

Concurrencia de las tecnologías de soldadura en las construcciones soldadas

Concurrence of welding technology in welded structures

Enrique Esteban Niebles Nuñez¹

1 Magister en Ingeniería Mecánica. Profesor Tiempo Completo, Ingeniería Mecánica, Universidad Autónoma del Caribe, Barranquilla-Colombia. Grupo de Investigación en Materiales, Procesos y Tecnologías de Fabricación – IMTEF. eniebles@uac.edu.co, enniebles@yahoo.com

Recibido 15/12/2010, Aceptado 20/04/2011

RESUMEN

Tomando como base la necesidad que tienen las micro y pymes metalmecánicas de ser cada día más competitivas y productivas, se presenta un enfoque y revisión de los factores más relevantes que permiten generar ambientes concurrentes en las empresas y como estos afectan positivamente el desarrollo de construcciones soldadas. En este artículo se describe cuales son las áreas y factores de influencia en entornos concurrentes en organizaciones empresariales, el significado de tecnología de soldadura y los componentes que soportan su aplicación. Además se describen cuales son las características, tópicos y tendencias tecnológicas presentes en la fabricación de productos soldados. Como resultado de esta revisión se obtiene un documento de motivación y apoyo a procesos formativos en ingeniería concurrente, simultáneamente es una referencia aplicativa para profesionales del área de soldadura interesados en concebir estos conceptos al interior de sus empresas.

Palabras Clave: Ambientes concurrentes, Tecnologías de soldadura, fabricación, construcciones soldadas, Desarrollo de productos.

ABSTRACT

Based on the need for micro and pymes metalworking to be ever more competitive and productive, we present an approach and review of the most important factors for generating concurrent environments in companies and how they positively affect the development of welded constructions and structures. This paper describes what are the areas and factors influencing concurrent environments of business organizations, the meaning of welding technology and components that support its implementation. You can describe what features, topics and present technology trends in the manufacture of welded products. As a result of this review paper gives a motivation and support for training in concurrent engineering processes simultaneously is an appropriate reference for welding professionals interested in designing these concepts within their companies.

Key words: Concurrent environments, Welding technology, Manufacturing, Welded structures.

1. Introducción

Las micro, pequeñas y medianas empresas colombianas, productoras de maquinarias, equipos y bienes de capital, frente a problemas que agobian al país como la recesión, globalización económica, fluctuación de tasas de cambio, competencia con productos importados a bajos precios, desempleo y contracción de la demanda, se fueron rezagando organizacional y tecnológicamente poco a poco, disminuyendo así ostensiblemente su capacidad de respuesta ante las nuevas exigencias impuestas por los consumidores de escala mundial, generando en consecuencia bajos niveles de producción, ventas y dificultad para exportar y acceder a financiamiento en la adquisición de tecnología, por los altos costos de materias primas, equipos y capacidad de endeudamiento. [1,2]

Considerando este entorno y los posicionamientos estratégicos de países de primer nivel como Estados Unidos, Japón y comunidad europea donde gobiernos, empresas y sector educativo están integrados para fortalecer, investigar e innovar en el diseño y desarrollo de nuevos productos y en sus procesos y tecnologías de fabricación, se hace necesario que las empresas colombianas afronten el reto de ser sostenibles incrementando sus márgenes de competitividad y rentabilidad, generando soluciones tecnológicas fiables que permitan superar desde el diseño sus limitaciones y dependencia tecnológica de los países desarrollados, mediante el desarrollo e innovación en productos y procesos, vinculando tecnologías flexibles en un contexto moderno de organización empresarial y sectorial. [2,3,4]

Dado que es responsabilidad de las empresas, académicos y demás personas involucradas en el área de soldadura, si queremos ser dinámicos, productivos y competitivos en este sector y contexto, conocer como las tecnologías de soldadura desarrollan su acción en el campo de los procesos de diseño, fabricación, montaje, inspección, consultoría, asesoría, investigación e interventoría de construcciones soldadas; el presente trabajo expone como influencia en las empresas afines con la fabricación de productos y construcciones soldadas trabajar con ambientes colaborativos y concurrentes, muestra un estado del arte alrededor de la temática planteada y cuáles son los factores y tópicos específicos que se deben tener en cuenta cuando se fabrica una construcción soldada.

