

MODELO DE DISEÑO Y CONOCIMIENTO EN TECNOLOGÍAS DE SOLDADURA PARA EL DESARROLLO DE PRODUCTOS SOLDADOS

Model of design and knowledge in technologies of weld for the welded product development

RESUMEN

Este trabajo de investigación muestra a las empresas dedicadas al diseño y desarrollo de productos soldados una metodología enmarcada en un modelo de diseño y una base de conocimientos en tecnologías de soldadura para la fabricación y ensamble de productos soldados que guíe a ingenieros recién egresados, permita estructurar ideas, conceptos y el trabajo de diseño acorde con la filosofía concurrente, alta calidad y requerimientos, convirtiéndose en una herramienta metodológica para las empresas que aplicada reduce los tiempos de entrega, costos de producción, estructure la información siendo soporte procedimental para fines de acreditación y certificación de calidad de sus productos.

PALABRAS CLAVES: Diseño y Desarrollo de Productos, Modelo de diseño, Tecnologías de Soldadura, Productos Soldados.

ABSTRACT

This work of investigation shows the companies dedicated to the design and welded product development a methodology framed in a design model and a knowledge base in technologies of weld for the manufacture and joint of welded products that guides withdrawn engineers just, allows to structure ideas, concepts and the work of agreed design with the concurrent philosophy, high quality and requirements, becoming a methodologic tool for the companies who applied reduce the times of delivery, production costs, structures the information being procedural support for aims of accreditation and certification of quality of its products.

KEYWORDS: Product design and Development, Model of design, Technologies of Weld, Welded Products.

1. INTRODUCCIÓN

En muchas empresas metalmecánicas afines con la tecnología de soldadura los ingenieros y técnicos de fabricación, ensamble/montaje reciben diseños de productos soldados, los desarrollan acorde a su experiencia, si encuentran problemas durante su desarrollo debido al diseño acuden al departamento de ingeniería presentan el problema, estos trabajan en una solución y luego son transferidos nuevamente a los ingenieros y técnicos repitiéndose en reiteradas ocasiones el mismo fenómeno.

Para dar solución a esta problemática y obtener resultados óptimos existen y es necesario adoptar modelos del proceso de diseño [1-3] con enfoque concurrente, que definen las fases a seguir desde la identificación de una necesidad hasta la materialización, comercialización y puesta en servicio del producto donde es necesario tener metodologías capaces de integrar el proceso de diseño y desarrollo de producto de manera simultánea, involucrando a todos los actores del proceso si se pretende ser competitivo.

De estudios diagnósticos de caracterización ocupacional [4], estado del arte local e internacional y de estudios técnicos para el área de soldadura se evidencia la no existencia de metodologías de diseño para la fabricación y ensamble de productos soldados con enfoque concurrente [5], lo cual hace necesario proponer y adaptar una metodología para el área de las construcciones soldadas soportada con la definición de un modelo de diseño y una base de conocimientos solidamente estructurada que aplicadas en nuestra industria permita la integración y retroalimentación de los diferentes departamentos al proceso de diseño de productos soldados, la disminución de costos y tiempos en la fabricación y ensamble de productos, el aumento en la calidad y confiabilidad de los productos, la mayor clarificación en los requerimientos del cliente y la optimización de recursos en el proceso de producción.

ENRIQUE ESTEBAN NIEBLES NUÑEZ

Ingeniero Industrial, M.Sc.

Profesor Titular

Universidad Autónoma del Caribe

enrique.niebles41@uautonoma.edu.co

eenniebles@yahoo.com

2. METODOLOGIA DFMA DE PRODUCTOS SOLDADOS

La metodología tiene como soporte un modelo de diseño para la fabricación y ensamble (DFMA por sus siglas en inglés) de productos soldados y una base de conocimientos en tecnologías de soldadura que incluye unas consideraciones previas y necesarias al ensamble de productos soldados, unas reglas de diseño, procesos de soldadura, normalización en soldadura costos y tiempos de soldadura, entre otros que no sólo apuntan a implementar el DFMA en productos soldados, sino que además retroalimentan otras áreas de la organización siendo consistente con la ingeniería concurrente [5], ver figura 1.

