

La simplicidad recompensa

Diseño orientado a la fabricación y el montaje (DFMA) en ABB

Tomasz Nowak, Marcin Chromniak, Robert Sekula, Lucas-Lu Gao

El aumento de la competitividad es un hecho reconocido por todas las compañías. Hasta donde alcanza la memoria, las empresas proclaman una y otra vez cuán competitivo es el mercado mundial. No hay duda de que esta sensación seguirá ahí en el futuro, próximo y menos próximo.

La capacidad de desarrollar y fabricar eficientemente productos de alta calidad a un precio razonable, satisfaciendo las expectativas del cliente, es fundamental para conseguir una rentabilidad y una competitividad global permanentes.

Sin embargo, los procedimientos que emplean las empresas para conseguir esa capacidad cambian con el tiempo. Métodos que ayer funcionaban adecuadamente no servirán necesariamente para el mercado de hoy o de mañana. En este contexto, el diseño de productos orientado hacia la fabricación y el montaje tiene un papel muy importante. ABB, que ha asimilado esta sencilla filosofía de la ingeniería, está aplicando de forma muy ventajosa diversas técnicas de “Diseño orientado a la Fabricación y el Montaje” (DFMA).

En los albores del diseño y fabricación de productos, la ingeniería secuencial estaba orgullosa de sus etapas de desarrollo especializadas aunque separadas, según el principio “yo diseño, tú produces”). Los trabajos de desarrollo –diseño, tecnología, pruebas y servicio– eran responsabilidad de departamentos distintos. Este método funcionó muy bien para la primera línea de fabricación creada por Ford a principios del siglo XX para producir su Modelo T. La filosofía de Frederick Taylor –cualquier trabajo complejo se puede reducir a una secuencia de pasos sencillos e independientes– se aplicó también a los procesos de desarrollo de productos.

Este enfoque sigue usándose actualmente procesos de fabricación en serie de productos sencillos.

Sin embargo, las limitaciones de la ingeniería secuencial se hicieron evidentes a medida que las empresas crecían y se expandían por otros continentes, las tecnologías avanzaban y los problemas se hacían más complejos. En primer lugar, las estructuras organizativas en una empresa implicaban que muchos departamentos ya no estuvieran en el mismo país y aún menos bajo el mismo techo. En el mejor de los casos, la comunicación y la colaboración, siendo vitales, estaban reducidas al mínimo. Estas circunstancias, a las que había que

añadir los problemas técnicos propios de la mayor complejidad –por no mencionar el menor tiempo hasta la comercialización– llevaba con mucha frecuencia a diseños que, sencillamente, no era posible fabricar.

Por consiguiente, hacía falta un método de ingeniería de colaboración, más enfocado al trabajo en equipo y al intercambio de información entre los diversos departamentos encargados de diseñar el producto. Durante los últimos años se han propuesto varios métodos, como Quality Function Deployment, Robust Design, Collaborative Manufacturing, Rapid Prototyping y Design for Manufacturing and Assembly, (DFMA).

Tecnología de fabricación

Seguramente, el más potente de estos métodos es DFMA, Diseño orientado a la Fabricación y al Montaje.

En términos muy generales, DFMA es un conjunto de metodologías y principios que guían el diseño proactivo de productos para optimizar todas las funciones durante la vida útil de los mismos (fabricación, montaje, pruebas, aprovisionamiento, entrega y servicio).

DFMA para principiantes

Reducir los costes y el tiempo hasta la comercialización se han convertido probablemente en dos de los factores más importantes para el éxito de una compañía. Para conseguir estos objetivos es crucial reducir el número de prototipos creados. Para que así suceda es necesario que la cultura de aná-

lisis se convierta en la norma habitual. Durante las etapas de desarrollo de un nuevo producto es preciso considerar minuciosamente el coste y los factores que originan los costes. Estos aspectos, sin embargo, se suelen pasar por alto, simplemente porque los diseñadores carecen de un método fiable para entenderlos y gestionarlos. DFMA ayuda a los equipos de proyectos a analizar y entender los costes originados por sus decisiones de diseño en cualquier momento del desarrollo del producto. DFMA proporciona una estrategia que permite identificar con antelación los factores generadores de costes y desarrolla una táctica para reducir su impacto durante todo el proceso de fabricación.