Entorno Concurrente Empresariales

Es aquel que permite integrar en un concepto de trabajo en equipo, con conocimientos y soportes tecnológicos e informáticos apropiados, en ambientes abiertos de comunicación y colaboración, las decisiones y consideraciones inherentes del proceso de diseño y desarrollo de producto en cada una de las etapas de su ciclo de vida [5,6,7]; contribuyendo a la productividad y competitividad de la empresa

por medio de incrementar los márgenes de ganancias, la calidad, innovación y valor del producto, en un marco de desarrollo sostenible y protección al medio ambiente. [8,9] Experiencias muestran que para generar un entorno concurrente es necesario del convencimiento, compromiso y participación activa de cada uno de los miembros de la organización empresarial en la adopción, adaptación y cumplimiento de los principios que rige la ingeniería concurrente y sus procesos de implementación y retroalimentación; siempre tomando en cuenta la integración de las áreas y factores que la influyen para óptimos procesos de diseño y desarrollo de producto, [5,10,11,12,13,14]; ver figura 1.

Hacer concurrir de manera significativa las áreas funcionales de la empresa, mostradas en la figura 1, a un proceso de diseño y desarrollo de producto que genere valor, productividad y rentabilidad, requiere del conocimiento efectivo y de la experticia, por parte de miembros y directivos, en el manejo de los factores y variables críticas en el sistema de mano y mentefactura que afecten las características del diseño, la calidad y la funcionalidad del producto integrados con un adecuado funcionamiento organizacional, ocupacional, tecnológico y financiero de la empresa, le permitan ajustarse a los cambios rápidos en tecnologías y a los nuevos requerimientos que la sociedad demanda de sus productos.

Tecnologías de Soldadura

Las tecnologías de soldadura soportan el diseño y desarrollo de productos soldados [15,16], ver figura 2, para esto toma en cuenta durante la planeación, programación, ejecución y control, que de cada una de las actividades requeridas en la fabricación de construcciones soldadas deben ser desarrolladas en un entorno concurrente empresarial, como el descrito en el ítem anterior donde cada una de las áreas como gerencia, fabricación, compras, calidad, etc., se nutren y retroalimentan para la mejora continua del proceso de diseño y desarrollo del producto; para esto es necesario que el personal involucrado en la construcción, ingenieros, contratistas, soldadores, ayudantes, etc., estén debidamente capacitados, entrenados y calificados, para la garantía de un óptimo desempeño de la construcción.

La falta de preparación y fundamentación tecnológica del personal que desarrolla su actividad en las construcciones soldadas, trae como consecuencia para la industria metal-mecánica colombiana y aún latinoamericana, principalmente en las micro y pymes, re procesos y re trabajos que generan pérdidas cuantiosas y desacreditación de la organización, debido a esto y a los marcos de competitividad y productividad que el País demanda, las empresas están requiriendo ingenieros capacitados en soldadura con

Figura 1. Áreas y factores de influencia en entornos concurrentes
 Figure 1. Surfaces and influencing factors in concurrent environments

