

Evolución y desarrollo estratégico organizacional del Diseño para la manufactura y montaje (DFMA): Una revisión.^δ

Evolution and Strategic Organizational Development of Design for Manufacturing and Assembly (DFMA): A Review

Gustavo Andrés Araque González*

Elkin Orlando Vélez Sánchez**



Recibido: 16 de noviembre de 2016

Aceptado: 1 de febrero de 2017

Tipo de artículo: resultado de investigación

Resumen

Uno de los factores que ha influenciado la dinámica de los procesos de producción en las organizaciones, ha sido el nacimiento de nuevos tipos de comportamientos del consumidor final. Exigencias mayores, versatilidad de productos, innovación, tiempos de entrega menores, entre otros factores, se presentan como exigencias principales que los clientes buscan en los artículos que desean adquirir. Para solucionar lo anteriormente planteado, las empresas desarrollan nuevas e innovadoras estrategias de gestión empresarial. Un ejemplo de desarrollo y evolución estratégica de los procesos y productos industriales, es el Diseño para la Manufactura y Ensamble (DFMA), filosofía de integración de la gestión de Diseño para el Ensamble (DFA) y la gestión de Diseño para la Manufactura (DFM). El presente artículo tiene como objetivo realizar una revisión bibliográfica y análisis de los principales conceptos, estrategias y directrices necesarias en la implementación de la filosofía DFMA, basada en una metodología descriptiva sofisticada de los principales conceptos asociados al tema. Se inicia con una concepción del Diseño para la Manufactura (DFM), basado en el cambio de pensamiento organizacional, directrices en los diseños sistemáticos de manufactura y la metodología aplicada para los diseños asistidos por computadora (CAD). A continuación, se analiza el Diseño para el Ensamble (DFA) y su aplicabilidad en los productos y servicios ofrecidos a los clientes. Finalmente, se analiza la concepción, diseño, desarrollo y directrices necesarias en la implementación de la metodología DFMA. El análisis del presente artículo evidencia la estructura y metodología necesaria en la gestión de procesos y productos sustentables y la minimización de tiempos y costos relacionados.

Palabras clave: Diseño para la manufactura, diseño para el montaje, diseño para la manufactura y montaje, sector industrial.

Abstract

One of the factors that has influenced the dynamics of the production processes in organizations has been the birth of new types of final consumer behaviors. Higher requirements, product versatility, innovation, shorter delivery times and other factors are presented as the main requirements that customers look for in the items they wish to purchase. To solve the aforementioned, the companies develop new and innovative business management strategies in the coverage of the requirements mentioned above. An example of development and strategic evolution of industrial processes and products is the Design for Manufacturing and Assembly (DFMA), the philosophy of integration of Design for Assembly (DFA) and Design for Manufacturing (DFM). The present article aims to make a bibliographic review and analysis of the main concepts, strategies and guidelines needed in the implementation of the DFMA philosophy, based on a sophisticated descriptive methodology of the main concepts associated with the topic. It begins with a Design for Manu-

^δ Este artículo es resultado del proyecto de investigación titulado: Implementación de un modelo de diseño de configuración para fabricación y montaje de la línea de producción en pymes con enfoque en manufactura concurrente. Proyecto de la Facultad de Ingeniería Industrial. Corporación Universitaria Americana (CUA). Medellín. Colombia.

* MSc. En Ingeniería de Producción. Docente Investigador. Corporación Universitaria Americana. garaque@americana.edu.co.

** Esp. Administración de informática educativa. Docente Investigador Corporación Universitaria Americana. evelez@americana.edu.co

facturing (DFM) conception based on organizational change thinking, guidelines on systematic manufacturing designs and applied methodology for computer aided designs (CAD). Next, we analyze the Design for the Assembly (DFA) and its applicability in the products and services offered to the clients. Finally, we analyze the conception, design, development and guidelines necessary in the implementation of the DFMA methodology. The analysis of the present article evidences the structure and methodology necessary in the management of processes and sustainable products and minimization of related times and costs.

Keywords: Design for manufacturing, design for assembly, design for manufacturing and assembly, industrial sector.

Introducción

La dinámica, evolución y características propias de la Industria del siglo XXI (procesos productivos más eficientes y eficaces, menores tiempos de ciclo, ampliación en la cobertura de las necesidades de los clientes, entre otras), ha generado el nacimiento de nuevas e innovadoras metodologías ingenieriles asociadas a la evolución, estructuración y sistematización cognitivas y físicas (de planta) en cuanto a los procedimientos industriales en América, Asia y Europa, siendo estos los principales contribuyentes y desarrolladores productivos mundiales (Nagel, 1991). Un claro ejemplo de este tipo de metodologías es el Diseño para la Manufactura y Montaje (DFMA), el cual se ha presentado como una clara muestra de la evolución del pensamiento estratégico de las organizaciones. Inicialmente, la metodología DFMA era concebida a partir del trabajo integral de dos departamentos principales: Diseño y producción. La persona responsable por el diseño configuraba los procesos productivos artesanalmente, de acuerdo a las necesidades del producto. “El gran diseñador de antaño, el artesano que tenía el conocimiento suficiente para comandar todas las actividades relacionadas con el desarrollo e introducción de un producto, se presentaba como el principal responsable de las líneas de producción y configuración de la fabricación” (Ahuett, 2006).

La responsabilidad concentrada en una única persona implicó, como consecuencia, demoras en las líneas de producción, atrasos en entregas a los clientes, reproceso, entre otros. que de cierta forma afectaron el ritmo industrial en las organizaciones y debido al crecimiento de la demanda, la prioridad se centró en introducir los productos

en el mercado, sin establecer previamente técnicas industriales por medio de modelos de configuración y ensamble de plantas como gestión ante los futuros cambios y modificaciones. “Varias compañías, en su búsqueda por llevar sus productos al mercado más rápido, realizaban constantemente rediseño en los productos, lo que a su vez generaba una configuración diferente para la manufactura y montaje de la misma. El paso a seguir era generar la notificación de cambio de ingeniería (ECN) y a su vez la aprobación del diseñador. A menudo, este proceso introducía retrasos debido a que el ingeniero de diseño estaba ocupado con otras tareas, o no disponible” (Dekker, 1991).

Las múltiples responsabilidades lideradas por el departamento de Ingeniería a lo largo de la historia han repercutido y afectado la creación de modelos de diseño de configuración y ensamble eficientes en la actualidad. Adicional a lo planteado anteriormente, la falta de conocimiento ingenieril en temáticas de estructuración en procesos de producción dentro de las organizaciones ha impactado en la creación de modelos de diseño óptimos para fabricación y ensamble. “No muchos ingenieros de diseño tienen un conocimiento detallado de los principales procesos que definen la forma de un producto. En consecuencia, tienden a diseñar los procesos de fabricación con los que están familiarizados” (Boothroyd Dewhurst INC., 2012).

Uno de los aspectos principales que dificultan la consecución de un óptimo modelo de diseño de configuración de producción es la falta de experiencia y comunicación de los departamentos responsables. “En primer lugar, las necesidades del ciclo de vida del producto son difíciles de predecir en una fase tan temprana sin experiencia multidis-

ciplinar. Con una presión de tiempo de entrega de los conceptos de diseño, hay poca motivación de añadir más métodos en la fase de concepto de diseño que involucra a otros departamentos en el proceso de fabricación. En segundo lugar, hay una dificultad en la comunicación y el intercambio de conocimientos con las estructuras industriales de hoy, donde cada departamento diferente ha crecido a una organización propia. Todo el problema antes mencionado hace que sea abrumadoramente difícil llevar a cabo estrategias innovadoras de diseño tales como el Modelo de Diseño para la manufactura y ensamble (DFMA)” (Herrmann *et al.*, 2004).

Adicional a los problemas ingenieriles y de producción descritos anteriormente, existe un desequilibrio en la distribución de ingresos orientados al desarrollo de proyectos de investigación en relación al tamaño de las organizaciones. Este aspecto afecta directamente los estudios investigativos orientados al desarrollo de nuevas estrategias de formalización y estructuración de los procesos productivos, como es el caso del modelo de diseño de configuración para fabricación y montaje de la línea de fabricación en industrias con bajos volúmenes de producción. “Esta amenaza se hace mucho más crítica en las zonas rurales, en donde se concentran los mayores niveles de pobreza con serios problemas de educación y formalización de fábricas, asociados a los bajos ingresos de la población y la falta de empleos estables, creando un círculo vicioso que inhibe el desarrollo social y de procesos productivos en el mediano y largo plazo” (Soto, 2013).

Como solución a lo mencionado anteriormente, una configuración de fabricación a partir de diseño del producto se presenta como una oportunidad en la transformación de las materias primas en productos terminados, siendo éste el objetivo inicial de los procesos de producción. Sin embargo, el reto mayor en la gestión de configuración de planta es la sustentabilidad de procesos, optimización de materia prima y recursos físicos (maquinaria y equipo, mano de obra, entre otros.) y la disminución de costos y gastos organizacionales en las operaciones logísticas y de producción. Para hacer efectivos los requerimientos

anteriores, es necesario el desarrollo de “procedimientos sistemáticos en la maximización de uso de procesos productivos en el diseño de componentes y diseño para el montaje (DFA). Lo anteriormente planteado es conocido como el Diseño para Manufactura (DFM)” (Edwards, 2002).

Los diseños para la manufactura son responsables por utilizar técnicas en la cual involucran el “uso de tecnologías de información y desarrollo de software en la aplicación de diseños y configuración de planta en sector de producción Industrial” (Prakash, 2014). Para hacer efectiva la integración de los diseños de manufactura (DFM) en el diseño de componentes y montaje (DFA) es necesaria la integración e interrelación de los diseños anteriormente mencionados. Esta estrategia se conoce en la actualidad como el Diseño para la Manufactura y Montaje (DFMA).

Investigaciones realizadas sobre procesos industriales revelan que, “independientemente de las operaciones en la producción, una planta no puede ser competitiva si tiene defectos en sus diseños de productos y procesos, los cuales pueden ser difícilmente compensados por el tipo de operaciones de producción seguidos del desarrollo de productos. Esto pone una demanda igualmente importante sobre la calidad del producto y el diseño de operaciones de producción eficientes” (Boothroyd, Product design for manufacture and assembly, 1994) .

Como medida de solución en la gestión estratégica de diseños de configuración de planta, el presente artículo busca desarrollar una revisión de los principales conceptos de diseño para la manufactura y montaje (DFMA) en búsqueda de una estructuración y formalización de los conceptos relacionados con el Diseño para la manufactura (design for manufacturing) y Diseño para el montaje (design for assembly), su interrelación y transferencia de conocimiento en busca de la construcción y generación de estrategias en el modelamiento de diseños de configuración de planta óptimos. De esta forma, DFMA se presenta como una alternativa en la solución de la dinámica cambiante de producción, adaptándose a las necesidades y comportamiento de la demanda y

buscando el compromiso y gestión de materiales y procesos productivos internos.