DFMA consta de dos metodologías complementarias: *Diseño orientado al Montaje (DFA, Design for Assembly)* y *Diseño orientado a la Fabricación (DFM, Design for Manufacturing)*.

Diseño orientado al montaje (DFA)

Durante las fases iniciales del diseño, el control del total de piezas es vital para mantener los objetivos del coste. DFA es una técnica que ayuda a simplificar productos haciendo que los equipos de diseño se concentren en el número de componentes y en la reducción de los mismos. Esto permite a los ingenieros determinar la cifra mínima teórica de piezas que debe tener el diseño para que el producto funcione como es pre-

ciso. Si se identifican y eliminan piezas innecesarias, también se eliminarán costes innecesarios de fabricación y montaje. En otras palabras, se requerirán menos pasos de fabricación y montaje, y se podrán integrar o incluso reducir procesos de fabricación. También disminuirán los costes debidos a compras, aprovisionamiento y mantenimiento, ya que el número de piezas será menor. Además, se reducirán los niveles de inventario y de trabajos en curso.

DFA se basa en dos principios fundamentales:

- ¡El componente mejor diseñado es el que no existe!
- Si no es posible eliminar la pieza, reduzca al mínimo el tiempo necesario para sujetarla, alinearla y montarla.

Las estrategias de reducción de piezas implican incorporar múltiples funciones, si es posible, en las distintas piezas ². Esto se aplica especialmente a componentes no imprescindibles para el funcionamiento del producto o que no son exigidos por las normas ni por los clientes.

DFA reconoce la necesidad de estudiar al principio del proceso de diseño si existen problemas de montaje en relación con el diseño de las piezas y de todo el producto. El análisis DFA examina tres aspectos:

- *Movimiento relativo*: Si hay un movimiento relativo esencial entre compo-

DFMA

Recientemente, ABB ha empezado a colaborar con el Profesor Robert Sturges de Virginia Tech para formar a los dirigentes actuales y futuros de ABB en las prácticas DFMA. El Profesor Sturges declara lo siguiente sobre DFMA:

“Parece que en el campo de la fabricación se están difundiendo diversos mitos que nos alejan de lo fundamental, que es comprender la esencia de nuestros procesos:

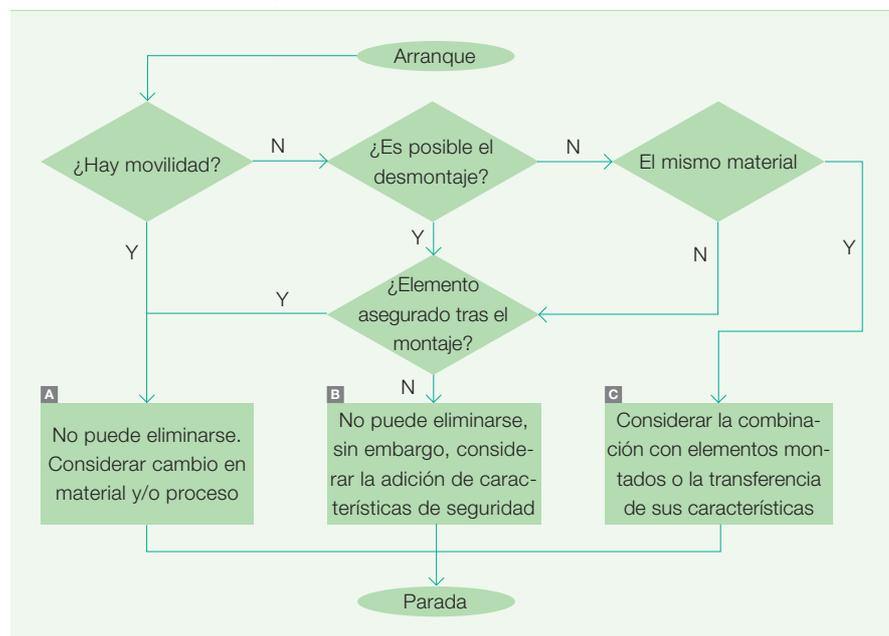
- Si ha sido posible diseñarlo también será posible fabricarlo.
- Si se puede dibujar también se puede fabricar.
- DFMA no es ningún problema, ya que la fabricación se realiza en un entorno estructurado.