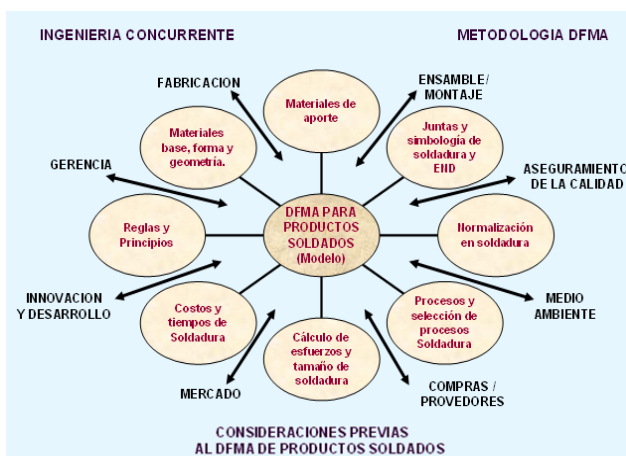


Figura 1. Estructura de las áreas y componentes que soportan la aplicación de DFMA en productos soldados.

La metodología desarrollada puede ser extrapolada a otros escenarios DFMA (con otros procesos y productos) dado que la naturaleza de los componentes sería la misma, sólo que habría particularizarla para esos otros procesos o productos.

Para su implementación se recomienda efectuar una caracterización de la empresa en términos de fortalezas y debilidades de las áreas y componentes que soportan la aplicación DFMA de productos soldados y dar una valoración más acertada acerca de la situación de la empresa, determinar a qué producto que diseña y desarrolla la empresa con gran frecuencia en relativa similitud, será aplicada la metodología sin olvidar que con la implementación se estructura la materialización de una idea de manera ordenada y documentada de tal forma pueda mantenerse un historial de los proyectos realizados para ser apoyo en futuros diseños.

2.1. Definición y alcance

Métodos y estrategias de diseño dirigidos a integrar en el proceso de diseño de productos soldados la valoración de las implicaciones de las decisiones de diseño sobre la fabricación, ensamble/montaje del producto bajo el

enfoque de la ingeniería concurrente. Diseñar para la fabricación y ensamble de productos soldados [5,6] implica: Diseñar para la función y/o servicio, diseñar para mejorar la fabricabilidad ya ensamblabilidad, diseñar para la facilidad de mantenimiento y/o reparación, diseñar para reducir costos y tiempos de ejecución de las operaciones de fabricación y ensamble/montaje entre otros.

2.2. Ventajas

Las ventajas de aplicar esta propuesta metodológica en el proceso de diseño y desarrollo del producto [5-7], más específicamente en el diseño para la fabricación y ensamble de productos soldados son:

- Disminuye los costos y tiempos de fabricación y ensamble del producto soldado desde la fase de diseño conllevando a un aumento en la ocupación y productividad global de la empresa y un mejoramiento en la calidad, la confiabilidad y la durabilidad de los productos.
- Facilita el diseño de productos soldados a aquellos ingenieros con poca experiencia en el área y permite delegar funciones en miembros del equipo con menor experiencia apoyados en las bases de conocimiento aumentando la capacidad de proyectos manejados.
- Suministra reglas y principios de diseño para la fabricación y ensamble de productos soldados, además de información de costos y tiempos de soldadura, procesos de soldadura, normalización en soldadura, juntas y simbología de soldadura y ensayos no destructivos, cálculo de esfuerzos y tamaños de soldadura, materiales de aporte, materiales base, forma y geometría mas comunes en la construcción soldada.
- Estimula la integración de los departamentos de diseño, de fabricación y de ensamble bajo el enfoque de la ingeniería concurrente y ayuda para delegar funciones y responsabilidades entre los diversos miembros del equipo de diseño y desarrollo de producto.
- Provee soporte para la documentación de cada proyecto y la mejora del proceso de diseño es continua gracias que permiten revisar trabajos realizados y aplicarlo en proyectos futuros concentrando mejor los esfuerzos en la búsqueda y solución de problemas con la ayuda de indicadores que muestran las mejoras en el diseño. [8]

2.3. Modelo del proceso DFMA de productos soldados

Este modelo de diseño[5], ver figura 2, contempla las fases de diseño necesarias para el diseño de productos soldados, el conocimiento necesario para su implementación y el momento en el cual ha de ser aplicado y los resultados esperados en cada fase bajo el enfoque de la ingeniería concurrente.

