

Diseño para Manufactura y Ensamble

Valentina Kallewaard Echeverri (valentin@utp.edu.co) - Libardo V. Vanegas Useche (lvanegas@utp.edu.co)
 Profesores Asistentes Facultad de Ingeniería Mecánica - Universidad Tecnológica de Pereira

Juan Carlos Burbano Jaramillo (jburbano@utp.edu.co)
 Profesor Auxiliar Facultad de Ingeniería Mecánica - Universidad Tecnológica de Pereira

RESUMEN

El Diseño para Manufactura y Ensamble es un proceso de ingeniería simultánea diseñado para optimizar las relaciones entre diseño, manufactura y ensamble. En nuestro medio, no existe una fuerte cultura de la aplicación de este tipo de herramientas, por lo cual el artículo ha desarrollado recomendaciones para su implementación en la industria colombiana. Además, se presenta una revisión de los métodos para la aplicación de Diseño para Manufactura y Ensamble.

1. INTRODUCCIÓN

El Diseño para Manufactura y Ensamble, en un sentido general, depende de una relación muy estrecha de trabajo entre la actividad de diseño de producto y la actividad de manufactura, con el objetivo de mejorar el funcionamiento de esta última. La necesidad de integrar las dos funciones, de alguna manera es, hoy, más urgente que nunca. En recientes épocas ha habido un cambio filosófico hacia el diseño para la manufactura y ensamble. El diseño de un producto determina su método de fabricación, su ensamble, las tolerancias de los componentes, el número de ajustes y el tipo de herramientas de fabricación requeridas.

El presente artículo describe diferentes métodos empleados en el diseño para manufactura y ensamble. Después del estudio de los métodos mencionados, los autores se permiten proponer una guía para la industria, en la cual se presentan diferentes recomendaciones para que los fabricantes nacionales puedan reducir costos de sus productos, al mismo tiempo que mejorar la calidad y, de esta forma, llegar a ser más competitivos. Por último, se presentan las conclusiones del estudio.

2. DISEÑO PARA MANUFACTURA Y ENSAMBLE

El diseño de un producto, primer paso en el proceso de manufactura, es una etapa de gran importancia, ya que las decisiones que se tomen en ésta tienen, normalmente, un gran impacto sobre los costos. El Diseño para Manufactura y Ensamble (Design for Manufacture and Assembly, DFMA) consiste en tener en cuenta consideraciones sobre costos y facilidad de manufactura y ensamble durante la etapa preliminar de diseño, para evitar posteriores demoras debido a correcciones que deban hacerse a los diseños cuando se planea la manufactura. En muchos casos en que se ha aplicado DFMA, se han reducido, en grandes porcentajes, tanto los costos como el tiempo para lanzar al mercado el nuevo producto.

El método DFMA consiste en optimizar el producto en cuanto a su «ensamblabilidad» y «manufacturabilidad», y se basa en reglas, preguntas o criterios que apuntan a la reducción de tiempos y costos mediante disminución de: el número de partes, la complejidad de las operaciones de ensamble y manufactura, los inventarios, etc.

Debido a que durante el diseño, el DFMA tiene en cuenta aspectos de manufactura y ensamble que, en forma tradicional, se manejaban a posteriori, esta herramienta hace parte de un conjunto que se utiliza en la llamada Ingeniería Concurrente o Simultánea: un equipo de trabajo en el cual están los encargados del diseño y la manufactura, entre otros, aportando sus conocimientos para la obtención de un «buen» diseño.

3. REVISIÓN DEL ESTADO DEL ARTE

El Diseño para Manufactura y Ensamble es una herramienta muy nueva (comenzó a tomarse en serio a comienzos de la década de los ochenta⁽¹⁾); sin embargo, existen varios métodos que han sido aplicados con éxito (involucrando grandes ahorros en tiempo y dinero). A continuación, se describen en forma sumaria algunos de éstos.