Contrastemos estas ideas con las realidades de la fabricación moderna:

- Las piezas son fabricadas por máquinas que en gran parte son manejadas por personas.
- Si para una máquina resulta sencillo manejar una pieza, una persona podrá manejarla mejor. Si una pieza no es fácilmente manejable por una persona, diseñe al mismo tiempo el producto y el proceso.

DFMA nos proporciona las herramientas y técnicas adecuadas para gestionar el diseño del producto y el diseño del proceso desde una perspectiva cuantitativa, analítica y económica.”

1 Diseño orientado al montaje (DFA), análisis de piezas innecesarias



nentes activos, es probable que se necesiten diferentes piezas (o será imposible reducir el número de las mismas). No obstante, se han de considerar también algunos cambios en los materiales de que están hechos los componentes y en el proceso de fabricación. Hay también otras formas de conseguir pequeños movimientos, por ejemplo, mediante articulaciones de plástico, elementos flexibles u otros métodos de unión.

- **Necesidad de desmontaje (servicio):** Aunque quizás no haya ningún movimiento relativo durante la operación, puede ser necesario ajustar o sustituir un componente.
- **Materiales diferentes:** Si no es imprescindible que componentes contiguos tengan diferentes propiedades materiales, por ejemplo eléctricas o mecánicas, se puede aplicar la estrategia de reducción de piezas.

Finalmente, es necesario comprobar si la pieza queda bien autoasegurada tras el montaje. En caso afirmativo deberá estudiarse la posibilidad de eliminar elementos de fijación y juntas.

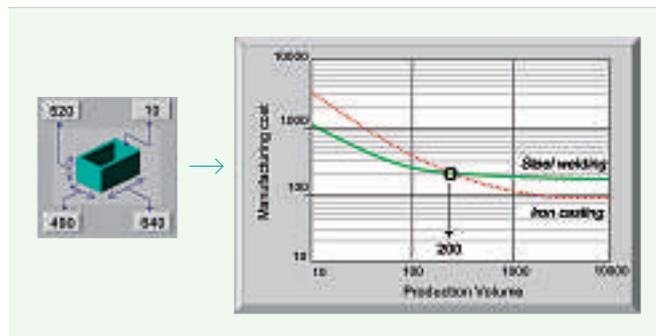
Una vez conseguida la reducción del número de piezas al mínimo posible, DFA vuelve su atención hacia la simplificación del proceso de montaje. El proceso de montaje depende en gran medida del diseño de los componentes y de las superficies de contacto entre piezas. Por consiguiente, se han de analizar las características geométricas de cada componente concreto, como su forma, tolerancias, peso y tamaño. Además, se han de considerar otros aspectos del montaje como la fijación, el movimiento de montaje, la inserción y los métodos de alineamiento.

El concepto de análisis del proceso de montaje se basa en el llamado “tiempo

Tabla 1 Tiempo de penalización por operaciones de fijación manuales

Método de fijación	Tiempo de penalización
Sin fijación o con simple encaje (la pieza se coloca sobre o en una pieza ya montada)	0 s
Atornillado o fijación por presión	3 s
Método de fijación por encolado, soldadura, remachado, estañado	8 s

2 Diseño orientado a la fabricación (DFM), cálculo del punto de equilibrio



de penalización”, una forma de ponderación artificial que evalúa las posibles dificultades del montaje. El análisis juzga cada aspecto del montaje y le da una puntuación de tiempo. En **Tabla 1** se muestran los tiempos típicos de penalización para el aspecto fijación de un proceso de montaje. Un análisis DFA minucioso debe dar como resultado un proceso de montaje refinado con menos componentes, que son funcionalmente eficientes y fáciles de montar.

Diseño orientado a la fabricación (DFM)

DFM es un método sistemático que permite a los ingenieros prever los costes de fabricación al principio del proceso de diseño, aun cuando sólo se disponga de la geometría aproximada del producto. Los ingenieros tienden a realizar diseños de procesos de fabricación con los que ya están familiarizados. DFM, en cambio, anima a los equipos de desarrollo a ir más allá, investigando todos los procesos principales de creación de formas y diferentes materiales para que los componentes o productos se puedan fabricar más económicamente. Consideremos, por ejemplo, la fabricación de un armazón sencillo para un producto. El análisis DFM muestra que es más económico utilizar soldadura de acero si el volumen de producción es inferior a 200 piezas. Para un volumen mayor se consideran más económicas las piezas de hierro fundido **2**.