Este modelo muestra a la izquierda de cada fase de diseño el conocimiento que soporta su aplicación y a la derecha los resultados de desarrollar cada fase de diseño y su

interfase con las áreas orgánicas de la empresa que inciden en el mismo, además de especificar que este debe estar en permanente retroalimentación y mejoramiento continuo.

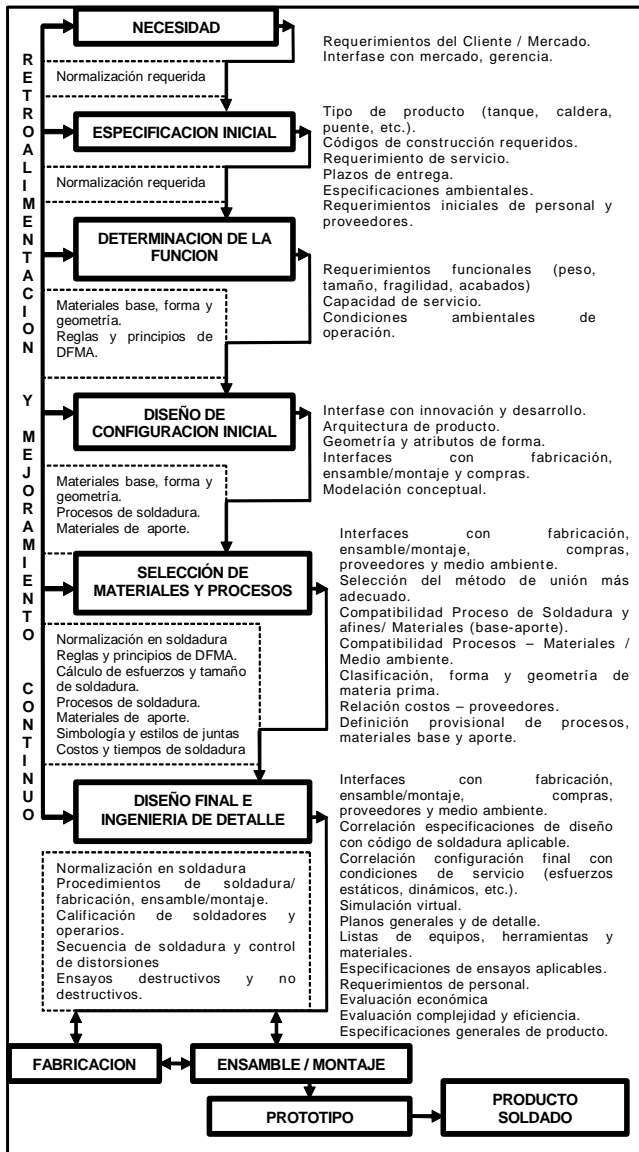


Figura 2. Modelo del proceso de DFMA productos soldados.

Para su aplicación requiere de la identificación y análisis de los factores de diseño que inciden tales como: Compatibilidad, complejidad, calidad, eficacia.

2.4. Base de conocimientos aplicable en el DFMA de productos soldados.

La base de conocimientos, ver figura 1, se compone de unas consideraciones previas al ensamble de productos soldados así como de reglas y principios, información de costos y tiempos de soldadura, etc., que giran a través del DFMA de productos soldados y sirven de soporte conceptual y operativo logrando con ello su

fortalecimiento [5], los componentes de la base de conocimientos son definidos a continuación:

Consideraciones previas. Para la selección del tipo de unión mecánica a utilizar en el ensamble del producto, se hace necesario tener en cuenta las consideraciones y características mas relevantes de los diferentes tipos de uniones mecánicas disponibles, evaluarlas y seleccionar la más adecuado y eficiente para el ensamble del producto.