Método Hitachi AEM (Assemblability Evaluation Method)

Este método, descrito por Miyakawa y Ohashi⁽²⁾, usa dos índices llamados «el puntaje de evaluación de ensamble» (*E*), que indica la calidad del diseño o la facilidad de ensamble, y la «relación de costo de ensamble», (*K*), que indica el costo relativo de determinado diseño con respecto al costo actual de ensamble. El método AEM utiliza casi 20 símbolos para representar varias operaciones de ensamble; por ejemplo, '↓', «movimiento hacia abajo» y 'S', operación de soldadura. La Figura 1 muestra un ejemplo de aplicación del método, en el cual el diseño actual es mejorado mediante una cavidad en el chasis que impide la rotación del bloque, aumentando, así, la facilidad de su ensamble; el diseño se mejora, aún más, reemplazando la rosca por un bloque en T, con una reducción final del 50% del costo de ensamble.

Método Boothroyd Dewhurst DFA

Uno de los objetivos en la utilización de este método⁽³⁾ es **reducir el número de partes** del producto o dispositivo. Como guía para el diseñador, suministra tres criterios que deben tenerse en cuenta al analizar cada una de las partes, a medida que se van añadiendo al producto durante el ensamble:

- Durante la operación del producto, ¿la parte se mueve con respecto a todas las otras que ya han sido ensambladas? Sólo grandes movimientos deben considerarse, ya que pequeños movimientos que pueden obtenerse (por ejemplo, con elementos elásticos integrados), no son suficientes para dar una respuesta positiva.
- ¿La parte debe ser de un material diferente de los de las partes que ya están ensambladas, o debe estar aislada de éstas? Sólo se

aceptan razones de peso que tengan que ver con las propiedades de los materiales.

- ¿Es imposible que las otras partes, ya ensambladas, puedan ensamblarse o desensamblarse si la parte no está separada de ellas?

Se espera con estas preguntas que, al final del análisis, se tengan algunas **alternativas** en las que se integran varias de las partes e, incluso, se eliminen algunas que no sean necesarias o con las cuales se reduzcan los materiales y los diferentes tipos de elementos utilizados.

Para tomar la decisión acerca de cuál alternativa es la adecuada, es necesario tener estimativos de **tiempos y costos** de ensamble, con el fin de conocer los posibles ahorros de cada una. En esta etapa, se consideran otros posibles materiales

Estructura del producto y operaciones de ensamble		Facilidad de Ensamble de la parte	Facilidad de ensamble	Costo de ensamble relativo	Parte a ser Mejorada
	1. Fije chasis	100	73	1	Bloque
	2. Baje bloque y sostenga para mantener su orientación	50			
	3. Apriete rosca	65			
	1. Fije chasis	100	88	0.8	Rosca
	2. Baje bloque (la orientación se mantiene por la cavidad)	100			
	3. Apriete rosca	65			
	1. Fije chasis	100	89	0.5	Bloque
	2. Baje y ajuste bloque	80			

Figura 1. Ejemplos de evaluación de ensamble y mejoramiento

o procesos de manufactura; una vez tomada la decisión acerca de éstos, se procede a hacer un concienzudo análisis de Diseño para Manufactura para llevar a cabo el diseño de detalle de las partes.

Las etapas de diseño propuestas por Boothroyd y Dewhurst⁽³⁾ son:

- 1 Concepto del diseño
- 2 Diseño para Ensamble (DFA)
- 3 Selección de materiales y procesos
- 4 Concepto de mejor diseño
- 5 Diseño para Manufactura (DFM)
- 6 Prototipo
- 7 Producción

La Figura 2 muestra un resumen presentado en Boothroyd⁽¹⁾, en el cual se aprecia el efecto que el DFA ha tenido en la reducción de partes (de acuerdo con varios estudios publicados), y la Tabla 1 da algunos detalles de otras mejoras obtenidas. De la figura se observa que se ha logrado, en promedio, un 51.4% de reducción de partes, de acuerdo con 43 casos en que se aplicó DFMA. De

la Tabla 1, se observa que el costo del producto y su tiempo de desarrollo se han reducido en 37% y 47.5% en promedio, cifras nada despreciables.

Diseño de producto orientado al ensamble

En la Universidad de Stuttgart, Alemania, Warnecke y Bassler⁽⁵⁾ desarrollaron este método que evalúa la utilidad o **valor funcional** de cada parte, así como la **dificultad de ensamble** de cada subensamblable. De este proceso se obtiene un puntaje que es una combinación de la facilidad de ensamble y el valor funcional; por ejemplo, los diferentes tornillos que se utilizan en un ensamble tienen muy poco valor funcional y son difíciles de ensamblar, entonces, tendrán un puntaje muy bajo. Los puntajes obtenidos son empleados como guía para rediseñar. Los puntajes más bajos indican que por allí debe comenzarse el rediseño.