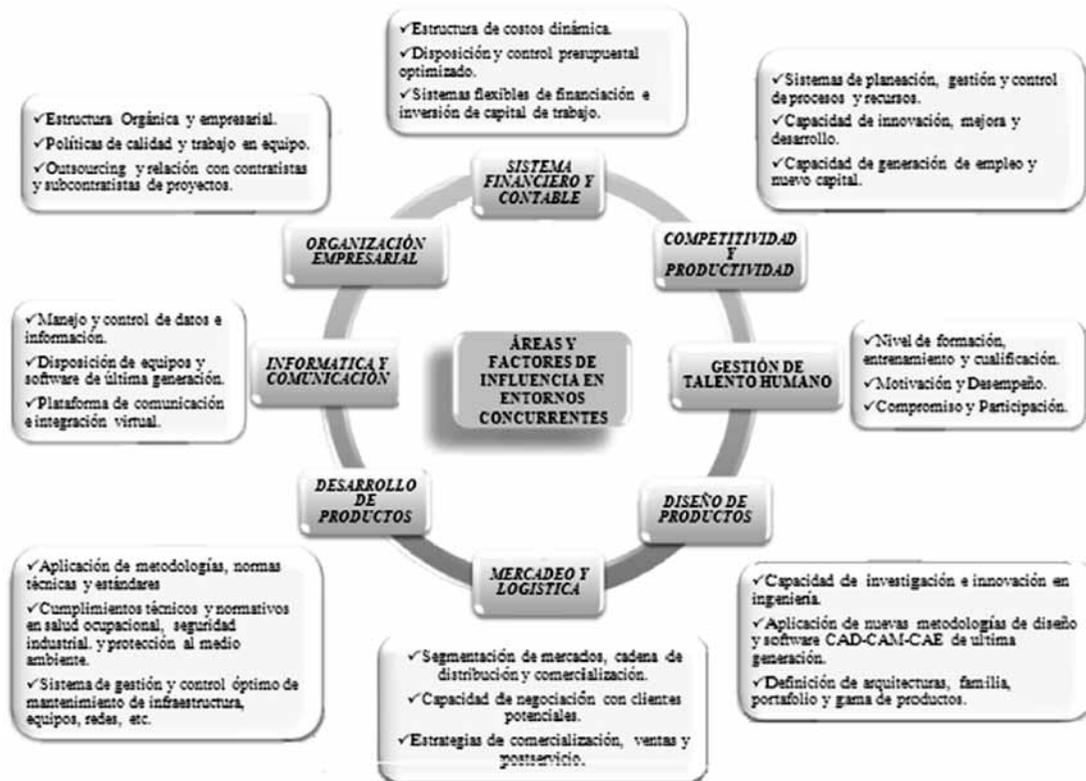
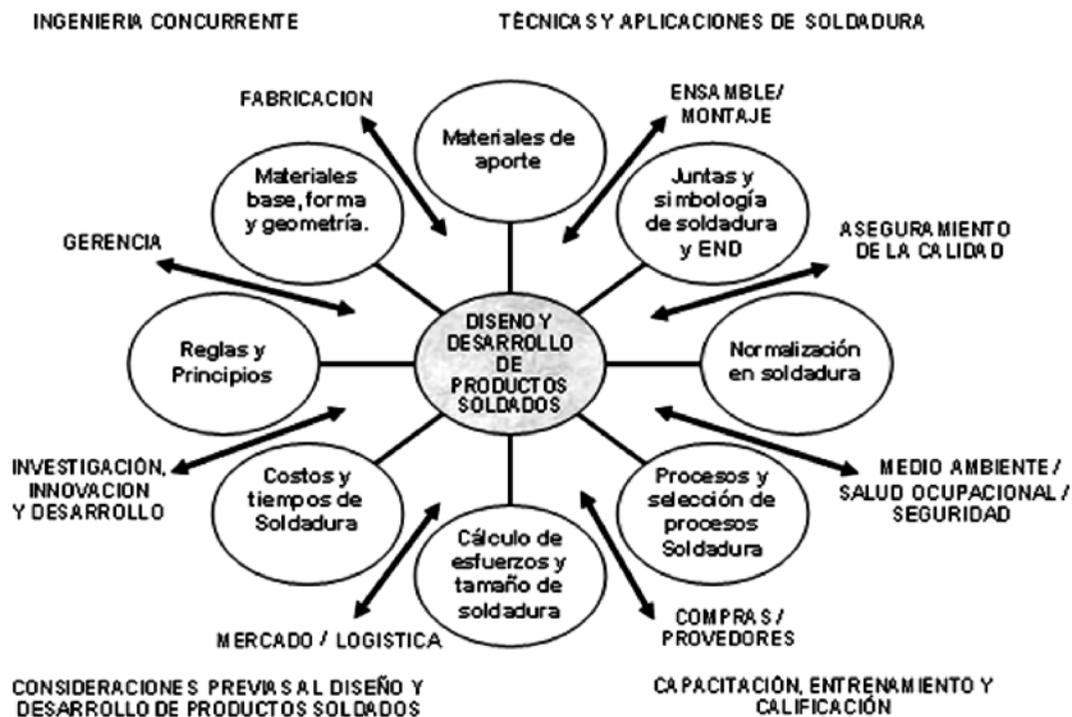