DFM ofrece también directrices específicas para diferentes procesos de fabricación, lo que se ilustra en **3** con un ejemplo sencillo. Se recomienda seguir las siguientes directrices para un proceso de mecanizado:

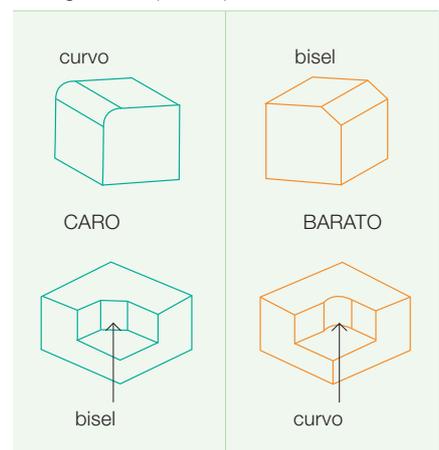
- Considere el uso de piezas de fundición o piezas estampadas para reducir el mecanizado que necesitan las piezas fabricadas en grandes cantidades.

- Para minimizar el mecanizado se recomienda que las piezas moldeadas o forjadas queden lo más afinadas posible.
- Diseñe facilitando la fijación, proporcionando una gran superficie sólida de montaje y superficies paralelas de sujeción.
- Evite diseños con puntas o aristas agudas, ya que éstas provocan solicitaciones mayores en las herramientas de corte.

- Debe evitar diseñar paredes delgadas, pequeños espesores y huecos u orificios profundos, debido al riesgo de deformación durante el proceso de sujeción y mecanizado.
- Diseñe preferentemente, si es posible, formas rectangulares antes que estrechamientos y formas curvas.
- Evite los materiales endurecidos o de mecanización difícil, a no ser que sean absolutamente necesarios.
- Ponga las superficies mecanizadas en un mismo plano o juntas con el mismo diámetro para minimizar el número de operaciones.
- Diseñe piezas de trabajo para utilizar herramientas de corte, tamaños de brocas u otras herramientas siempre estándar.

Tanto DFA como DFM utilizan unidades usuales y sistemas métricos de fácil lectura (por ejemplo, segundos, dólares), facilitando a los ingenieros evaluar las alternativas de diseño y montaje y estimar rápidamente los costes y tiempos de producción.

3 Diseño orientado a la fabricación (DFM), sugerencias para el proceso de mecanizado



Tecnología de fabricación

El trabajo de DFMA para ABB

En ocasiones ocurre que un producto típico, ofrecido por una compañía, es funcional pero complejo, fiable pero demasiado grande, de alta calidad pero caro y muy a menudo supera los requisitos de los mercados en auge (quedando en desventaja, por tanto, ante competidores más baratos). La solución para este problema es simplificar el diseño del producto ya que, en pocas palabras, “la simplicidad recompensa”.

Podemos mencionar muchos casos de ABB en que un diseño adecuado, orientado a la fabricación y al montaje, ha mejorado mucho la calidad y además ha reducido los costes. Uno de estos casos es el indicador pasivo de tensión PVI (Passive Voltage Indicator) fabricado por ABB. El método DMFA se aplicó con éxito en una etapa muy temprana del proyecto, es decir, al definir el diseño preliminar del nuevo producto. El resultado final fue una notable reducción del número de piezas necesarias (de 11 a 7), lo que a su vez redujo los costes de fabricación y la duración del montaje 4. Otro caso es el rediseño del transforma-

dor de corriente TPU para aplicaciones de media tensión fabricado por ABB, que era necesario simplificar para reducir los costes de fabricación. La aplicación de DFMA a un diseño con cierto nivel de innovación descubrió nuevas posibilidades de diseño y fabricación para este conocido producto estándar de ABB 5.

Otros casos de aplicación DFMA se refieren al rediseño de productos para los mercados globales. Mencionemos el fusible de tipo abierto NCX para el mercado chino, un nuevo concepto de diseño de escáneres de llama desarrollado en Estados Unidos e Italia y el rediseño de atomizadores para Japón.