En el ejemplo de la Tabla 2, el rediseño debe comenzarse con el primer y cuarto ensambles, ya que son los que tienen los menores puntajes.

Método Lucas

El método Lucas⁽⁶⁾ consta de tres pasos:

- Se lleva a cabo un **análisis funcional** en el cual las partes se agrupan en dos categorías: las A, que son necesarias debido a las especificaciones del diseño, y las B, para una solución particular de diseño. Se define la eficiencia de diseño que se quiere obtener, la cual se calcula como $A/(A + B) \cdot 100\%$, donde A y B son los números de partes agrupadas en las categorías A y B respectivamente. El objetivo es exceder un 60% de eficiencia mediante la eliminación de partes de la categoría B. Los autores⁽⁶⁾ hacen énfasis en la reducción de los costos de ensamble y del número de partes, e incluyen el uso de los criterios de mínimo número de partes de Boothroyd y Dewhurst⁽³⁾ (descritos anteriormente) en una tabla de verdad para ayudar en la reducción de partes.
- Se hace un **análisis de manejo y alimentación**, en el cual se le asignan puntajes a las partes de acuerdo con tres áreas: el tamaño y peso de la parte, dificultades de manejo y la orientación de ésta. Se obtiene un puntaje total para cada parte sumando los tres puntajes individuales, y se calcula la relación manejo/alimentación dada por el puntaje total dividido por el número de partes A; se recomienda que este valor sea de 2.5.
- Por último, se hace un **análisis de ajuste** que se basa en la secuencia de ensamble propuesta. A cada parte se le asigna un puntaje, dependiendo de si requiere ser agarrada de una parte fija, de la dirección de ensamble por problemas de alineación, visión restringida, y de la fuerza de inserción requerida. El puntaje total se divide por A para obtener la

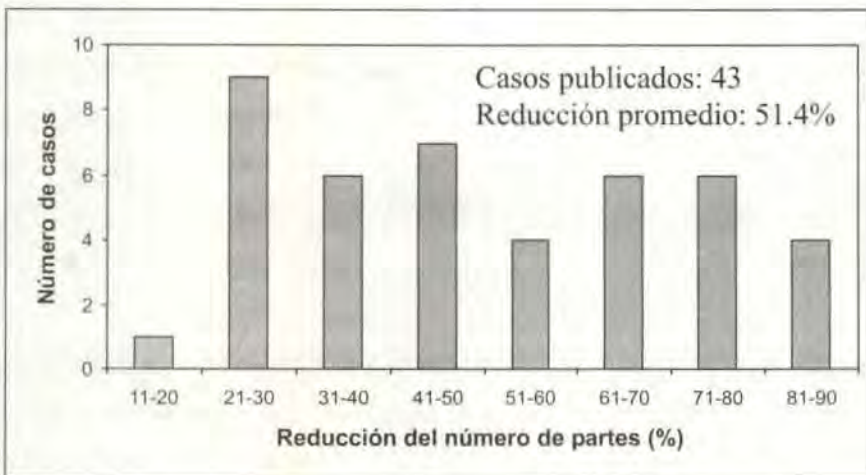


Figura 2. Reducción del número de partes usando DFMA

Categoría	Número de casos	Reducción Promedio (%)
Pasadores	12	72.4
Operaciones de ensamble	10	49.5
Tiempo de ensamble	31	61.2
Costo de ensamble	18	41.1
Costo de materiales	2	48.5
Costo del producto	12	37.0
Tiempo de desarrollo del producto	4	47.5
Duración del ciclo de manufactura	6	57.3
Work in progress	1	31.0
Pasos de procesos de manufactura	1	55.0
Número de proveedores	2	47.0
Ajustes	2	94.0
Defectos de ensamble	3	68.0
Solicitudes de servicio	2	56.5
Fallas	2	65.0
Herramientas y accesorios de ensamble	4	71.0

Tabla 1. Mejoras obtenidas usando DFMA

relación de ajuste. Se recomienda también que esta relación debe estar cerca de 2.5. Para este paso y el anterior, el método utiliza bases de conocimiento.