El desarrollo del presente artículo inicia con una introducción al desarrollo de los principales conceptos relacionados con los Diseños para la manufactura y ensamble (DFMA). En el capítulo 2 son definidos los principales conceptos, terminologías y temas asociados con respecto a los Diseños para la Manufactura (DFM) y se explican las principales características de este tipo de diseños; en la sección número 3 son definidos los conceptos de Diseños para el Ensamble (DFA) y su aplicación en procesos industriales; en la sección 4 se establece los principales conceptos de Diseños para la manufactura y Montaje (DFMA) y su aplicación en el sector industrial; En la sección 5 es explicado uno de los procedimientos posibles en la construcción y desarrollo de los Diseños para la Manufactura y Ensamble (DFMA); en la sección 6 se definen las directrices de los Diseño para la Manufactura y Diseño para el Ensamble, como parte de integración de las directrices genéricas de los modelos DFMA. Finalmente, en la sección 7 se establecen las conclusiones fruto del presente artículo.

Diseño para la Manufactura (Design for Manufacturing)

De acuerdo con Kalpakjian (2006), los inicios de los procesos de procesos de fabricación datan históricamente de los años 5 000 - 4 000 antes de cristo y la terminología específica se remonta al año de 1683, periodo en el cual la palabra manufactura es definida del latín *manus* (mano) y *facere* (hacer), cuyo significado se manifiesta como “hecho a mano” en lo respectivo a la transformación de materia prima en producto terminado. En un concepto genérico, DeGarmo *et al.* (1988) definen la palabra manufactura como “la conversión de la materia prima en cosas”.

Poli (2001), establece que la palabra manufactura ha sido definida a través de la historia desde diferentes perspectivas de pensamiento. Una de estas concepciones es el “Grande-M de manufactura”, conocido como el conjunto de procesos y actividades integradas en la realización de los

productos/servicios. En esta etapa, se parte del concepto de manufactura como un sistema integral que inicia en el departamento de ventas y abarca las áreas de diseño, mercadeo, producción, transporte y logística, entre otros. Un segundo enfoque es el denominado “Pequeño M-Manufactura”, en donde se concibe el proceso de manufactura como un proceso de producción en planta. Este concepto sustenta su teoría desde el punto de vista de “proceso”, acción de transformar la materia prima en productos terminados. En el enfoque de los Diseños para la Manufactura será considerada la concepción asociada al “Pequeño M-Manufactura”, asociando el desarrollo de diseño y desarrollo de productos/servicios en la configuración interna de planta para su realización, conocido como el Diseño para la manufactura.

Uno de los enfoques adoptados para la palabra manufactura parte de la concepción de proceso de valor agregado y generador de resultados en cuanto a la utilidad y rentabilidad de las empresas. De acuerdo con lo anterior, ICMA (1974) define la manufactura como un proceso de elaboración de productos a partir de materia prima en donde se ven involucrados varios procesos, equipos y actividades humanas considerando una planeación previa que genera rentabilidad y utilidad a las organizaciones.

Según Groover (1997), la manufactura puede ser concebida desde el punto de vista tecnológico y económico. *Tecnológicamente* puede ser definida como la conversión y aplicación de procesos químicos y físicos que modifican las propiedades o estado de un material específico en la fabricación de productos-servicios. Desde el punto de vista *económico*, la manufactura puede ser concebida como la conversión de material en artículos de mayor valor en búsqueda de objetivos organizacionales financieros.

En la obtención de productos-servicios requeridos por los clientes, adicional a las actividades de conversión de materia prima en productos terminados (manufactura), es indispensable realizar una debida planeación, configuración y control de los procesos productivos involucrados en la etapa de

fabricación. Esta etapa es conocida como el Diseño para la Manufactura (DFM), el cual es definido como un “pensamiento, filosofía o mentalidad de diseño de producción orientado a producir piezas y productos con mayor facilidad y de forma económica, en la que la manufactura de entrada es utilizada en las primeras fases de diseño de producto” (Ulrich *et al.*, 1991). En los diseños DFM la integración, sincronización y congruencia de los procesos productivos dentro de una organización juega un papel fundamental en la obtención de una línea producción sustentable y viablemente factible para obtener los productos/servicios deseados. Para conseguir lo anteriormente planteado, Da Silva *et al.* (2002) establecen que son necesarias tres etapas principales en el desarrollo de los diseños DFM:

Cambios Organizacionales

Desde el punto de vista estratégico, la distribución física y localización de los departamentos de la organización juegan un papel fundamental en el éxito de la implementación del diseño DFM. En esta fase es necesario analizar los flujos de información y gráficos de relaciones entre los departamentos para realizar las respectivas modificaciones internas. Los departamentos de diseño e ingeniería deben estar en constante interacción e intercambio de conocimiento en el desarrollo del producto a través de personal capacitado (Diseñadores, ingenieros, especialistas técnicos, trabajadores de empaque y otras especialidades) en los trabajos específicos de cada proceso productivo. De acuerdo con Kosacoff y López (2002), existen tres aspectos organizacionales y tecnológicos que han influenciado el comportamiento de consumo de los clientes en los últimos años y la necesidad de desarrollo de diseños para la manufactura en las organizaciones, los cuales son:

-El nacimiento de economías emergentes y el incremento de la dinámica de globalización en las actividades económicas y transnacionalización de agentes económicos ((Dunning & Narula, *Developing countries versus multinationals in a globalising world: the dangers of falling behind*, 1997); (Dunning & Hamdani, 1997); (Ernst, 1997); (Oman, 1994); (Zysman *et al.*, 1996)).

-El nacimiento de nuevas tecnologías de información y comunicación que han impulsado las buenas prácticas tecnológicas y aumento de los niveles de producción de las organizaciones, como por ejemplo la biotecnología, generación de nuevos materiales, entre otros. ((Carlsson, 1995); (Coriat, 1992a); (Coriat, 1992b); (OECD, 1991); (Milgrom & Roberts, 1990); (Willinger & Lusovitch, 1988); (Womack *et al.*, 1990)).

-El conocimiento y transferencia de información entre organizaciones. La inversión realizada por las empresas en desarrollo e innovación ha incrementado el ritmo de generación de nuevas patentes, licencias, capacitación y entrenamiento en nuevas tecnologías. De esta forma, una de las ventajas competitivas se presenta en el desarrollo de innovación y desarrollo de proceso y productos dentro de las organizaciones a nivel regional y nacional (OECD, 1992).

Directrices de Diseños Sistemáticos

La adopción de una filosofía enfocada en el diseño DFM dentro de las empresas requiere de una serie de principios para el éxito en su consecución, los cuales son:

- *Desarrollo de diseños modulares:* Cuando el desarrollo de productos implica la integración o unión de varios componentes, estamos hablando de desarrollo de diseño modular. Este tipo de diseño se caracteriza por representar el producto final por medio de una vista “explosionada”, en donde se observan los diferentes “módulos” o componentes internos del sistema. Un ejemplo claro es el diseño modular de un computador, como se puede apreciar en la figura 1.
- *Minimizar el número de componentes:* En esta fase se aplican y están relacionados los principios de ingeniería de valor, en donde se busca reducir el número de piezas que componen un producto, conservando la característica de “funcionalidad” del mismo, generando como resultado una minimización de los costos y tiempos de producción.

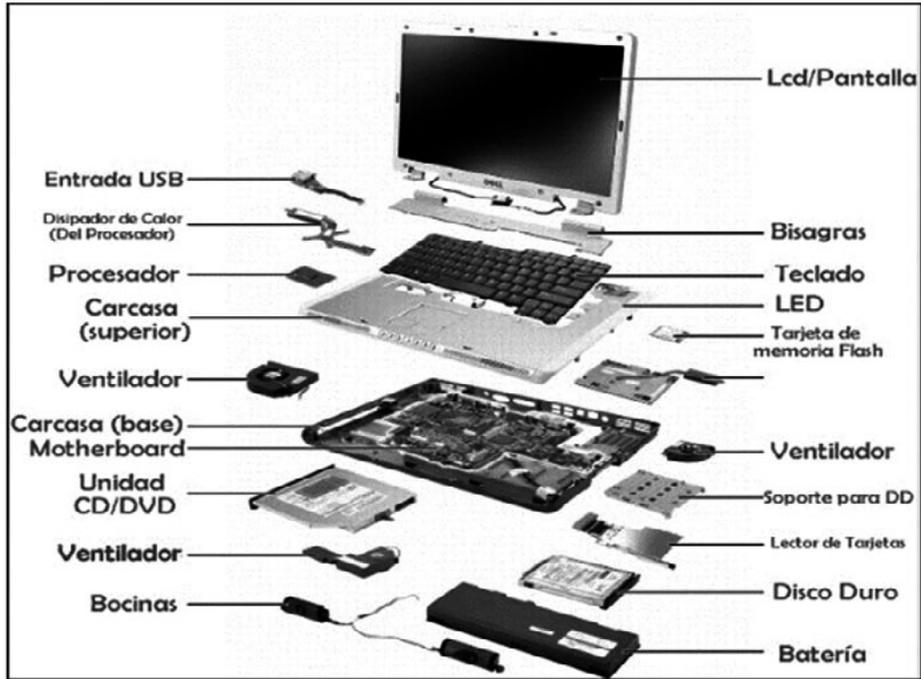


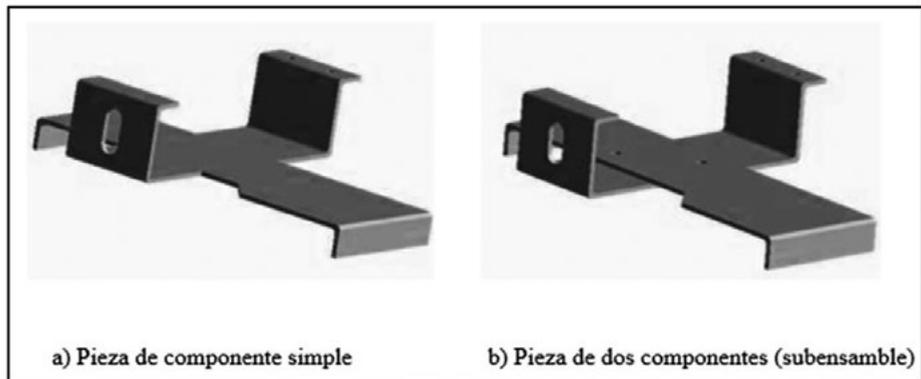
Figura 1. Pieza de componente simple y de dos componentes (subensamblable)

Fuente: Boothroyd , Dewhurst , & Knight, Product Design for Manufacture and Assembly, (2002).

Un ejemplo claro es la fabricación de una pieza de dos componentes (figura 2b) y rediseño de fabricación para la elaboración de una pieza de componente simple (figura 2a):

- *Diseño de partes Multi-uso:* En una empresa de producción, los productos pueden caracterizarse por estar compuestos de piezas diseñadas para múltiples usos (similares o diferentes). Un ejemplo claro se presenta en las piezas

compradas en una organización (partes que se utilizan de manera similar) y partes que son ensambladas dentro de los procesos internos de la fábrica (partes que se utilizan de manera diferente). “El objetivo de ejecutar esta categorización de piezas de uso similar y diferente es conseguir una configuración de familias de piezas que permita estandarizar los procesos de producción de planta” (Chang *et al.*, 1998).



a) Pieza de componente simple

b) Pieza de dos componentes (subensamblable)

Figura 2. Pieza de componente simple y de dos componentes (subensamblable)

Fuente: Adaptado de Boothroyd, Dewhurst, & Knight (2002)

- *Uso de componentes estándar:* La fabricación de piezas estándar se presenta como una estrategia de competitividad de tiempos y costos dentro de los procesos productivos. Esto permite que los procesos productivos trabajen a un ritmo superior y cumplan con las exigencias, tiempos y especificaciones de los productos. Un ejemplo claro se puede apreciar en la figura 4, en donde el resorte estándar (figura 3a) se presenta como una oportunidad de estandarización de los procesos internos de una organización si es comparado con el diseño de un resorte a la medida (figura 3b):
- *Diseño con enfoque en manufactura fácil:* Uno de los enfoques comúnmente encontrados en esta categoría es la “logística inversa”. Ella busca principalmente maximizar la reutilización de materia prima o recuperación de componentes descartados. De acuerdo con Chang *et al.* (1998), una óptima selección y recuperación de materiales permitirá reducir costos de producción y a su vez generar una secuencia continua en el flujo de producción. Actividades como por ejemplo acabados en los productos o tolerancias de producción excesivas se presentan como desperdicio para esta categorización.

