISBN: 978-09-036-0835-0.
- Beitz W, Pahl G, Wallace K. *Engineering Design: A Systematic Approach*, 4ª edición. Londres: Springer, 2003, 544p, ISBN: 978-35-401-9917-5.
- Bimal N, Monplaisir L, Singh N. "A methodology for integrating design for quality in modular product design". *Journal of Engineering Design*. 2006, Vol.17-5, p.387-409. <http://dx.doi.org/10.1080/09544820500275081>
- Boothroyd G, Dewhurst P, Knight W. *Product design for manufacture and assembly*. 2ª edición. Nueva York:Marcel Dekker, 2002, 720p, ISBN: 082470584X.
- Boothroyd G, Dewhurst P, Knight W. *Product design for manufacture and assembly*. 3ª edición. Boca Raton: CRC Press, 2010, 670p, ISBN: 978-14-200-8927-1.
- Dalgleish GF, Jared GEM, Swift KG. "Design for assembly: Influencing the design process". *Journal of Engineering Design*. 2000, Vol.11-1, p.17-29. <http://dx.doi.org/10.1080/095448200261162>
- Gulliksen J, Göransson B, Boivie I, et al. "Key principles for user-centred systems design". *Behaviour & Information Technology*. 2003, Vol.22-6, p.397-409. <http://dx.doi.org/10.1080/01449290310001624329>
- Hsu HY, Lin GCI. "A Design-for-assembly-based product redesign approach". *Journal of Engineering Design*. 1998, Vol.9-2, p.171-195. <http://dx.doi.org/10.1080/095448298261615>
- Huang GQ. *Design for X: Concurrent Engineering Imperatives*. Londres: Chapman & Hall, 1996. 489p. ISBN: 978-04-127-8750-8.
- Kuo TC, Huang SH, Zhang HC. "Design for manufacture and Design for 'X': concepts, applications, and perspectives". *Computers & Industrial Engineering*. 2001, Vol.41, p.241-260. [http://dx.doi.org/10.1016/S0360-8352\(01\)00045-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0360-8352(01)00045-6).
- Suh NP. "Designing-in of quality through axiomatic design". *IEEE Transactions on Reliability*. 1995, Vol.44, p.256-264. <http://dx.doi.org/10.1109/24.387380>
- Viñoles-Cebolla R, Bastante-Ceca MJ, Pacheco Blanco B, et al. "Diseño para el fin de vida de pequeños electrodomésticos. Caso de estudio de cepillos dentales eléctricos". *DYNA Ingeniería e Industria*, Noviembre 2008, Vol.83-8, p.507-515.
- Yazdani B, Holmes C. "Four models of design definition: sequential, design centered, concurrent and dynamic". *Journal of Engineering Design*. 1999, Vol.10-1, p.25-37. <http://dx.doi.org/10.1080/095448299261407>