Figura 2. Componentes que soportan la aplicación del PDDP soldado
 Figure 2. Components that support the implementation of welded PPDD



proyección a la investigación, innovación y desarrollo de nuevos procesos y tecnologías de fabricación y personal técnico con conocimientos y experiencia que estén certificados y calificado por estándares de competencia laboral y normas técnicas que le permitan al empresario suplir esta falencia. [17]

Para el caso de las construcciones soldadas, se recomienda tomar como base de conocimientos en los procesos de capacitación de personal y en la fabricación misma, los componentes (encerrados en óvalos) descritos en la figura 2, los cuales brindan información útil para el diseño y fabricación de productos soldados, por ejemplo cuando se habla de materiales base, forma y geometría es importante conocer como influencia en la construcción la naturaleza del material, el tipo de procesamiento y fabricabilidad, solicitaciones de carga y condiciones de servicio del producto soldado, las propiedades del material, soldabilidad y metalurgia del metal base y la soldadura, la forma, geometría y variedad en que se comercializa, trazabilidad, costos y disponibilidad comercial, impacto ambiental, reciclabilidad y capacidad de recuperación del material. [16]

Desarrollo de Productos Soldados

El desarrollo de productos soldados es una de las actividades de ingeniería que se realizan para crear un producto en el cual hay transformación de materiales e información especificada a través de un diseño, de códigos, procedimientos e instrucciones técnicas, de cartas en el manejo y control de materiales y procesos, rutas y programas de fabricación y ensamble, gestión y ejecución de suministro de materiales, equipos y servicios, gestión y ejecución de no conformidades y acciones correctivas, políticas de aseguramiento de calidad, seguridad y medio ambiente, todo lo anterior enmarcado en el contexto de las tecnologías de soldadura.

Una vez terminado el diseño de un producto este debe mostrar elementos tales como: i) interfaces con fabricación, ensamble/montaje, compras, proveedores y medio ambiente., ii) correlación especificaciones de diseño con código de soldadura aplicable, iii) correlación configuración final con condiciones de servicio, iv) modelamiento y simulación virtual, v) planos generales y de detalle, vi) listas de equipos, herramientas y materiales, vii) especificaciones de ensayos aplicables, viii) requerimientos de personal, ix) evaluación económica, de complejidad y eficiencia, x) especificaciones generales de producto. [15,16]

Sin embargo, muchos de los problemas que se presentan en las empresas que fabrican productos soldados son debidos al diseño de la junta y tratamiento de la unión soldada durante su ejecución, que en muchos casos generan fallas, [18,19,20] especialmente cuando son sometidos a solicitaciones dinámicas y fuentes corrosivas, esto se debe a la con-

figuración y disposición de las mismas en el producto y a la inexistencia o no cumplimiento de procedimientos de soldadura especificados, a la falta de criterios de valoración de las condiciones de servicio; por esto es necesario tomar en cuenta reglas de diseño para la configuración de las uniones, forma de preparación y ejecución ya que al aplicarlas se reduce el número de uniones por soldar, la cantidad de soldadura requerida, las distorsiones y esfuerzos residuales, los tiempos de soldadura y fabricación son más cortos, tomando en cuenta que estas deben estar orientadas en función de unos criterios que minimicen la concentración de esfuerzos y fatiga, las deformaciones y/o distorsiones, reduzcan los costos y den facilidad de soldado.

Algunas de las características a tener en cuenta cuando se desarrollan actividades de fabricación de productos soldados son [11, 16, 21, 22] mostradas en la figura 3.