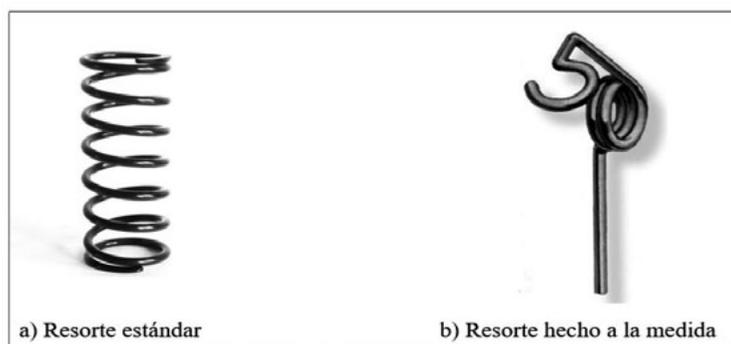


Figura 3. Resorte estándar y a la medida

Fuente: Adaptado de Boothroyd, Dewhurst, & Knight (2002).

Metodología de Diseños Asistidos por Computadora (CAD)

El Diseño Asistido por Computadora CAD (Computer-aided design) utiliza herramientas informáticas para diseñar productos y procesos y a su vez preparar su documentación de ingeniería en forma interactiva. Los programas CAD hacen posible que los diseñadores usen dibujos tridimensionales para ahorrar tiempo y dinero al acortar los ciclos de desarrollo en la mayoría de los productos. Estos sistemas permiten manipular, analizar y modificar los diseños complejos y hacen posible la revisión de numerosas alternativas antes de tomar una decisión final. Bilalis (2000) afirma que los diseños asistidos por computadora CAD están compuestos por un software (elementos intangibles: aplicación tecnológica específica) y un sistema hardware (elementos tangibles: componentes físicos) que son utilizados en el diseño de productos y configuración de procesos de producción.

Diseño para el Ensamble/Montaje (Design for Assembly)

Históricamente, la filosofía de Diseños para el Ensamble (DFA) ha sido implementada en las organizaciones “desde la década de 1980 y uno de los métodos más famosos es el desarrollado por Boothroyd & Dewhurst (B + D)” (Favi, Germani, & Mandolini, 2016), en el cual se mide la “complejidad de configuración de fabricación en la producción de un resultado con características cuantitativas” (Boothroyd, Dewhurst, & Knight, Product Design for Manufacture and Assembly, 2002). Otro tipo de pensamientos son orientados al desarrollo de diseños DFA a partir de las características funcionales del producto (Stone *et al.*, 2004).

El Diseño para el Ensamble (DFA) “es una filosofía de diseño enfocada en realizar una estructura de montaje de planta con el objetivo de reducir costos de un producto y aumentar la simplicidad, confiabilidad,

calidad y servicio del producto final” (Kim & Bekey, 2007). Un primer paso para realizar lo anterior es analizar el diseño del producto y reducir el número de partes que lo constituyen, asegurándose que este número de piezas sea fácilmente ensamblable. Los diseños DFA son utilizados principalmente en productos durables, subensambles de productos y ocasionalmente, en productos de consumo.

Este tipo de diseños han constituido un amplio eje de desarrollo de las configuraciones de planta y adaptación de los productos a los procesos de producción. De acuerdo con Iwaya *et al.* (2013), los diseños DFA analizan desde una etapa de diseño inicial aquellas falencias de montaje basado en la experiencia y características de funcionalidad, materiales existentes y equipos a ser utilizados. Sin embargo, el desarrollo de los diseños puede limitarse a la evolución de algunos de sus componentes y no en sí al producto en su totalidad. Como solución a lo anterior, es importante la aplicación de la experiencia técnica, conocimientos académicos y pruebas empíricas de los prototipos desarrollados.

Synnes & Welo, (2016) orientan los diseños DFA hacia procedimientos enfocados en reducir los costos de producción por medio de procesos de transferencia y retroalimentación de conocimiento entre los departamentos de diseño e ingeniería de tal forma que se generen nuevos e innovadores prototipos que faciliten la fabricación de componentes del producto y sean conservadas las características de calidad del mismo. Una concepción importante es la planteada por Boothroyd *et al.* (2002) mediante la cual se establecen los diseños para el ensamble como la búsqueda de un montaje eficiente (manual, máquina de propósito especial o montaje de máquina programable) de los procesos de producción.

Delchambre (1996), establece que existen 5 pasos principales para el desarrollo de Diseño para el Ensamble (DFA): El primer paso es la *estructura del producto*, en donde se analiza las diferentes posibilidades de integración de piezas y minimización de tiempos y costes asociados. El segundo paso es la *manipulación* que investiga las posibilidades de movimientos asociadas a las

piezas que integran el producto final (flexibilidad, agarre, peso, entre otros). El tercer componente es la *alimentación*, encargada de realizar las actividades de análisis, arreglo y montaje de piezas (un ejemplo claro en esta etapa es la alimentación de resortes, tornillos, alambres, entre otros) con el objetivo de evitar enredos o confusiones con respecto a la manipulación. Un cuarto paso es la *inserción y posicionamiento* en donde el uso de chaflanes y visibilidad de componentes facilitan las características de colocación, considerando el eje de alineación y orientación. Finalmente, el quinto paso es la *unión* de las diferentes piezas, etapa responsable por la evaluación y análisis de elementos de fijación y resultando en la generación de nuevos rediseños.

Uno de los aspectos fundamentales a ser considerados en los Diseños para el Ensamble son las directrices asociadas a la configuración de los procesos de producción. Betancur-Muñoz *et al.* (2014) establecen que estas tratan de guiar los diseños en búsqueda de la facilitación, optimización y garantía de viabilidad de montaje y, a su vez, “conservar la sustentabilidad asociada a los procesos involucrados con el desarrollo de eficacia de montaje, calidad de producto y conservación de medio ambiente” (Andreassen *et al.*, 1983).

Los procesos DFA permiten realizar un análisis de costos asociados a los procesos de producción, como por ejemplo el costo de mano de obra, equipamiento y material por unidad de producción; además, permite calcular el “índice de eficiencia”, conocido como la medida de adherencia de los componentes de ensamble de un producto y su adaptabilidad en los procesos de montaje de los mismos. De acuerdo con Tati-konda (2005), puede deducirse que, productos fuera de técnicas de diseño DFA pueden alcanzar índices de eficiencia de 20%, mientras que los productos que fueron sometidos al análisis e implementación de DFA consiguieron valores de eficiencia de hasta 70%.

Un ejemplo claro de análisis de costos en el diseño para el montaje se muestra en la figura 4 En esta figura se representa un diseño inicial de un registrador de presión de la empresa Ford.

Esta pieza es un dispositivo electro-mecánico comúnmente utilizada en registros o mediciones de presión de gasolina en los automóviles. En su configuración inicial, él está compuesto de los siguientes elementos: 1. *Pressure regulator* (Regulador de presión); 2. *Tube assembly* (Tubo de ensamble); 3. *Adaptor nut* (Adaptador de tuerca); 4. *Sensor* (Sensor); 5. *Nut 20x3* (Tuerca de 20x3); 6. *Strap* (Correa); 7. *Screw* (Tornillo); 8. *Earth lead* (Plomo en tierra); 9. *Connector* (Conector); 10. *Printed circuit board assembly*

(Ensamble de la placa de circuito impreso); 11. *Metal frame* (Marco de metal); 12. *Plastic cover* (Cubierta plástica); 13. *Knob* (Nudo). Como se puede observar, el regulador de presión está compuesto de 13 componentes principales necesarios para su producción inicial; el hecho de presentar un diseño modular con una grande variedad de componentes podría dificultar de cierta forma la sustentabilidad de procesos productivos y a su vez incrementar tiempos de ciclo, costos de material y recursos humanos.

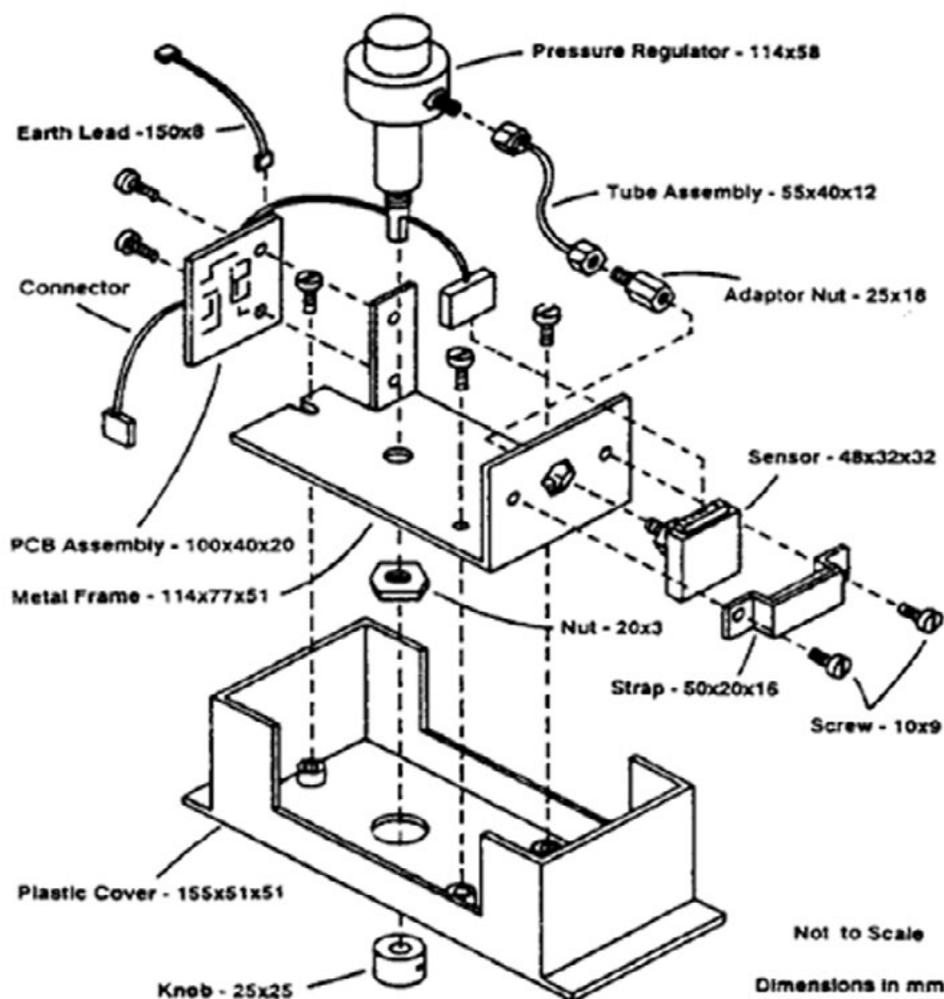


Figura 4. Diseño inicial para un registrador de presión – Compañía Ford
Fuente: (Tatikonda, 2005).