Método DAC

La corporación Sony dice haber desarrollado un conjunto original de reglas para incrementar la productividad, utilizando el método DAC (Design-for-Assembly Cost-effectiveness). Yamigawa⁽⁷⁾ reitera el punto de vista de que es imposible diseñar para facilidad de ensamble a menos que se comience en el momento de la concepción. El mejoramiento del producto en el comienzo se denomina «diseño de alimentación hacia delante» (feed forward design); ésto es opuesto a hacer mejoras más adelante en el diseño, mediante una «retro-alimentación» de los procesos de manufactura.

En el método DAC se clasifican los factores de evaluación en 30 palabras claves, y las evaluaciones se ubican en un diagrama para facilitar la toma

de decisiones. Se hace una lista de las operaciones de ensamble con sus respectivos puntajes, indicados también mediante una barra o rectángulo, cuya longitud es proporcional al puntaje, para facilitar el proceso de detectar las operaciones con bajos puntajes. La Figura 3 muestra un ejemplo en el cual se identifica que el circlip que asegura el rodamiento tiene bajo puntaje; el circlip puede ser reemplazado por un O ring que se le asigna luego un puntaje de 90.

Diseño para ensamble PCB

Adachi *et. al*⁽⁸⁾ de la corporación NEC, desarrollaron técnicas de diseño para facilidad de ensamble de tableros de

circuits impresos. Su primer objetivo era reducir la complejidad de la estructura del producto para evitar movimientos de ensamble complicados, y reducir la variedad de partes para poder facilitar la automatización.

De acuerdo con ésto, un producto es diseñado para facilidad de ensamble si:

- El producto puede ser ensamblado mediante unos pocos movimientos simples.
- La variedad de partes y subensambles ha sido minimizada.

Los autores⁽⁸⁾ presentan un diagrama que lista todas las características o sugerencias de diseño de producto que conducen a un fácil ensamble; entre éstas están:

- Uso de partes estándar.
- Simplificar la estructura.
- Reducir la entrega del producto y sincronizarla con el desarrollo de facilidades de producción.
- Minimizar el número de partes y subensambles.
- Ajustar la calidad a las especificaciones de producción.
- Minimizar cambios en el diseño.

Procedimiento de ensamble	Valor funcional (A)	Costo de ensamble (B)	Puntaje combinado (A/B)
Insertar sujetador de micrófono en la base	1.48	16.5	0.090
Insertar micrófono en la base	25.14	8.5	2.958
Insertar gorro en la base	19.93	8.5	2.345
Asegurar gorro y micrófono	1.82	31.0	0.059
Asegurar tapa en posición	14.44	12.5	1.152

Tabla 2. Evaluación de subensambles

- Aplicar DFM.
- Recibir rápida retroalimentación de producción.
- Optimizar la relación funcionalidad / costo.
- Reducir tiempo y mano de obra requeridos para el control.

En el método PCB, se analiza la facilidad de automatización mediante los siguientes factores:

- Muchas partes que no se pueden montar automáticamente.
- Se usan numerosas partes diferentes.
- Bastante soldadura y retoques.
- Gran número de partes que deben ser insertadas después de soldar.
- Demasiado cableado.

Este método ha sido aplicado en varias divisiones de NEC, produciendo mejoras en la automatización y mejorando la colaboración entre diseño y producción.

Proceso de Introducción de Nuevo Producto

El diseño básico de un producto predetermina, en gran medida, cómo se hace y lo que costará producirlo. En los últimos años, se han implementado varias técnicas con las cuales se pretende mejorar la calidad del producto, el costo y el «time to market». Miles and Swift⁽⁴⁾ presentan un proceso de introducción del producto que cumple con lo dicho anteriormente.

Según los autores, reducir el costo del producto y el tiempo para lanzarlo

al mercado en la introducción del nuevo producto es importante, y junto con el desarrollo de mejores productos, es fundamental para incrementar la participación del mercado y el funcionamiento comercial competitivo. Si bien es cierto que hay necesidad de entender las necesidades del cliente, es aún igual o más valioso entender y cuantificar los efectos de las decisiones de diseño sobre el costo y conformidad de la manufactura y ensamble del producto.