Para lograr que la unión mecánica a seleccionar sea la más apropiada para el producto se elabora una lista especificaciones o características del producto en términos de economía y calidad del producto se utiliza la matriz de valoración mediante valor técnico ponderado [1,5] los cuales medirán características ingenieriles, técnicas, de operación y fabricación y ensamble requeridas para la evaluación y se establecen con base en las especificaciones del producto, teniendo en cuenta que no afecten su desempeño y funcionamiento y se ponderan con base en el método de comparaciones apareadas.

A partir de los resultados arrojados por la matriz de decisión se selecciona el tipo de junta mecánica más apropiado para el producto y si el tipo de unión mecánica seleccionado es por soldadura se sigue con la aplicación de la metodología DFMA de productos soldados.

Normalización en soldadura. En esta fase se define que normas y/o códigos de soldadura aplican para el diseño y fabricación del producto soldado con el fin de garantizar la confiabilidad y calidad del producto soldado acorde con unas necesidades específicas.

Reglas y principios. Para el diseño de los tipos y disposición de las juntas a soldar se tienen en cuenta una serie de reglas y principios, desarrollados en [5] y los cuales son organizados y orientados a la reducción de concentradores de esfuerzos y en condiciones de fatiga, al control de las distorsiones, a la facilidad de soldado y a aspectos generales. Todas estas reglas y principios son aplicados metodológicamente como se muestra en Tabla 1.

Reglas y principios orientados a la reducción de concentradores de esfuerzos y en condiciones de fatiga:	Aplica	No Aplica
Las configuraciones deben transferir las cargas a las piezas y no a los cordones de soldadura		
Las juntas a tope se deben diseñar para que sólo soporten cargas de tensión o preferible compresión		
Es preferible uniones a tope que a solape, esto es por la transmisión de las cargas		

Tabla 1. Ejemplo de reglas y principios orientados a la reducción de concentradores de esfuerzos y fatiga.

Cálculo de esfuerzos y tamaño de soldadura. Generan la solución necesaria y suficiente para especificar la construcción de los componentes soldados requeridos, definiendo acertadamente los estados de carga estimados

o medidos y las condiciones ambientales y operativas donde los conjuntos soldados deben cumplir la función para la que son creados. Involucra aspectos como factores formales y heurísticos para su consideración, factor de seguridad, tamaño de soldadura, cálculo, tipo y concentrador de esfuerzos.

Selección de material base, forma y geometría. Es recomendable para su selección tener en cuenta factores que afectan su selección, soldabilidad y carbono equivalente, clasificación y propiedades de los materiales, formas, geometrías, propiedades y aplicaciones comunes y toda información que se considere necesaria para el diseño y desarrollo del producto soldado en catálogos de fabricantes y proveedores de materiales. Para la selección se pueden utilizar entre otros, metodologías de selección de materiales o software de selección de materiales existentes en el mercado internacional.

Selección del proceso o procesos de soldadura a utilizar. Aplicar los criterios para la selección de procesos o software de selección de materiales y procesos, que permitirán definir la compatibilidad existente del proceso con otros procesos, con la calidad, eficiencia y efectividad requerida, con materiales base y aporte, con el sistema de protección gaseosa, con el método de aplicación y con la aplicación (trabajo) requerida.

Selección de materiales de aporte. La selección del material aporte requerido se hace conforme al proceso o procesos de soldadura seleccionado, especificaciones de la AWS para materiales de aporte, designación por proceso y material, almacenamiento y cuidados especiales y por último recomendaciones técnicas del fabricante y/o proveedor a través de sus asesores o catálogos.