Como medida de solución, se plantea para el presente ejemplo realizar un análisis de costos e implementar el proceso de Diseño para el montaje (DFA) que permita minimizar los costos asociados y generar un diseño simple para la configuración del montaje de los procesos productivos. Como etapa inicial, se realizó una hoja de ruta, en la cual se especificaron los procedimientos y pasos necesarios para realizar el producto mencionado, como se puede observar en la tabla 1. En esta

etapa, fueron adicionados 7 pasos necesarios y adicionales a las 13 actividades de ensamble de los elementos existentes: 4. *Reorient-turn over* (Reorientar, girar); 11. *Fasten 2nd tube ni* (Sujetar 2da tuerca de tubo); 14. *Screw* (ensamble de tornillo); 15. *Turn assembly over* (giro sobre montaje); 18. *Tighten set screw* (apriete de tornillo de fijación); 19. *Turn assembly over* (giro de montaje sobre); 20. *Screw* (ensamble de tornillo adicional).

Tabla 1. Hoja de cálculo del Diseño para el Montaje -DFA de registrador de Presión

Hoja de cálculo del Diseño para el Montaje -DFA									
C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	
N° Parte	N° de veces que la operación es llevada fuera consecutivamente	Código de Manipulación manual	Manejo Manual tiempo por parte	Código de inserción manual	Tiempo de inserción manual por parte	Tiempo de operación C2(C4+C6)	Costo de Operación 0,4 (C7)	Estimación de mínimo teórico de partes	Actividad
1	1	30	1.95	0	1,5	3,5	1,4	1	Regulador de presión
2	1	30	1.95	6	5,5	7,5	3	1	Marco de metal
3	1	0	1.13	39	8	9,1	3,6	0	Tuerca
4	1	-	-	98	9	9	3,6	-	Reorientar/girar
5	1	30	1.95	8	6,5	8,5	3,4	1	Sensor
6	1	20	1.80	8	6,5	8,3	3,3	0	Correa
7	2	11	1.80	39	8	19,6	7,8	0	Tornillo
8	1	-	-	99	12	12	4,8	-	Aplique de cinta de PTFE
9	1	10	1.50	49	10,5	12	4,8	0	Adaptador de tuerca
10	1	91	3.00	10	4	7	2,8	0	Conjunto de tubo
11	1	-	-	92	5.0	5	2	-	Sujetar 2da tuerca de tubo
12	1	83	5.60	31	5.0	10,6	4,2	0	Cable a tierra
13	1	83	5.60	8	6.5	12,1	4,8	1	Montaje de PCB
14	2	11	1.80	39	8.0	19,6	7,8	0	ensamble de tornillo
15	1	-	-	98	9.0	9	3,6	-	giro sobre montaje
16	1	30	1.95	8	6.5	8,5	3,4	0	Plástico sobre
17	1	30	1.95	8	6.5	8,5	3,4	1	Nudo
18	1	-	-	92	5.0	5	2	-	Apriete el tornillo de fijación
19	1	-	-	98	9.0	9	3,6	-	Giro de montaje sobre
20	3	11	1.80	59	12.0	41,4	16,6	0	ensamble de tornillo Adicional
						225,2	89,9	5	
						TM	CM	NM	

Fuente: Adaptado de Tatikonda (2005).

En la tabla 1. Es analizada la hoja de cálculo del Diseño para el Montaje del registrador de presión. Se realiza la medición de tres variables principales para las 20 actividades necesarias en la producción: C7, Tiempo de operación (Operation time-TM); C8, costo de operación (Manufacturing cost-MC) y C9, Parte teórica mínima (Theoretical part minimum-NM).

El tiempo de ensamble total-TM fue realizado a partir de estudios de tiempos y movimientos necesarios en cada una de las actividades (Por ejemplo, en el caso de la actividad 1, el tiempo y movimientos necesarios para orientar la pieza, tiempos de inserción, etcétera.); en el caso de la variable de costo de manufactura-CM, fueron considerados los costos asociados a cada una de las actividad a ser ejecutadas, considerando desde el costo de materiales hasta el costo logístico implicado en actividades de trabajadores, maquinaria, equipo, entre otros. Finalmente, la parte teórica mínima-NM, fue analizada utilizando algoritmos simples asociados a sistemas informáticos utilizando como medio un

software específico. Una vez realizado lo anterior, el equipo de Ingeniería ejecuta reuniones periódicas con el objetivo de realizar un rediseño y hallar soluciones alternativas e innovadoras al diseño actual, siguiendo a su vez las siguientes directrices:

- Revisión de lista de partes y procesos actuales de montaje.
- Asignación de equipos para el análisis de ensambles de sección particular y la formación de dos equipos de ingeniería mirando cada sección y realizando propuestas innovadoras de unión y montaje de piezas basadas en simplicidad.
- Análisis del diseño inicial.
- Análisis de las propuestas de rediseño futuras.
- Comparación entre la propuesta inicial vs propuesta de rediseño.

Una vez implementado lo anterior, se llegó a la conclusión de un Rediseño de Ingeniería, basado en la parte teórica mínima para el diseño de la pieza, la cual es presentada en la figura 5:

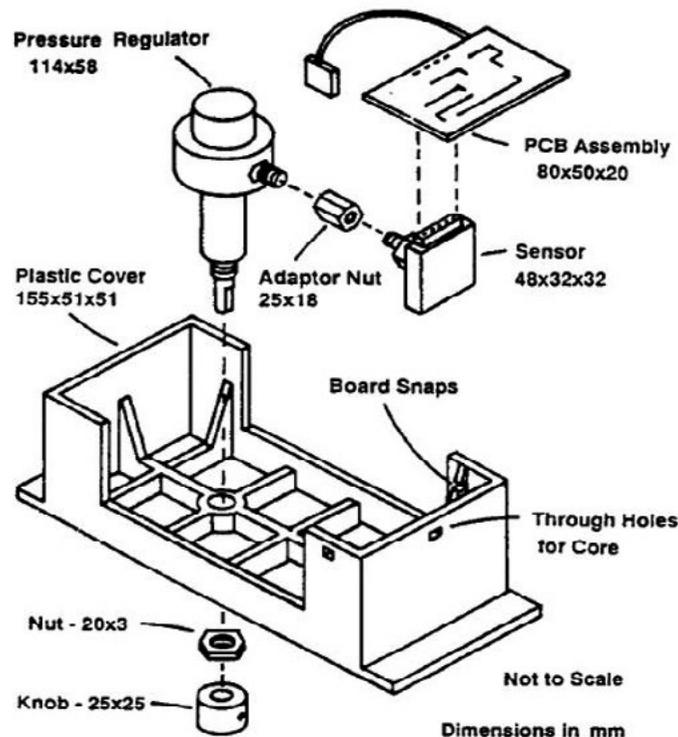


Figura 5. Rediseño para un registrador de presión –Compañía Ford.
Fuente: (Tatikonda, 2005)

Si se analizan las figuras 4 y 5, podemos concluir lo siguiente: Se realizó una mejoría en el diseño de agujeros adicionales, pasando de diseños iniciales que demandaban gran cantidad de tornillos y tuercas a un diseño enfocado en montajes totales de partes. Se realiza una mejoría en la combinación de partes, como, por ejemplo, en el rediseño de la figura 5 es construido un esqueleto de plástico en la cubierta de plástico (plastic cover), la cual combina la pieza del diseño de la figura 4 conocido como marco de metal (metal frame) y la adhiere a la cubierta de plástico inicial. Finalmente, se puede observar una mejoría de fabricación en un rediseño ejecutado verticalmente (de arriba para abajo) comparado con el diseño inicial del registrador de presión, el cual es diseñado horizontalmente. De acuerdo con el análisis anterior, se puede evidenciar el trabajo que se realiza en las organizaciones para gestionar los procesos productivos y enfocarlos en un mejoramiento continuo de carácter flexible (fácilmente reconfigurable) en el ajuste de la línea de producción de las empresas.

Diseño para la Manufactura y Ensamble/ Montaje (Design for Manufacturing and Assembly)

Lewis, (2006) define el Diseño para la Manufactura y Ensamble (DFMA) como la integración del Diseño para el Ensamble (DFA) y el Diseño para la Manufactura (DFM) en la búsqueda y solución de problemas relacionados con la fabricación y ensamble de productos y gestión de los mismos desde una etapa temprana de diseño. En un aspecto general, los diseños DFA se enfocan en los costos relacionados con la mano de obra necesaria para realizar el producto. El diseño para la manufactura (DFM) se relaciona con las herramientas y materiales necesarios en el procesamiento de los diseños para un nuevo producto por medio de una revisión “explosionada” de los componentes y búsqueda de diseños simples donde se pueda reemplazar, mejorar o eliminar piezas relacionadas. Como consecuencia, el equipo de trabajo establece propuestas de carácter económico antes de que se inicie la implementación del nuevo diseño de producto. Además de las múltiples iniciativas por minimizar los costos relacionados al

producto (costos de ensamble, piezas, procesos de montaje, etcétera), el Diseño para la Manufactura y Ensamble (DFMA) busca optimizar aspectos de servicio, confiabilidad y calidad del producto final.

En el caso de Barbosa y Carvalho (2013) es analizado el diseño para la Manufactura y Ensamble (DFMA) como una técnica aplicada en la mejora y desarrollo de productos cuya finalidad es gestionar la minimización de costes de fabricación y montaje. La implementación de este nuevo tipo de pensamiento debe ser incorporado desde una etapa inicial del diseño con el objetivo de prever las probabilidades de ajuste y modificaciones necesarias en búsqueda de la reducción de número de componentes y partes asociadas al producto. Con lo anterior se pueden obtener resultados de beneficio tanto para el producto como para los procesos de producción, como por ejemplo la reducción de número de partes, aumento de la calidad, simplicidad y estandarización de procesos de ensamble y reducción de costes de fabricación.

Un enfoque interesante en el desarrollo de diseños DFMA es el planteamiento generado por Nevins & Whitney (1989), en la conceptualización y relación de la Ingeniería Simultánea, siendo esta la integración de equipos de trabajo durante el desarrollo de productos y servicios. La esencia de este tipo de enfoque es generar una interrelación y transferencia de conocimiento entre los diferentes integrantes de la organización (ingenieros, técnicos, profesionales de área, académicos, investigadores, entre otros) y buscar soluciones de diseño de producto y montaje de planta por medio de la denominada “red interconectada de decisiones”, resultado de las decisiones con respecto a los diseños para la Manufactura y Ensamble (DFMA).