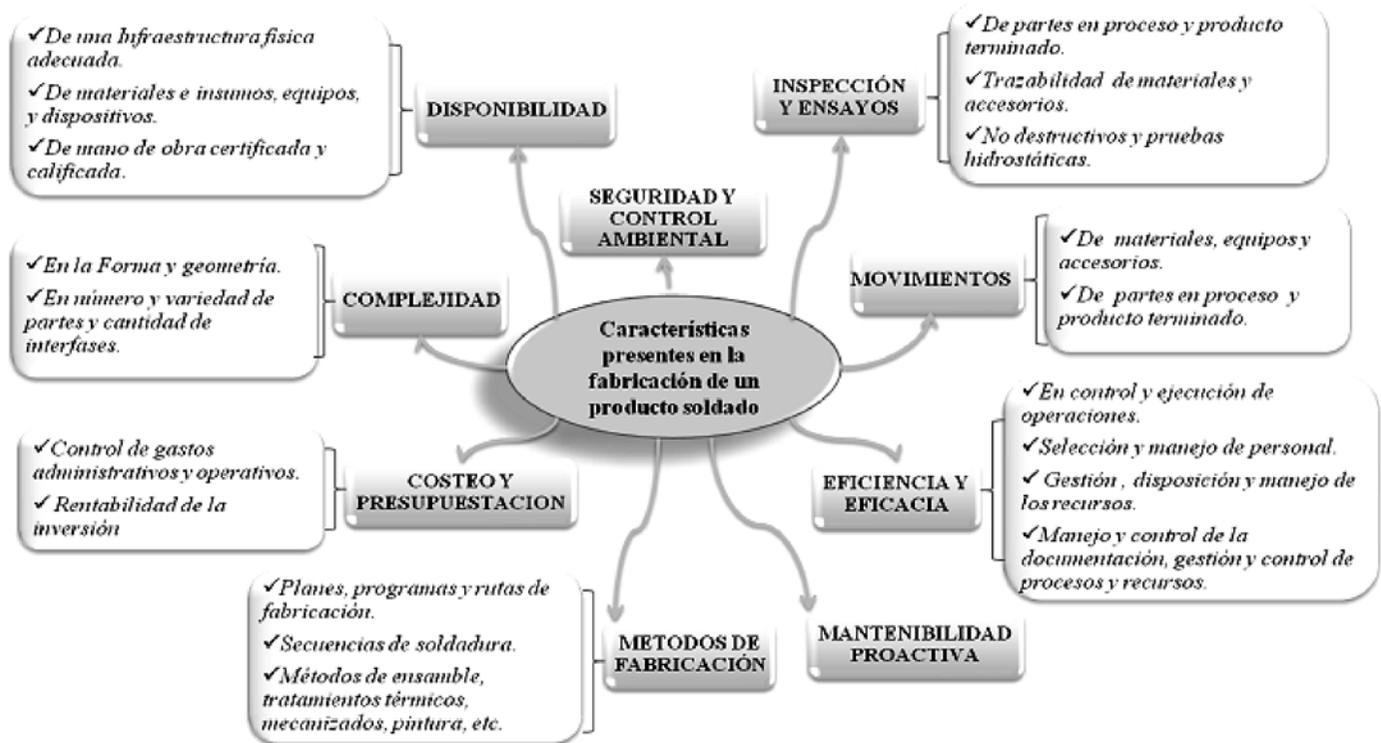
Estas características debidamente integradas en concordancia con lo expuesto para entornos concurrentes permiten concebir de manera significativa como se ha de fabricar el producto, que estrategias y métodos de fabricación y ensamble ha de utilizar el fabricante para que su producción sea eficiente y ágil [21,23,24], como ha de prever y prepararse para las contingencias que puedan presentarse, como maximizar el uso de los recursos materiales, tecnológicos y financieros con miras a aumentar el margen de ganancias, que ensayos y pruebas son necesarias para garantizar la calidad del producto, como mejorar la calidad de vida laboral de los empleados, y por ultimo como garantizar que todas las operaciones y el manejo de los recursos se realicen en un ambiente de desarrollo sostenible con el medio ambiente.