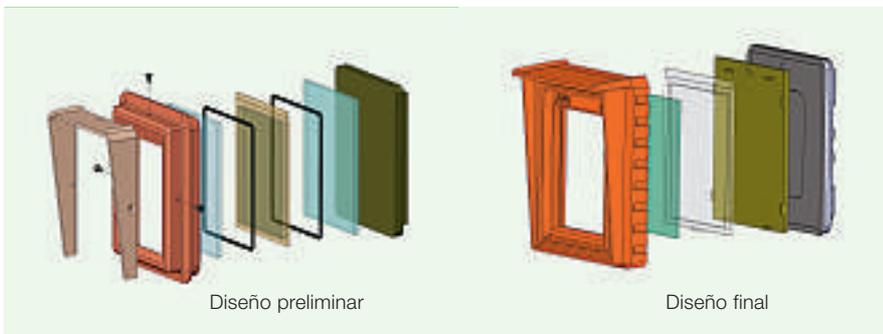
Con respecto al rediseño del fusible NCX Open-Fuse, DFMA identificó tres aspectos en los que debían concentrarse los ingenieros para fabricar un producto competitivo con bajo coste: la reducción de piezas, el uso de materiales más económicos y la mejora de la fabricabilidad de las piezas. Tras el trabajo de rediseño se agruparon 13 ideas en dos nuevos diseños, reduciendo los costes entre el 10 y 15 por ciento.

Decálogo DFMA

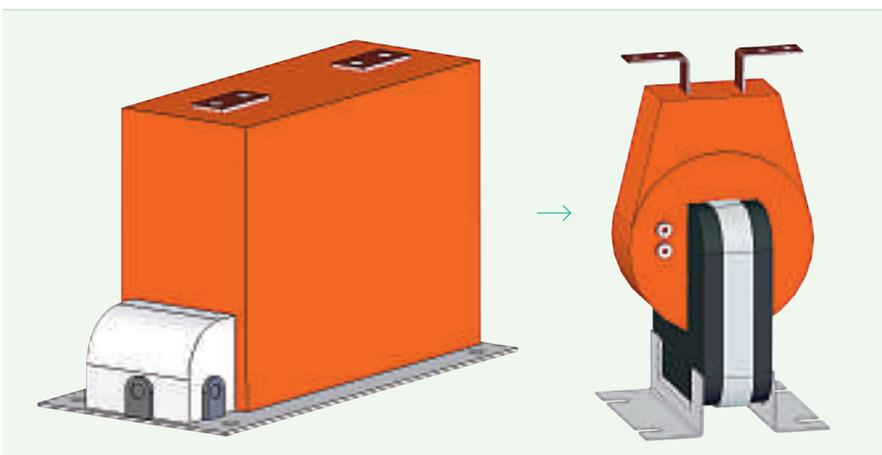
- Diseñe con un número mínimo de piezas
- Diseñe elementos multifuncionales
- Utilice componentes, materiales y procesos estándar
- Desarrolle un método de diseño modular
- Minimice la orientación de los elementos
- Aplique un montaje unidireccional apilable
- Facilite la inserción y el alineamiento de todos los elementos
- Evite los elementos de sujeción roscados
- Elimine ajustes Trabaje en EQUIPO

Cuando se trata de nuevos productos, los clientes exigen funcionalidad y alta calidad a un precio razonable. La capacidad para satisfacer estas expectativas manteniendo bajos los costes es esencial para conseguir rentabilidad y competitividad global permanentes. En este contexto, el diseño del producto orientado a la fabricación y al montaje tiene un papel muy importante. ABB ha asimilado esta sencilla filosofía de ingeniería y la aprovecha permanentemente. La técnica DFMA, aplicada con excelentes resultados en varios proyectos, ha demostrado que un diseño en colaboración y una mayor interacción entre los departamentos de ingeniería y fabricación reduce los costes de producción en nada menos que el 10–15 por ciento sin necesidad de hacer inversiones importantes. “El trabajo en equipo y la simplicidad merecen la pena”.

4 Indicador pasivo de tensión (PVI), DMFA aplicado en la fase conceptual



5 Transformador de corriente TPU – Diseño estándar (izquierda) frente a un posible diseño de bajo coste para mercados globales (derecha).



Tomasz Nowak
Marcin Chromniak
Robert Sekula

ABB Corporate Research
Cracovia, Polonia
tomasz.nowak@pl.abb.com
marcin.chromniak@pl.abb.com
robert.sekula@pl.abb.com

Lucas-Lu Gao

ABB Corporate Research
Beijing, China
lucas-lu.gao@cn.abb.com