Los diseños para la Manufactura y Ensamble nacen de la integración e interrelación de dos metodologías principales: Los Diseños para la manufactura (DFM) y los Diseños para el Ensamble (DFA). Stone, McAdams, & Varghese (2004) establecen dos esferas principales de construcción para Diseños DFMA: El ciclo de vida de los Diseños DFM y DFA, denominado al tiempo asociado de planeación, ejecución, implementación, análisis

y control de los diseños mencionados. Estas dos metodologías de diseño son importantes en la “toma de decisiones con respecto a los criterios establecidos en las piezas de montaje” ((Giachetti, 1999), (Stone *et al.*, 2004), (Martín, 2002), (Dewhurst, 2010)).

Una de las características resultante de la implementación de diseños DFMA es el cambio de pensamiento organizacional. Lo anterior implica la adaptación, recepción y aplicación de la nueva metodología a ser asignada y generación de nuevos tipos de estructuras de trabajar basadas en transferencia de conocimientos, experiencias y retroalimentación de la información. Así lo manifiestan (Pereira Mello *et al.* 2010), quienes definen el desarrollo de los diseños DFMA como “el diseño y planificación de la producción a partir de una serie de principios, también conocidos como las directrices de los diseños DFMA”. En cuanto a las características de evolución de los aspectos de calidad y gestión de tiempos y costos, Dufour (1996), enfatiza en utilizar los diseños DFMA en adaptación, relación y asociación hacia los productos fabricados por las organizaciones en búsqueda del mejoramiento de las condiciones de procesos de producción y configuración de montante de planta.

En el desarrollo de los diseños DFMA existen una serie de lineamientos genéricos a ser considerados en la implementación de la nueva metodología. Stepheson & Wallace (1995), describen estas directrices en cinco pasos principales: El primero es *simplicidad*, el cual hace referencia a la adaptación de los diseños y minimización de número de componentes/piezas insertados para su ensamble; el segundo aspecto es utilización de *materiales y componentes estándar* en la fabricación de los productos. Esta característica permite que el número de alternativas de solución con respecto a la materia a ser utilizada sea más versátil y se puedan realizar diferentes propuestas comerciales en búsqueda de soluciones funcionales y financieras en cuanto a la minimización de costos de materia prima para la organización. El tercer aspecto hace referencia a la utilización de *materiales más procesables*, es decir, generar

opciones de material que posean características altas de manipulación y flexibilidad de adaptación a los procesos productivos de la organización. Un cuarto aspecto es la *reducción de operaciones secundarias*, lo cual hace referencia a integrar los materiales de tal forma que puedan ser procesados dentro de la línea de producción de la organización, excluyendo las probabilidades de ensambles o subensambles externos a la compañía. Finalmente, el quinto aspecto es utilizar las *características especiales del proceso*, en donde sea aprovechada la capacidad teórica de las máquinas-equipamientos con el desarrollo de diseño que se ajusten a su capacidad de producción.

Los diseños DFMA requieren de ciertos estudios e investigaciones que permitan obtener la información acerca del comportamiento del cliente. Conocer las necesidades y requisitos en relación a los productos que las organizaciones pretenden desarrollar permite tener una visión holística de producción y mejorar la planeación, control y ejecución de los procesos de producción. Una de las herramientas que gestiona el conocimiento de las necesidades del cliente y el estado de producción actual en la transformación de esas necesidades es conocida como la casa de la calidad- despliegue de la función de calidad. Un ejemplo claro es presentado en la figura 6.

La casa de calidad se presenta como una herramienta que permite conocer las necesidades de los clientes y establecer una relación con el estado actual de los procesos de producción de la empresa en el atendimento de dichas necesidades. Para crear la casa de calidad es importante el desarrollo de cuatro láminas principales. Un ejemplo claro se puede observar en la figura 6, en donde se presenta un caso aplicado para una empresa que desea producir cámaras fotográficas. La primera lámina de calidad define, por medio de estudios (entrevistas, encuestas, entre otros) las cinco principales necesidades que el cliente quiere ver en el producto (ligero, fácil de usar, confiable, fácil de sostener firmemente, corrección de color) y se establece una categoría de importancia para estas necesidades, siendo

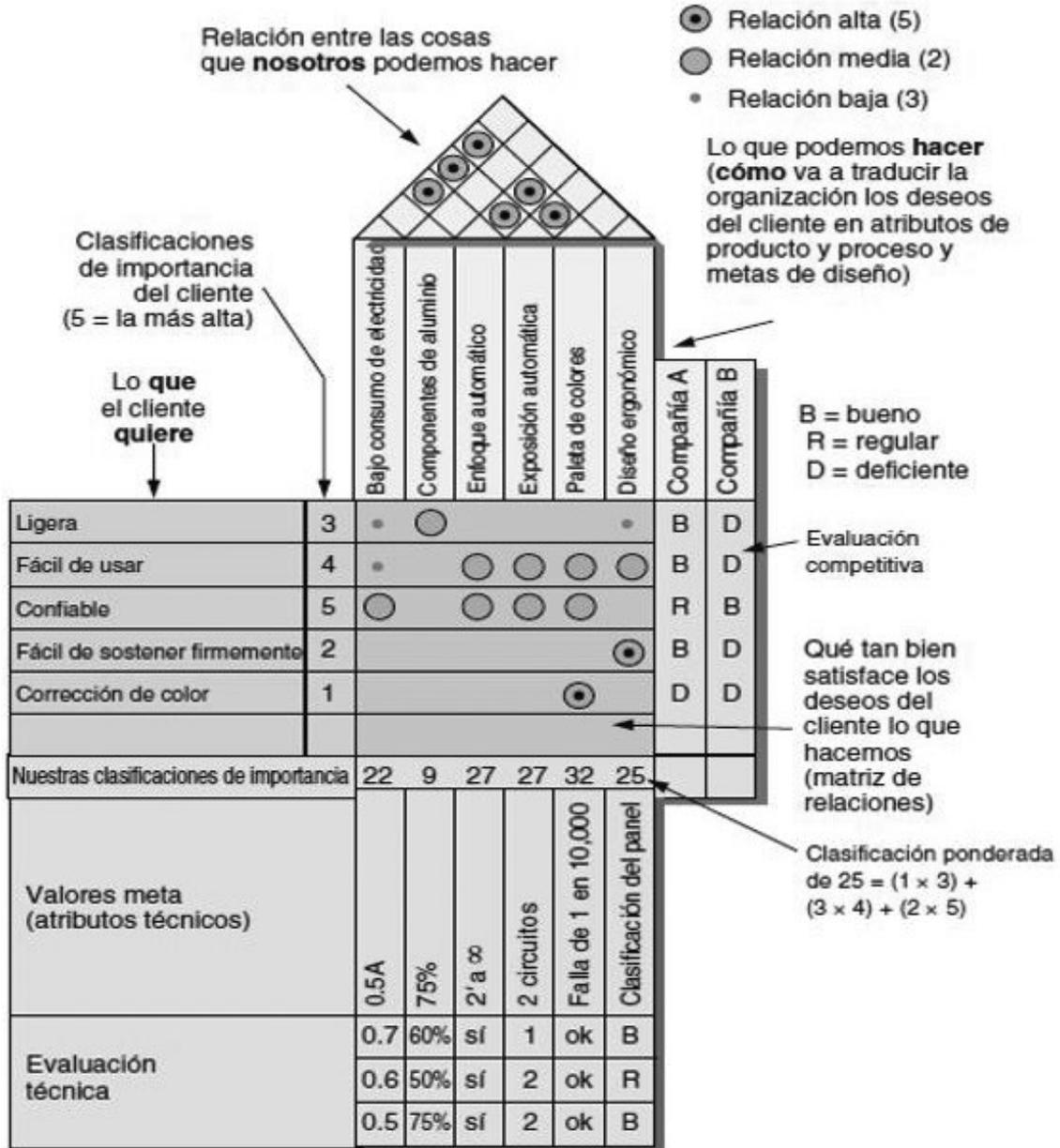


Figura 6. Ejemplo de casa de calidad-despliegue de la función de calidad.
 Fuente: (Heizer & Render, 2009).

1 el menos representativo y 5 el mayor valor de representación. A seguir, se definen los principales atributos del “cómo” la empresa puede trabajar para cumplir con esas necesidades del cliente, desde el punto de vista funcional de los procesos productivos de la organización y desarrollo de estas necesidades, conocidos como los “atributos” (bajo consumo de electricidad, componentes de aluminio, enfoque automático, exposición automática, paleta de colores, diseño ergonómico). La segunda lámina de calidad mide tres factores principales: Primero la medida de relación que existe dentro de la organización entre los atributos (relación alta: 5; relación media: 3; relación baja: 1. Segundo se evalúa la relación que existe entre las necesidades del cliente y el grado en que se pueden cumplir desde el punto de vista funcional de los procesos productivos de las organizaciones, también conocida como la “matriz de relaciones”. El tercer factor de medición es la “clasificación de importancia”, en donde se multiplica el nivel de importancia de cada uno de los requerimientos del cliente con la clasificación dada en la segunda medición. En la elaboración de la tercera lámina de calidad, se realiza un benchmarking o punto de referenciación. Se analiza cómo están los atributos internos organizacionales para el desarrollo de las necesidades de los clientes y se evalúa (bueno, regular, deficiente) uno a uno los atributos que pueden ofrecer los principales competidores del sector. El desarrollo de la cuarta lámina de calidad permite medir dos variables principales: Primero es el “valor meta”, el cual indica dentro de la organización el objetivo final o hacia donde se quiere llegar la empresa en el desarrollo de cada atributo. El segundo factor es la evaluación técnica, en donde se establece un benchmarking para los atributos de la organización y su capacidad de cumplimiento con respecto a sus competidores.

Una vez definidas las necesidades del cliente, es importante determinar el periodo necesario para el desarrollo del diseño inicial en la gestión de tiempos y costos relacionados con la realización del producto/servicio y la estrategia en la configuración de planta para producirlo. “Un análisis del diseño desde una etapa temprana mejora las condiciones de desa-

rollo del producto en cuanto a aspectos financieros, funcionales y de calidad siempre que es comparado con un escenario de rediseño de producto” (Xie, 2002). Adicionalmente, permite a los diseñadores de las organizaciones entender desde un punto de vista funcional y conceptual cuales de las diferentes piezas que componen el producto presentan un carácter potencial de mejoramiento para futuras etapas y desafíos de fabricación.

El punto a seguir en el desarrollo del Diseño para la Manufactura y Ensamble (DFMA) es la inmersión y adherencia de la filosofía en la organización. Es importante que las empresas entiendan que este tipo de diseño representa un cambio de actitud organizacional sobre el “qué hacer “del día a día y las actividades desarrolladas en cada una de las labores de sus trabajadores. El diseño DFMA debe ser entendido como una filosofía de mejoramiento interno, tanto del producto que va a ser fabricado como la adaptación de los procesos necesarios para ejecutarlo. La etapa inicial de adherencia e introducción en las organizaciones puede resultar difícil, pero una vez es arraigada se convierte casi en un proceso interno automático, en donde surgen preguntas acerca del proceso de ensamble y directrices que se han adoptado. A partir del nacimiento de los cuestionamientos, se establece una etapa de aceptación de la nueva filosofía en donde se inicia el desarrollo del diseño DFMA.