Selección de juntas y simbología de soldadura y END aplicables. La selección de las juntas tiene que estar de conformidad con la configuración del producto, del tipo de carga aplicada, condiciones de servicio, tipo y espesor del material, del proceso de soldadura aplicable entre otros. La simbología de soldadura y de ensayos no destructivos (END) es importante porque a través de ella se transmite gran parte de la información que es especificada en planos, mediante símbolos y trazos, al personal de soldadura involucrado con la fabricación y control de calidad de los productos soldados.

Determinación de costos y tiempos de soldadura. Un diseño no es completamente útil hasta no tener una idea clara del costo que requiere fabricar el producto, generalmente aquellos productos con costos más bajos son los que tienen mayor oportunidad en el mercado, y para tener una idea clara de lo que son los costos en soldadura es conveniente tener en cuenta los elementos que este involucra tales como: Necesidad e importancia, clasificación de costos, factores generales y de soldadura influyentes en los costos, costo de material de soldadura

depositado, tiempos de soldadura, costos de mano de obra requerida, costos indirectos de soldadura.

3. VALIDACIÓN

La metodología DFMA de productos soldados fue validada con el diseño del bastidor de una máquina [9] y con el diseño de un tanque de almacenamiento de combustible [5], además esta siendo implementada en empresas del sector Metalmecánico dedicada al diseño y fabricación de productos soldados en la ciudad de Barranquilla –Colombia [8] y como ejemplo de aplicación se toma en referencia el diseño de un tanque de acero para almacenamiento de combustible con capacidad de 3000 barriles y se hará acorde con el modelo de diseño y la base de conocimientos definida por la metodología DFMA de productos soldados:

1) Necesidad. Esta etapa inicial consiste en conocer la mayor cantidad de información acerca del producto a fabricar de manera que el deseo del cliente sea transmitido claramente a los encargados del proyecto además de conocer las restricciones y su influencia sobre el cumplimiento de la función del producto. Para nuestro caso se requiere de un tanque de almacenamiento de combustible con capacidad de 3000 barriles.

2) Especificación inicial. Con los datos recopilados y concertados en la etapa anterior se procede a definir los requerimientos a tener en cuenta para todo el proceso, es posible que sea necesaria una nueva concertación con el cliente de los requerimientos exigidos por él y la adición de requerimientos nacidos del equipo de trabajo. Para el diseño del tanque se establecieron unos requerimientos por parte del cliente tales como:

- Tenga una capacidad de 3000 barriles.
- El área máxima dispuesta para el tanque es de 100 m².
- Condiciones de trabajo a temperatura ambiente y presión externa la atmosférica.
- Fácil de fabricar y ensamblar.
- Acceso para limpieza y verificación de llenado.
- Para el acceso al tanque se requiere de una escalera helicoidal.
- Sea económico.

3) Estructura funcional. Teniendo claridad acerca de toda la información necesaria para cumplir el objetivo del proyecto es necesario encontrar el centro del problema, es decir que es lo verdaderamente esencial en términos de funciones que debe realizar el producto final. A continuación se realiza el árbol de objetivos del tanque de almacenamiento, véase figura 3, el cual nos proporciona la claridad de las funciones del tanque antes de realizar una estructura funcional del sistema. Con base en lo especificado en la figura 3 se establece la función global, ver figura 4.



Figura 3. Diagrama en árbol de funciones del tanque.



Figura 4. Función global del tanque de almacenamiento de combustible.

4) **Generación de alternativas y soluciones.** Para la configuración inicial del tanque se toma como referencia las especificaciones iniciales y la estructura funcional, con los cuales se elabora la matriz morfológica del tanque mostrada en la tabla 2.

Alternativas / Funciones	1	2
A Almacenamiento de combustible.	 Cilíndrico	 Rectangular
B Soporte de las cargas de viento, vivas, muertas, etc. Estabilidad y resistencia	 Cables y una columna soporte	 Cables y varias columnas soporte

Tabla 2. Esquema de matriz morfológica del tanque de almacenamiento.