En las diferentes etapas del NPI (New Product Introduction, Figura 4), sabemos que aunque el costo del proyecto es bajo al comienzo, hasta el 80% de la calidad del producto y costo están comprometidos en la fase de diseño. Esto significa que los diseñadores están poniendo todo el costo dentro del producto, mientras la manufactura, «tradicionalmente responsable del costo del producto», sólo puede jugar con el 10-20%. Ésta es una etapa preliminar de la introducción del nuevo producto, donde es más fácil realizar cambios y, por consiguiente, es la ideal y única para conseguir costos de manufactura y calidad correctos.

La efectiva introducción del producto permite reducir desperdicios. Grandes esfuerzos pueden ser gastados sobre el rediseño durante la primera etapa

de producción para resolver problemas de manufactura o calidad del producto. Este desperdicio es causado por factores como: entendimiento deficiente de los requerimientos del cliente y no tener en cuenta estamentos claves, tales como ingeniería de manufactura y producción. Más del 50% del esfuerzo desarrollado puede gastarse corrigiendo, desde la primera vez, los diseños del producto y manufactura.

Muchos productos son diseñados con demasiadas partes componentes, llevando no sólo a altos costos directos, sino a elevar excesivamente los costos relacionados con la obtención, planificación y control de inventarios.

La experiencia muestra la necesidad de adoptar ingeniería concurrente con el apoyo de herramientas y técnicas apropiadas, como el DFMA, cuya finalidad es asegurar la factibilidad de la manufactura y ensamble del producto, trabajando en tres niveles: plataforma de producto, su estructura y diseño de los componentes.

Antes de comenzar a desarrollar un producto, es importante decidir si es parte de un rango de productos potenciales, los cuales presentarían oportunidades para la racionalización y estandarización de partes, procesos, y procedimientos de ensamble y pruebas.

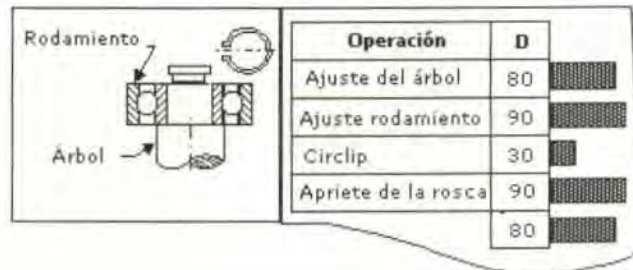


Figura 3. Ejemplo del método DAC⁽⁷⁾



Figura 4. Compromiso del costo y calidad durante el NPJ⁽⁴⁾

El objetivo es minimizar el número de variantes y facilitar el uso de partes y características estándares, fomentando la aplicación de tecnologías comunes, características comunes de ensamble, métodos de uniones y partes y módulos comunes.

Metodología de los Siete Pasos

«Seven Step DFM procedure», contiene una guía descriptiva con las actividades que se deben realizar para mejorar la «manufacturabilidad» del producto. El procedimiento explica como obtener, a partir del diseño original, una nueva generación del producto. Las actividades que se mencionan en el método deben ser llevadas a cabo de manera secuencial. El objetivo primordial de estas actividades es encontrar «el diseño conceptual óptimo» (teniendo en cuenta todos los aspectos básicos de funcionalidad y manufacturabilidad). Una vez se realiza éste, el método encamina hacia el segundo objetivo: «un diseño detallado, el cual utiliza, por completo, los potenciales del diseño conceptual seleccionado».

Diseño para Ensamble usando conjuntos difusos (Fuzzy Sets)

Según profesores de North Carolina State University, uno de los costos

más grandes enfrentado por los fabricantes es el ensamble del producto. Estos costos son más del 50% de los costos totales de manufactura. Diseñar un producto considerando la etapa de ensamble, puede reducir estos costos, de modo significativo, aplicando axiomas como minimizar partes en el producto y diseñar las partes restantes para facilitar el ensamble. Un problema encontrado en metodologías y herramientas en desarrollo para la asistencia del diseño de ensamble es la vaga relación entre el proceso de ensamble y la dificultad de ensamble (relacionada al costo). A través del mapeo de los procesos de ensamble dentro de conjuntos difusos, se asiste al diseñador a ordenar los diseños por criterio de ensamble. También se debe considerar la migración de esta técnica hacia otras áreas de la manufactura.