Como resultado de la implementación de la filosofía DFMA en las organizaciones, Riba y Paz (2009), establecen que se generan ciertos beneficios, los cuales son: 1. Conocimiento técnico de los componentes internos, infraestructura de planta, capacidad de innovación y mayor flexibilidad productiva; 2. Optimización de presupuesto de contratación, en la medida en que se puedan ir integrando los procesos de producción y reduciendo tiempos y responsables en las actividades; 3. Diferenciación de productos adquiridos, en donde con el aumento de las características de simplicidad y estandarización, es posible minimizar el número de errores asociados en las actividades de procesamiento, lo cual genera como resultado productos de alta calidad para los clientes.

Una vez obtenidos los diseños de producto iniciales, a continuación, se presenta la etapa de “evaluación de ingeniería”. Durante este proceso se realizan una serie de reuniones, conferencias e investigaciones en donde se estudia el estado actual del diseño y se establecen medidas de mejoramiento del mismo. En esta parte se hace uso de conocimientos inge-

neriles asociados a conceptos de desarrollo del producto, como lo son por ejemplo la Ingeniería de ciclo de vida del producto, ingeniería de valor del producto, modularidad, diseño robusto, desarrollo de producto, etcétera. con el fin de definir las directrices, procedimientos y presupuesto necesarios para la elaboración del producto/servicio.

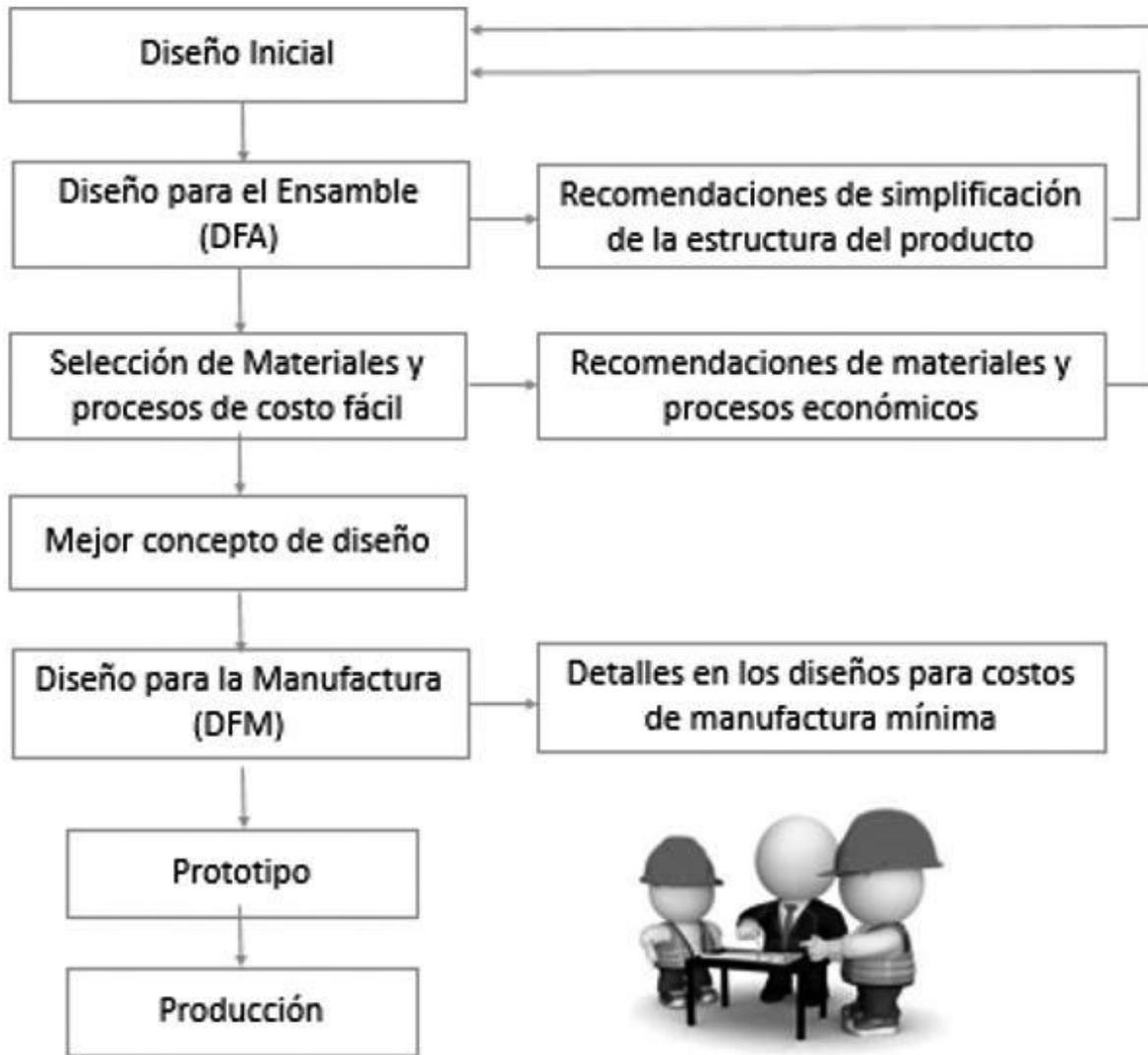


Figura 7. Ejemplo de implementación de procedimiento DFMA
Fuente: (Adaptado de Edwards, 2002)

Desarrollo del Diseño para la Manufactura y Ensamble / Montaje (DFMA)

Una vez definida e inserida dentro de las organizaciones la nueva filosofía de Diseño para la Manufactura y ensamble, es necesario el desarrollo de la misma en los procesos internos de la empresa. El objetivo inicial en la implementación de esta nueva filosofía es la minimización de costos y gestión en cuanto al servicio y calidad del producto. Sin embargo, cuando se habla de realizar un diseño inicial simple para su manufactura y ensamble, puede presentarse un desvío de enfoque, llevando a realizar diseños compuestos por poca cantidad de piezas y generación de diseños integrados por componentes de naturaleza compleja, lo cual genera una alta probabilidad de aumento de costos de suministro de materia prima como de mantenimiento de maquinaria y equipos. Para controlar la situación anteriormente planteada, es necesario definir dentro de las organizaciones el desarrollo de un procedimiento de implementación del Diseño para la Manufactura y Ensamble. Un ejemplo claro de implementación es presentado en la figura 7:

De acuerdo con la figura 7, el procedimiento de Diseño para la Manufactura y Ensamble comienza con la etapa de Diseño inicial, el cual es el bosquejo, representación o dibujo inicial del producto. Esta representación gráfica busca totalizar las necesidades planteadas por los clientes y a su vez, insertar el método inicial de producción que se puede realizar dentro de las organizaciones. Este diseño es transportado para una segunda etapa, conocida como la etapa de Diseño para el Ensamble (DFA), en donde se define una configuración de planta que ajuste los procesos productivos en búsqueda de disminución de tiempos y costos relacionados con la fabricación del producto planteado en el diseño inicial. Una de las metodologías comúnmente utilizadas para el desarrollo de Diseños DFA es la planteada por Boothroyd & Dewhurst (1994), en donde se establece tres pasos principales: 1. entrada de diseño inicial y análisis, 2. Creación de hoja de cálculo relacionando estudios de tiempos, movimientos y costos asociados al producto inicial; 3. Estimación del mínimo teórico de partes

y medición del nuevo diseño, gestión realizada de acuerdo a la experiencia, desarrollo de ideas y gestión de procesos funcionales por parte de los técnicos, ingenieros y especialistas del área para definir las recomendaciones de simplificación de la estructura del producto. Una vez desarrolladas las recomendaciones, son reajustadas al diseño inicial del producto y retroalimentadas en información para el personal responsable.

El siguiente paso es la Selección de materiales y procesos de costo fácil, en donde se realizan estudios comerciales, físicos y estructurales con respecto a los materiales implicados en la fabricación de los productos-servicios; en esta etapa se busca crear alternativas adicionales para los materiales implicados, por medio de la elaboración de presupuestos de materiales ofrecidos por clientes potenciales de suministro. Importante en esta etapa definir materiales con características elevadas de estandarización (para la consecución de procesos ágiles a bajo costo) y obtención en el mercado (buscando incrementar el número de alternativa posibles y, a su vez, generar estrategias de negociación y renegociación que permitan disminuir los costos de suministro asociados). Lo anteriormente mencionado es conocido como las recomendaciones de materiales y procesos económicos, en donde se entregan informes periódicos de sugerencias para materiales alternativos con amplio potencial de inserción en los procesos de producción.

A seguir, se establece la etapa de mejor concepto de diseño, en donde una vez planteadas las diferentes propuestas y analizadas por los departamentos, se define la mejor opción a ser implementada dentro de las organizaciones. Con la propuesta decidida y definida, el siguiente paso es el desarrollo del Diseño para la Manufactura (DFM), en donde se definen los materiales y las herramientas (equipo, maquinaria, entre otros) necesarias para la fabricación del producto-servicio. Adicional, son definidos en esta etapa de producción las dimensiones, tolerancias, materiales y acabados necesarios que me permitan generar los detalles necesarios en la gestión de costos de manufactura.

El desarrollo de Diseño de Manufactura permite crear modelos de diseño orientados a la modu-

laridad, mínimo de componentes, multiuso y uso estandarizado de las piezas necesarias para ejecutar el producto final. Una vez definidos los criterios anteriores, se procede a crear un prototipo del producto, siendo éste una muestra final resultado de la ejecución de los Diseños para Ensamble (DFA) y los Diseños para manufactura (DFM). Este prototipo inicial permite ver en físico los resultados alcanzados fruto de la implementación de la metodología DFMA en las organizaciones, lo cual permitirá analizar desde un punto de vista más detallado las propiedades del producto y futuras modificaciones en la optimización de procesos, materiales y costos asociados. Con el prototipo listo, pueden configurarse finalmente todos los procesos de producción, adecuarse a las necesidades de producción del producto a ser fabricado y finalmente establecer las actividades de producción relacionadas.

Una vez realizada cada una de las etapas del procedimiento del Diseño para la Manufactura y Ensamble (DFMA), se establecen cuatro tipos de análisis principales: El análisis funcional del producto, el análisis de manufactura, el análisis de manipulación y el análisis de ajuste de la nueva filosofía DFMA. Cada análisis anterior genera como resultado un costo, el cual es revisado por los departamentos y responsables encargados con el objetivo de identificar las principales fuentes de salida (egresos de las organizaciones) y de cierta forma abordarlas, gestionarlas y plantear propuestas de mejoramiento en el rediseño. La integración de conocimiento y experiencia en el abordaje y generación de estrategias de solución para los costos juega un papel fundamental en la creación de un mapeo de productos, recursos humanos y procesos y a su vez, consideración y análisis del ciclo de vida del producto.

Directrices del Diseño para la Manufactura y Ensamble-Montaje (Guidelines of Design for Manufacturing and Assembly)

El Diseño para la Manufactura y Ensamble (DFMA) trabaja bajo el planteamiento de dos tipos de directrices principales: La primera es la manufactura de componentes, en donde la gestión

está apoyada en crear diseños de procesos con formas de carácter útil y simple. Los procesos implicados en esta etapa envuelven la respectiva revisión de materiales y personal asociado para el desarrollo de las actividades y los costos asociados en su implementación en planta. La segunda es el ensamble, el cual está asociado al montaje de un producto y la configuración de procesos para ejecutarlo. El ensamble de componentes puede implicar una parte significativa del costo de manufactura de un producto, en especial cuando grandes cantidades de componentes están involucrados. A partir de los dos conceptos anteriores, Chang *et al.* (1998) define las directrices para el Diseño para la Manufactura (DFM) y Diseño para el Ensamble (DFA), las cuales representan un mejoramiento en la eficiencia y reducción de tiempos y costos.