5) **Diseño conceptual.** En esta etapa se visualiza el producto, se ha recopilado y organizado la información, se ha extractado la necesidad fundamental a suplir y es el momento de definir la forma y geometría del producto que permita la consecución de las funciones a desempeñar. Para el tanque se proponen combinaciones de alternativas de diseño, las cuales serán evaluadas con base en los criterios propuestos por el equipo de diseño utilizando la matriz de decisión de criterios ponderados, obteniéndose que la combinación mas apropiada para el tanque de almacenamiento de combustible es la representada en la figura 5 y se compone de: Cuerpo cilíndrico conformado por virolas, techo cónico, columna central + cables, manhole en techo y cuerpo.

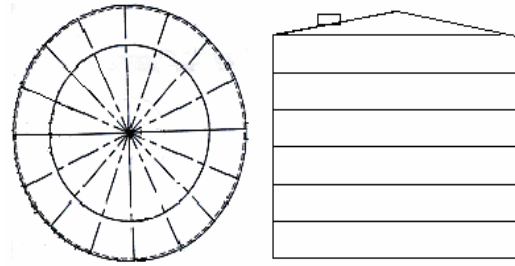


Figura 5. Diseño conceptual de tanque de almacenamiento de combustible.

6) **Componentes que soportan el diseño final.** Los componentes que soportan el diseño de configuración, final e ingeniería de detalle son:

Consideraciones previas. Acorde con la base de conocimientos se establece que para el diseño del tanque se utilice el código API 650, el cual define que el método de unión mecánico utilizado es el es el *método de unión por soldadura*.

Normalización. La norma [10] que aplica para el diseño de este producto es el código API 650, décima edición de noviembre de 1998, con addenda 1 de enero de 2000, adenda 2 de noviembre de 2001 y adenda 3 de septiembre de 2003 que hacen referencia a Tanques soldados de acero para almacenamiento de combustible.

Reglas y principios. Para el diseño de las juntas a soldar se tienen en cuenta las reglas y principios que aplican al diseño del tanque de almacenamiento de combustible acorde con modelo propuesto en tabla 1.

Materiales base, forma y geometría. Los materiales a utilizar en la fabricación de la estructura soporte son del tipo ASTM A 36, que corresponden a un acero de bajo carbono y se ajusta a las especificaciones establecidas en el diseño conceptual y funcional de la estructura.

Calculo de esfuerzos, espesores y tamaño de soldadura. Para el cálculo de los esfuerzos se tuvo en cuenta los requerimientos iniciales y las especificaciones establecidas en el código obteniéndose los resultados especificados en la tabla 3.

ELEMENTO	CANTIDAD	ESPECIFICACION
Anillos casco	6	3/16" de espesor
Fondo	1	1/4" de espesor
Techo cónico	1	3/16" de espesor
Cables	16	C de 4" x 5.4 lbs/pie
Columna	1	Canal en C (doble) de 6" x 8.2 lbs/pie
Ángulo bocel	1	2 1/2"x2 1/2"x1/4"

Tabla 3. Espesores y elementos diseñados.

Selección del proceso de soldadura a utilizar. El proceso de soldadura recomendado es el proceso SMAW,

dado que es un proceso que se considera económico, popular, además tiene facilidad para soldar en cualquier posición y en diversos espesores, se puede utilizar en áreas de acceso limitado y a campo abierto, se utiliza en producción, mantenimiento y reparación.

Materiales de aporte. Para las soldaduras del cuerpo, del cuerpo-techo y del techo se selecciona un electrodo E-6011, el cual es apto para ser utilizado en todas las posiciones, de fácil manejo, trabaja con corriente alterna y con corriente continua polaridad positiva, y posee alta penetración; para las soldaduras del fondo se selecciona el electrodo E 7024 de diámetro 3/16 por su resistencia y alto rendimiento.

Diseño de los estilos de juntas soldadas. Las juntas seleccionadas corresponden con el código API 650, para las juntas horizontales y verticales se tomaran las juntas a tope sin preparación de bordes con soldadura de refuerzo, para las juntas de unión de las laminas del fondo se seleccionan juntas de traslape, etc.