4. DISCUSIÓN

Se podría afirmar que todas las metodologías descritas para la implementación del DFMA presentan dos principios fundamentales: la minimización del número de partes y la facilidad de ensamble.

La implementación del DFMA genera, de manera automática,

reducción de costos y tiempo, lo cual trae como consecuencia una mejor competitividad en el mercado, variable fundamental, hoy en día, en la era de la globalización.

Las industrias ven en el DFMA una manera de aumentar la productividad sin inversiones adicionales, aunque teniendo en cuenta que se necesita personal calificado, lo cual representa algún tipo de inversión.

5. GUÍA PARA LA INDUSTRIA

En nuestro medio, es posible y conveniente utilizar esta herramienta para reducir los costos de nuestros productos, volviéndolos más competitivos. Las empresas manufactureras deben decidirse a obtener información y capacitación sobre DFMA, si no han aplicado este método, en cuanto que, de seguro, la inversión se verá muy compensada por los ahorros que obtengan. La información sobre el método debe ir acompañada de capacitación en procesos de manufactura y ensamble, toda vez que con base en una correcta información sobre éstos se pueden tomar decisiones adecuadas durante el diseño.

A pesar de los enormes beneficios de DFM y de DFA, la empresa debe enfrentar ciertas dificultades, ya que los datos sobre costos y tiempos de manufactura y ensamble son complejos, desconocidos o cualitativos. Además, en la selección de materiales y procesos de manufactura y ensamble deben considerarse el mayor número posible de alternativas; sin embargo, existen muchos materiales y procesos que analizar.

La industria, entonces, además de estar dispuesta a capacitar su personal, debe tratar de obtener la información necesaria para una adecuada aplicación de DFMA. La

empresa puede apoyarse en las universidades, a través de asesorías de personal docente o mediante proyectos de grado de los estudiantes, con el fin de usar el método DFMA para sus productos.

Como aporte al entendimiento de la técnica, se listan a continuación algunos aspectos fundamentales de la guía desarrollada por Kenneth Crow de DRM Associates⁽¹⁶⁾, y otros que los autores consideran importantes:

1. Simplificar el diseño y el número de partes, porque en cada parte hay una oportunidad para una parte defectuosa y un error de ensamble.
2. Estandarizar y usar partes y materiales comunes para facilitar las actividades de diseño, para minimizar la cantidad de inventario del sistema.
3. Diseño para facilidad de fabricación. Seleccionar procesos compatibles con los materiales y volúmenes de producción.
4. Diseñar dentro de las capacidades de proceso y evitar innecesarios requerimientos de acabado.
5. Diseño y ensamble a prueba de errores.
6. Diseñar por manipulación y orientación de partes.
7. Minimizar partes flexibles e interconexiones.
8. Diseñar para fácil ensamble.
9. Diseñar productos modulares para facilitar el ensamble.
10. Diseñar para producción

automatizada.

11. Evitar obstrucciones visuales.
12. Evitar partes que se aniden o se enreden.
13. Diseñar partes que cumplan varias funciones.
14. Diseñar partes simétricas o con exagerada asimetría.
15. Minimizar direcciones y movimientos de ensamble.
16. Eliminar o simplificar ajustes.

A pesar de todas las ganancias obtenidas por muchas empresas al utilizar estas herramientas de diseño, la gente se resiste, por lo general, a la adopción de nuevas ideas; algunas podrían decir que han pensado en la manufactura del producto en el momento del diseño, pero pueden no haber usado métodos sistemáticos que lleven a un resultado mucho mejor.

6. CONCLUSIONES

Los métodos de Diseño para Manufactura y Ensamble generan productos más simples y confiables, y con menores costos de manufactura y ensamble. La reducción en el número de partes de un producto se convierte en una bola de nieve, en la medida en que ésta trae consigo la reducción del número de partes diferentes, del número de proveedores, de los costos de materiales, manufactura y ensamble, eliminando, además, los costos de las especificaciones, dibujos e inventarios de las partes eliminadas, es decir, generando un impacto positivo sobre los costos administrativos que, muchas veces, son un gran porcentaje de los costos totales.