Directrices del Diseño para la Manufactura

Uno de los objetivos en la implementación del Diseño para la Manufactura es realizar un diseño de carácter fácil y económico. Debido a lo anterior, este tipo de diseño han representado para las organizaciones un 70% de los costos asociados al producto (costo de materiales, procesos y montaje), 20% relacionado con los costos en decisiones de producción y 10% de costos relacionados a otras decisiones. La esencia en este tipo de diseño está enfocada en diez directrices principales, las cuales están relacionadas a continuación:

- a) *Considerar el ciclo de vida del producto como un todo:* En el desarrollo de esta etapa, es importante integrar los procesos relacionados a la fabricación del producto (materiales, procesos industriales, almacenamiento, transporte, marketing, comercial, calidad, entre otros) como un todo, buscando soluciones desde un punto de vista general y asociando “responsabilidad compartida” en la ejecución de las actividades.
- b) *Conocer el mercado de materiales:* En el desarrollo de las propuestas de materiales implicados en la creación de “simplicidad” de procesos productivos, es importante conocer el mercado de las diferentes alternativas que se pueden presentar en la configuración de nuevos diseños y materiales que impliquen menor número de

componentes. Se recomienda que las piezas con características de “estándar” en el mercado no pertenezcan a “monopolios de mercado”, es decir, que sean piezas de suministro de proveedores exclusivos. Lo anterior puede llevar a un incremento en el costo de adquisición de este tipo de piezas y a su vez, una disminución en la gestión de costos relacionados en los procesos productivos de la organización.

- c) *Trabajar con la producción ingenieril*: Entre más temprano se consiga enviar los diseños a los ingenieros responsables por el departamento de diseño de productos, mayor será el aporte en la optimización del sistema y costos asociados a los productos/servicios. “El 80% de los costos asociados a un producto parten de un esfuerzo en diseños de ingeniería del 20%” (Chang *et al.*, 1998). Trabajar en revisiones periódicas de diseño permitirá plantear nuevas alternativas de solución.
- d) *Selección de materiales y procesos apropiados a los volúmenes de producción*: Procesos como moldeo por inyección y fundición son potencialmente importantes en procesos de producción de alto volumen. Fabricación de láminas, formación en vacío, moldeo en arena se presentan como procesos de producción de intermedio volumen. Mecanizado de fabricación sólida y compuesta se presentan como procesos de producción de bajo volumen; sin embargo, si los procesos anteriores son realizados por máquinas automáticas, su carácter se convierte a procesos de alto volumen.
- e) *Desarrollo de Diseños “sencillos”*: Entre mayor sea el número de componentes implicados en la fabricación de un producto/servicio, mayores serán los costos de manufactura y ensamble y por consecuencia, los riesgos de falla de producto serán mayores.
- f) *Utilizar diseños de materia prima “estándar”*: Uno de los factores a tener en cuenta en la selección de materias primas es la preferencia por diseños de material estándar. Este tipo de propiedades en los materiales permiten configurar procesos de producción automáticos y trabajar bajo conceptos de estandarización.
- g) *Diseñar partes con tolerancias apropiadas para que los procesos de manufactura puedan ser realizados*: Un ejemplo claro es la construcción de subensambles en los procesos productivos. Los subensambles son las actividades de unión de dos o más partes de componentes que hacen parte de un producto. El desarrollo de este tipo de actividades genera un número mayor de posibilidades de configuración de los procesos productivos y a su vez disminuye tiempos de procesamiento internos en cada uno de los departamentos.
- h) *Trabajar con perfiles de productos con bajos niveles de acabados*: Los acabados dentro de los procesos productivos se presentan como el desarrollo de especificaciones y mayor número del nivel de detalle del producto, lo cual puede aumentar los tiempos de producción ya a su vez los costos asociados. Desarrollar diseños con bajos niveles de acabados permite generar un flujo constante de las actividades de fabricación de los procesos de producción.
- i) *Integración de componentes*: Si los volúmenes de producción permiten la configuración de dos o más componentes en un único proceso, es importante desarrollar este tipo de conceptos desde la etapa de diseño. Lo anterior generará como resultado minimización de procesos de producción relacionados y gestión de los costos asociados a los procesos productivos.
- j) *Evitar procesos que involucren la creación de agujeros en los componentes*: La creación de agujeros en los productos puede generar aumentos en el número de componentes involucrados, tiempos y procesos. Adicional a lo ante-

rior, puede generar como resultado la entrada y salida de sustancias perjudiciales para el medio ambiente y personas. Caso sea indispensable en el diseño el desarrollo de agujeros, desarrollar diseños relacionado con agujeros de ajuste en reemplazo de los agujeros ciegos.

k) *Estudiar y analizar las características de producción*: La fabricación de productos por medio de técnicas, como por ejemplo la fundición, requiere una atención especial en las características de producción: flujo de materiales, refrigeración y riesgo de distorsiones. Es importante en esta etapa contar con un plano de contingencia que permita controlar el flujo de los procesos de producción de la organización.

Directrices del diseño para el ensamble

En la actualidad, existen innumerables fuentes de información (libros, revistas, artículos científicos, experimentos, entre otras) con respecto a las buenas practicas que pueden ser implementadas en los procesos de ensamble de producción de las organizaciones. Sin embargo, las informaciones disponibles presentan un carácter de descentralización, es decir, se plantean enfoques genéricos que de cierta forma desvían los enfoques principales hacia objetivos diferentes de investigación. Para solucionar lo anteriormente planteado se presenta la “estrategia de gestión del conocimiento de montaje, en la cual se desarrolla, a partir de la integración de ideas de ensamble, nuevos conceptos con fines y objetivos en común por medio de conocimiento compartido en búsqueda de la configuración de planta, equipos y trabajadores necesarios para ejecutar los procesos de producción”. (Savi *et al.*, 2010).

De acuerdo con Taylor (2001), una de las estrategias que se utiliza para compartir experiencias y documentos académicos en búsqueda de la Gestión del conocimiento es conocido como las directrices del Diseño para el ensamble, denominado al conjunto de técnicas de gestión en el desarrollo, ejecución y mejoramiento de los procesos de montaje de las organizaciones, las cuales son:

- a) *Adoptar un diseño modular posible*: Los diseños modulares, en general, permiten construir los productos-servicios a partir de la integración de varios componentes. Ellos se presentan como una vista “explosionada” del conjunto de partes que componen cada producto-servicio. Adoptar una medida con las características anteriores permitirá gestionar la simplicidad y mantenimiento de los procesos productivos y, a su vez, reducir el impacto riesgo de un daño de montaje.
- b) *Desarrollar diseños de montaje manual*: En general, la estructuración y formalización de procesos de producción está enfocado hacia industrias con niveles de producción y participación económica considerable, minimizado el número de alternativas y posibilidades para los pequeños y medianos empresarios (pymes). El desarrollo de diseño de ensamble manuales permitirá integrar procesos y prácticas de manufactura de todos los sectores e integración del conocimiento y experiencias de fabricación.
- c) *Realizar una configuración universal de componentes*: Es importante que el desarrollo de los Diseños para Ensamble considere la etiqueta de piezas o componentes de carácter genérico, es decir, asignar un nombre para cada pieza, con el objetivo de evitar confusiones en la implementación de los mismos. Etiquetas como “elemento de izquierda”, “elemento de derecha”, “elemento de abajo” o “elemento de arriba” deben ser evitados.
- d) *Diseño de componentes de fácil manipulación*: Este tipo de características es fundamental en la implementación de piezas de montaje para procesos industriales automatizados o que impliquen el uso de robots. Esta característica permite la fácil adaptabilidad y configuración en la maquinaria y equipos relacionados y disminuir tiempos y costos asociados.
- e) *Desarrollo de diseños de montaje de un “solo movimiento”*: La aplicación de movimientos en las maquinas puede, de cierta forma, disminuir la eficiencia de los procesos productivos relacionados a esta. Para solucionar esta situa-

ción, es importante el desarrollo de diseños que busquen, por medio de un único movimiento, realizan la configuración y montajes necesarios para la ejecución de procesos de producción. Un montaje de componentes fácil permite que las actividades se puedan realizar desde un solo lado sin necesidad de girar o invertir movimientos.

- f) *Añadir guías de acoplamiento en componentes de forma ciega:* Cuando los componentes no pueden ser controlados por personal humano o equipamiento dentro de las instalaciones debido a causas de funcionalidad o alcance físico (no se pueden ver), es fundamental la creación de etiquetas y documentos que permitan conocer la información de ensamble de los mismos. Este tipo de herramientas son conocidas como la información de acoplamientos, utilizado en su mayoría en componentes de difícil control, como lo son los de forma ciega. Algunos ejemplos de este tipo de componentes pueden ser termostatos, válvulas de control, medidores de flujo, entre otros.
- g) *Utilizar medidas de seguridad en el desarrollo de diseños:* Una de las técnicas principales implementadas es la técnica de “chafflán” o “corte de esquinas”, en donde se excluyen las esquinas de los componentes y se adoptan diseños con formas alternativas. Diseños de chafflán circulares, internos, curvos se presentan como estrategias de solución de seguridad industrial en los procesos de producción.
- h) *Diseños de seguimiento y montaje visual:* la ejecución de las actividades de montaje de los componentes en los diseños de ensamble, inicialmente, buscan desarrollar las buenas prácticas a partir de tutoriales o manuales de funcionamiento que describan el procedimiento a seguir en su correcta instalación. Cartillas, guías de funcionamiento o manuales de uso se presentan como herramientas fundamentales a ser implementadas en esta etapa.
- i) *Incorporar características de “robustez” a los diseños:* Los procesos de producción se caracterizan por presentar un carácter de flujo de infor-

mación y procesos en forma de secuencia, es decir, la operación de un proceso depende del éxito de su inmediatamente anterior. La implementación de características de robustez en los materiales y piezas relacionadas permite excluir características de componentes “delicados” que, caso se presente una quiebra o daño del mismo, pueda generar un cuello de botella que obstruya los procesos de producción.

- j) *Excluir las necesidades de futuro mantenimiento:* Cuando se adquieren piezas con características de mantenimiento, se generan costos adicionales en los procesos productivos. Para revertir la presente situación, pueden adecuarse a los diseños de montaje componentes con características de adhesivos o piezas de fácil manipulación y reemplazo que no involucren trabajos de tercerización en el mantenimiento e instalación de las mismas.
- k) *Minimizar el número de componentes de fijación utilizados:* Cuando se establecen diseños de montaje con piezas fijas, generalmente surgen características de restricción sobre el producto final, lo cual disminuye la generación de nuevas e innovadoras alternativas de solución en ensamble. Debido a lo anterior, la aplicación de los conceptos de modularidad en los componentes permite generar nuevas estrategias de configuración y optimización de ensamble.

Conclusiones

El presente artículo permite analizar la integración y evolución que se ha presentado a partir de los departamentos de diseño y producción en el desarrollo de nuevas e innovadoras estrategias competitivas asociadas al mejoramiento del producto final. Una de estas es el desarrollo de los diseños para la Manufactura y Ensamble DFMA, conocida por ser una filosofía de integración de la gestión de Diseño para el Ensamble (DFA) y la gestión de Diseño para la Manufactura (DFM).