Relación de costos. Los costos de materias primas, mano de obra, almacenaje y transporte que incurre desarrollar la fabricación y ensamble del tanque se obtuvieron, acorde como se especifica en la base de conocimientos que da soporte a la aplicación del modelo de diseño.

7) Análisis de resultados. Los resultados obtenidos de aplicar la metodología en el diseño de este producto son:

- El tanque de almacenamiento cumple con las especificaciones establecidas en el código API 650, además que la configuración de los anillos, techo y demás elementos y sus respectivas juntas están dispuestos de tal forma que se minimizan las deformaciones, los costos y el desarrollo del producto.
- El enfoque concurrente permitió al momento de diseñar aplicar las metodologías modernas de diseño además de integrar a personas expertas en fabricación, ensamble, costos y presupuesto de productos soldados.
- Se minimizan los esfuerzos residuales presentes y los costos por efectos de reparación una vez soldado con la aplicación las reglas y principios definidos en la base de conocimientos.
- La cantidad de soldadura requerida y los tiempos de soldadura y fabricación son mas cortos hasta en un 50% teniendo en cuenta los factores de selección expuestos en la base de conocimientos.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- ✓ Se comprobó que aplicar la metodología DFMA de productos soldados incluye un modelo de diseño y la base de conocimientos, integrados y estructurados para su fácil aplicación.
- ✓ La metodología puede ser extrapolada a otros escenarios DFMA sólo habría que particularizarla para esos otros procesos o productos.

- ✓ Al aplicar las reglas y principios de diseño para productos soldados se reduce el numero de uniones por soldar, la cantidad de soldadura requerida, las distorsiones y esfuerzos residuales, los tiempos de soldadura y fabricación son más cortos hasta en un 50%.
- ✓ Para los ingenieros recién egresados, sirve de guía y modelo para estructurar las ideas, conceptos y el trabajo de diseño acorde con la filosofía concurrente y las metodologías modernas de diseño.
- ✓ Para la empresa se convierte en una herramienta metodológica que estructura la información y facilita la recopilación de la misma sirviendo de soporte procedimental para fines de acreditación y certificación de calidad de sus productos.
- ✓ Al realizar la evaluación económica del producto soldado se obtiene un indicador confiable para definir contrataciones futuras de fabricación y ensamble del mismo.

5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] F. Aguayo, V. Soltero, Metodología del diseño industrial, primera edición, editorial Alfaomega, 2003.
- [2] G. Pahl, W. Beitz., Engineering Design, Second edition, editorial McGraw-Hill, 2000.
- [3] H. Maury. Aportaciones metodológicas al diseño conceptual: aplicación a los sistemas continuos de manipulación y procesamiento primario de materiales a granel. Tesis doctoral. Barcelona – España. Septiembre. 2000.
- [4] SENA – Centro Colombo Alemán, Estudio de caracterización ocupacional, 2006.
- [5] E. Niebles, Desarrollo de un modelo y de una base de conocimientos para el diseño de productos soldados, Tesis de maestría, Universidad del Norte, Barranquilla, Colombia, 2006.
- [6] G. Boothroyd, P. Dewhurst, Product Design for Manufacture and Assembly. Second edition, editorial Marcel Dekker Inc., 2002.
- [7] How to Use Design for Manufacture and Assembly (DFMA[®]) to Slash Manufacturing Overhead, Make Products Competitive, and Bring New Efficiencies to the Manufacturing Process. 2005. Available in: <http://support.dfma.com/training/dfmawhitepaper.pdf>
- [8] J. Guerra, D. Muelle, Aplicación de la metodología de diseño DFMA para productos soldados en la empresa Induardil e hijos LTDA. Tesis de Pregrado, Universidad del Atlántico, Barranquilla, Colombia, 2007.
- [9] G. Hernández, D. Pérez, Diseño y construcción de una maquina para ensayo de fatiga de materiales. Tesis de pregrado. Universidad del Atlántico. 2006.
- [10] API STANDARD 650 – Welded Steel Tanks for Oil Storage. 1998.