El objetivo al aplicar DFM y DFA es

simplificar la estructura del producto para reducir costos de ensamble, y reducir el costo total de las partes. Durante el diseño, DFA debe ser considerado antes que DFM, por cuanto las recomendaciones para este último, a menudo, conllevan a un mayor costo de ensamble.

El diseño para ensamble ha generado una revolución en las prácticas de diseño, ya que no sólo reduce el costo de ensamble, sino que tiene un gran impacto sobre el costo total de manufactura, reduciendo el número, la variedad y la complejidad de las partes.

Es importante anotar que DFM y DFA deben ser utilizadas con métodos que ayuden a evaluar los costos y las dificultades de ensamble y manufactura. Se han desarrollado métodos para obtener costos estimados durante las primeras etapas del diseño^(9, 10), en especial para partes mecanizadas obtenidas por inyección^(11, 12), fundidas en dados⁽¹³⁾, hojas de metal estampado⁽¹⁴⁾ y partes obtenidas por pulvimetalurgia⁽¹⁵⁾ (Citados por (1)).

BIBLIOGRAFÍA

1. BOOTHROYD, Geoffrey. Product Design for Manufacture and Assembly. Computer Aided Design, 26 (7), p.p. 505-520, 1994.
2. MIYAKAWA, S. y OHASHI, T. The Hitachi Assemblability Evaluation Method (AEM). Proc. Int. Conf. Product Design for Assembly Newport, RI, USA (15-17 Abril 1986).
3. BOOTHROYD, G. y DEWHURST, P. Product Design for Assembly. Boothroyd Dewhurst, Wakefield, RI, USA, 1990.
4. MILES, B. L. y SWIFT, K. G. Design for Manufacture and Assembly. Manufacturing Engineer,

77 (5), October, 1998.

5. WARNECKE, H. J. y BASSLER, R. Design for Assembly – Part of de Design Process. Ann. CIRP, 37 (1), p. 1, 1988.

6. MILES, B. L. y SWIFT, K. G. Working Together. Manuf. Breakthrough, p. 69, Marzo/Abril 1992.

7. YAMIGAWA, Y. An Assembly Ease Evaluation Method for Product Designers: DAC. Techno Jap, 21 (12), 1988.

8. ADACHI, T., KOBAYAKAWA, S., KOH, H. y INOUE, I. Bridging the Gap between a Product Design Sector and a Production Sector: Conceptualization and a Support Tool. Pres. 8th Int. Conf. Production Research, 1985.

9. MIYAKAWA, S. Simultaneous Engineering and the Producibility Evaluation Method. Pres. SME Int. Conf. Applications of Manufacture Technologies, Washington DC, USA, 17-19 Abril, 1991.

10. TAKAHASHI, K., SUZUKI, I. y

SUGURO, T. Producibility Evaluation Method. Pres. 10th Int. Conf. Assembly Automation.

11. BOOTHROYD, G. y RADOVANOVIC, P. Estimating the Cost of Machined Components during the Conceptual Design of a Product. Ann. CIRP, 38 (1), p.p. 157, 1989.

12. DEWHURST, P. Computer-aided Assesment of Injection Molding Cost – a Tool for DFA Analyses. Report 24 Dep. Industrial & Manufacturing Engineering, University of Rhode Island, USA, 1987.

13. DEWHURST, P. y BLUM, C. Supporting Analyses for the Economic Assesment of Diecasting in Product Design. Ann. CIRP, 38 (1), p. 161, 1989.

14. ZENGER, D. y DEWHURST, P. Early Assessment of Tooling Costs in the Design of Sheet Metal Parts. Report 29 Dep. Industrial & Manufacturing Engineering, University of Rhode Island, USA, 1988.

15. KNIGHT, W. A. Design for

Manufacture Analysis: Early Estimates of Tool Costs for Sintered Parts. Ann. CIRP, 40 (1), p. 131, 1991.


16. www.npd-solutions.com/dfmguidelines.html

Tomado de la Revista Scientia et Technica.

Año VIII, No. 20, octubre 2002
Universidad Tecnológica de Pereira

Reproducido con autorización expresa de los autores.



El  Tiene ya
Call-Center



Línea gratuita de Servicio al Cliente y audioconsulta

En Bogotá: 592 55 55
Resto del país: 018000 910 270



SENA

SERVICIO NACIONAL
DE APRENDIZAJE