El desarrollo conceptual del Diseño para el Ensamble (DFA) en los procesos de producción permite analizar y gestionar los principales componentes asociados al producto y gestionar la mejor

forma de adaptarlos a los procesos de ensamble en la línea de producción. De esta forma, se utilizan herramientas como el desarrollo del diseño, elaboración de la hoja de cálculo y propuesta de un nuevo prototipo en la búsqueda de estrategias y soluciones posibles de simplicidad, minimización de costos y tiempos en los procesos productivos.

El desarrollo del Diseño para la Manufactura (DFM) en los procesos internos organizacionales genera nuevas y diferentes alternativas de materiales posibles a ser utilizados para la fabricación de productos. A su vez, directrices aplicadas al producto tales como diseño modular, diseño de partes multi-uso, uso de componentes estándar y diseño con enfoque en manufactura fácil se presentan como herramientas en la gestión de la materia prima a ser utilizada. La investigación de nuevos materiales y elaboración de propuestas comerciales y alianzas estratégicas se presentan como una oportunidad de desarrollo en el diseño del producto a ser fabricado.

Actualmente se puede observar como el comportamiento del consumidor ha evolucionado proporcionalmente con el avance de la tecnología. Uno de los desafíos de las líneas de producción en las organizaciones es mantener y mejorar el ritmo de fabricación, conservando los estándares de calidad, sustentabilidad de procesos productivos, atendimento de las necesidades de los clientes y gestión de los tiempos y costos asociados. Para lograr lo anterior, es indispensable la búsqueda constante de estrategias de mejoramiento integral en las empresas. Este factor puede ser ofrecido cuando es implementada una estrategia basada en Diseños para manufactura y Montaje (DFMA) en el desarrollo de procesos y productos finales en la organización.

Referencias

- Ahuett, H. (2006). Evolución de las metodologías de apoyo a la ingeniería concurrente. En C. Riba, & A. Molina, *Ingeniería Concurrente: Una metodología integradora* (pág. 313). Catalunya: UPC.
- Andreassen, M., Myrup, S., & Kähler, T. (1983). *Design for assembly*. IFS Publications Ltd.
- Barbosa, G. F., & Carvalho, J. (2013). Design for Manufacturing and Assembly methodology applied to aircrafts design and manufacturing. *IFAC Proceedings Volumes*, 46(7), 116-121.
- Betancur-Muñoz, P., Osorio-Gómez, G., Martínez-Cadavid, J. F., & Duque-Lombana, J. (2014). Integrating Design for Assembly guidelines in packaging design with a context-based approach. *Procedia CIRP*, 21, 324-347.
- Bilalis, N. (2000). *Computer Aided Design CAD*. Crete: EC funded project, Technical University of Crete.
- Boothroyd, G., Dewhurst, P., & Knight, W. (2002). *Product Design for Manufacture and Assembly* (Second ed.).
- BOOTHROYD DEWHURST INC. (23 de Marzo de 2012). Obtenido de Design for Manufacture and Assembly (DFMA®): <http://www.dfma.com/software/index.html>
- Boothroyd, G. (1994). Product design for manufacture and assembly. *Computer-Aided Design*, 26, 505-520.
- Carlsson, B. (1995). *Technological Ssystems and Economic Performance: Teh case of Factory Automation*. . Dordrecht: Kluwer.
- Chang, T., Richard, A., & Wang, H. (1998). *Design for manufacturing-Guidelines. Computer-Aided Manufacturing*. (Second ed.).
- Coriat, B. (1992a). *Pensar al revés. Trabajo y organización en la empresa japonesa*. Madrid: Siglo XXI.
- Coriat, B. (1992b). *El taller y el robot*. Madrid: Siglo XXI.
- Da Silva, G., Giasolli, R., & Cunningham, S. (2002). MEMS Design for Manufacturability (DFM). *Sensor Expo & Conference*, (págs. 1-8).

- DeGarmo, E., Black, J., & Kosher, R. (1988). *Materials and Processes for Manufacturing* (7th ed.). MacMillan.
- Dekker, M. (1991). Product Design for Manufacture and Assembly. En B. Geoffrey , P. Dewhurst, & W. Knight. Second Edition.
- Delchambre, A. (1996). *CAD Method for Industrial Assembly: Concurrent Design of Products, Equipments, and Control Systems*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Dewhurst, N. P. (2010). DFMA the Product, then Lean the Process. *International Forum on Design for Manufacture and Assembly*. Providence, Rhode Island.
- Dufour, C. A. (1996). *Estudo do processo e das ferramentas de reprojeto de produtos industriais, como vantagem competitiva e estratégia de melhoria constante*. Florianópolis: Dissertação (Mestrado)-Universidade Federal de Santa Catarina.
- Dunning, J., & Hamdani, K. (1997). *The New Globalism and Developing Countries*. United Nations University Press.
- Dunning, J., & Narula, R. (1997). Developing Countries Versus Multinationals in a Globalising World: The Dangers of Falling Behind. *Discussion Papers in International Investment and Management*(226).
- Edwards, K. (2002). *Towards more strategic design for manufacture and assembly*. School of Computing & Technology.
- Ernst, D. (1997). *From Partial to Systemic Globalization: International Production Networks in the Electronics Industry*. Berkley: BRIE Working Paper 98, Berkley Roundtable on the International Economy, University of California at Berkley.
- 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*, 275-280. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.procir.2016.04.190
- Giachetti, R. E. (1999). A standard manufacturing information model to support design for manufacturing in virtual enterprises . *Journal of Intelligent Manufacturing*, 49-60.
- Groover, M. (1997). *Fundamentos de Manufactura Moderna*. México: Prentice Hall.
- Heizer, J., & Render, B. (2009). *Principios de Administracion de Operaciones*. Ciudad de México: Pearson Educación de México, S.A.
- Herrmann, J., Cooper, J., Gupta, S., Hayes, C., Ishii, K., Kazmer, D., . . . Wood, W. (2004). New directions in design for manufacturing. En *ASME 2004 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference* (págs. 853-861). Saly Lake city USA: ASME.
- ICMA. (1974). *Terminology of Management and Financial Accounting*.
- Iwaya, L. H., Rosso Jr., R. S., & Hounsell, M. S. (2013). A Design for Assembly application with dynamic information retrieval from case database. *IFAC Proceedings Volumes*, 186-191.
- Kalpakjian, S. (2006). *Manufacturing, Engineering and Technology* (Fifth ed.). Upper Saddle River: Pearson Education.
- Kim, G., & Bekey, G. (2007). Design for Assembly (DFA) by Reverse Engineering. *Center of Manufacturing and Automation Research*, 1-21.
- Kosacoff, B., & López, A. (2002). Peso productivo. *Encrucijadas*(20), 90-98.

- Lahtinen, T. (2011). *Design for Manufacturing and Assembly Rules and Guidelines for Engineering*.
- Lewis, G. (2006). Product Design for Manufacturing and Assembly (DFM&A). *Mechanical Engineers' Handbook: Manufacturing and Management*, 3, 1-19.
- Martín, O. D. (2002). Design for manufacture. *Journal of Materials Processing Technology*, 318-321.
- Milgrom, P., & Roberts, J. (Junio de 1990). The economics of modern manufacturing: technology, strategy and organization. *American Economic Review*, 30(3).
- Nagel, R. D. (1991). *21st Century Manufacturing Enterprise Strategy*. Bethlehem: Steven Goldman.
- Nevins, J. L., & Whitney, D. E. (1989). *Concurrent Design of Products and Processes*. New York: McGraw Hill.
- OECD. (1991). *Technology and productivity. The challenge for economic policy*. París: OECD.
- OECD. (1992). *Technology and the Economy. The key relationships*. París: OECD.
- Oman, C. (1994). *Globalisation and Regionalisation: the Challenge for Developing Countries*. París: OECD Development centre.
- Pereira Mello, C. H., Natividade Guedes, F., Sanches da Silva, C., Chaves Gorgulho Júnior, J., & Fernandes Xavier, A. (2010). Projeto conceitual de componentes de um forno industrial por meio da integração entre a engenharia reversa e o DFMA. *Gest. Prod.*, 497-511.
- Poli, C. (2001). *Design for Manufacturing: A structured approach*. London: Elsevier Science & Technology Books.
- Prakash, W. (13 de Junio de 2014). New Product Development by DFMA and Rapid Prototyping. *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*, 1-6.
- Riba Romeba, C., & Paz Bernales, H. (14 de Enero de 2009). ¿Qué es el DFMA? Fundación PRODINTEC. Centre de Disseny d'Equips Industrials.
- Savi, A., Filho, E., & Monteiro, E. (2010). *Armazenamento de conhecimento explícito referente ao DFA (Design for Assembly) utilizando regras baseadas em casos*. 66-76: Biblioteca Digital da Produção Intelectual-BDPI.
- Soto, L. (2013). *Inclusión productiva y desarrollo rural Acceso a mercados en localidades de bajos ingresos*. Caracas: Cyngular.
- Stephenson, J., & Wallace, K. (1995). Design for reability in mechanical systems. *INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING DESIGN – ICED*, 95. Praha.
- Stone, R., McAdams, D., & Varghese, J. (2004). A product architecture-based conceptual DFA technique. *Design Studies*, 301-325.
- Synnes, E. L., & Welo, T. (2016). Enhancing Integrative Capabilities through Lean Product and Process Development. *Procedia CIRP*, 221-226.
- Tatikonda, M. (2005). Design for Assembly: A critical methodology for product reengineering and new product development. *Kenan-Flagler Business School, University of North Carolina*, 1-7.
- Taylor, A. (2001). Design for manufacture. Mass production, Assembly & Manufacturing Guidelines, 1-6. *Design Bites*, 1-6.
- Ulrich, K., Sartorius, D., Pearson, D., & Jakiela, M. (1991). *A framework for including the value of time in Design for Manufacturing*

decision making. Massachusetts: Massachusetts Institute of technology.

Willinger, M., & Luscovitch, E. (1988). Towards the economics of information-intensive production systems: the case of advanced materials. En G. Dosi, C. Freeman, R. Nelson, G. Silverberg, & L. Soete, *Technical Change and Economic Theory*. Londres: Pinter.

Womack, J., Jones, D., & Roos, D. (1990). *The machine that changed the world*. New York: Rawson-Mac Millan.

Xie, X. (2002). *Design for Manufacturing and Assembly*. Utah: Department of Mechanical Engineering. University of Utah.

Zysman, J., Doherty, E., & Schwartz, A. (1996). *Tales from the 'Global' Economy: Cross National Production Networks and the Re-Organization of the European Economy*. Berkley: BRIE Working Paper 83, Berkley Roundtable on the International Economy.

Xie, X. (2002). *Design for Manufacturing and Assembly*. Department of Mechanical Engineering. University of Utah. Utah.

Zysman, J., Doherty, E., & Schwartz, A. (1996). *Tales from the 'Global' Economy: Cross National Production Networks and the Re-Organization of the European Economy*. Berkley: BRIE Working Paper 83, Berkley Roundtable on the International Economy.



**"LA INNOVACIÓN ES
LO QUE DISTINGUE AL LÍDER
DE LOS SEGUIDORES".**

Steve Jobs