Por otra parte, el desarrollo de productos soldados en empresas que trabajan con criterios de alta calidad, el personal que investiga, programa, controla y ejecuta las actividades relacionadas con el corte, ensamble y soldadura de las partes y componentes que conforman el producto, conciben y aplican además de las características mostradas en la figura 3, tópicos específicos de la tecnología de soldadura como son los de soldabilidad y metalurgia, selección de procesos, manejo y aplicación de códigos y especificaciones de soldadura, procedimientos de soldadura y calificación de soldadores, establecimientos de secuencias de soldadura y control de distorsiones y la aplicación de ensayos no destructivos para el control y aseguramiento de la unión soldada, los cuales se describen a continuación.

Soldabilidad y metalurgia de soldadura

La soldadura es un proceso metalúrgico de unión o aportación de metal sobre un material base o materiales base, el cual necesita para la fusión de los mismos de altas temperaturas de calentamiento, donde la conducción de calor

Figura 3. Características presentes en la fabricación de un producto soldado
Figure 3. Features in the manufacture of a welded product



de la zona fundida (depósito de soldadura) hacia el material base es rápida generando efectos térmicos y microestructurales que afectan las propiedades del mismo, por lo cual requiere de tratamientos térmicos de preparación, sostenimiento y postsoldadura que garanticen la soldabilidad y calidad de soldadura del metal [25].

El referirse a construcciones soldadas implica asociarlo con los conceptos de soldabilidad y metalurgia de la soldadura, los cuales nos permiten a través de pruebas experimentales y en algunos casos modelaciones numéricas del comportamiento de metal y de la unión soldada, predecir y comprender las transformaciones, cambios microestructurales, posibles agrietamientos y microfisuras que se dan en el material depositado y más aún específicamente en la zona afectada por el calor durante y después del desarrollo de la soldadura [26,27,28,29], debido a las variaciones y picos de temperatura alcanzados, como a las tasas de enfriamiento desarrollados por el tipo, disposición y localización de material; determinando así la capacidad que tiene el mismo a dejarse soldar y proponer nuevas técnicas y procedimientos de soldeo, tratamientos térmicos y secuencias de soldadura que mejoren significativamente los indicadores mecánicos ante las sollicitaciones de carga y fuentes de corrosión a que son expuestas las uniones soldadas y den mayor vida útil a la unión.

Selección de procesos de soldadura

Para seleccionar el proceso de soldadura se requiere conocer el comportamiento del metal base ante un determinado ciclo térmico y la compatibilidad existente con los materiales de aporte, la configuración geométrica y facilidad de soldadura, la relación de costos/tiempos/beneficios acorde con el volumen de producción y la satisfacción de calidad de soldadura especificada y los niveles de habilidad y destreza de los soldadores y operarios de soldadura disponibles [16].

La tendencia de uso en la industria local y nacional, según el estudio de caracterización ocupacional realizado por el SENA, se centra en los procesos manuales con un 51% y los semiautomáticos con un 45.7%, donde los más aplicados en las construcciones soldadas son los procesos de soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido y procesos de soldadura con gas de protección GMAW y GTAW y soldadura por arco sumergido; le sigue en crecimiento de uso el proceso de soldadura tubular y con un muy bajo porcentaje la soldadura con laser [17]. Sin embargo, las tendencias de los países industrializados, donde la producción generalmente es a gran escala, muestran que uno de los procesos más utilizados es el proceso GMAW, seguido por el proceso de soldadura por resistencia eléctrica y evi-

denciando gran demanda y crecimiento en el uso de procesos de soldadura automática por rayo laser, procesos de soldadura híbridos y soldadura por fricción. [30,31]

Manejo y aplicación de códigos y especificaciones en soldadura

Los códigos y especificaciones de soldadura son normas técnicas recomendadas de desarrollo tecnológico en el campo de las construcciones soldadas, que debidamente aplicados garantizan confiabilidad en un producto terminado con óptima calidad, contienen directrices encaminadas a aspectos de diseño, fabricación y ensamble tales como: Cálculo de cargas admisible, detalles de uniones soldadas, calificación de procedimientos y habilidad del soldador, métodos de inspección y criterios de aceptación, procesos de soldadura aplicables, materiales base y aporte utilizados [16,32,33]. Su uso en empresas certificadas, en vías de certificación, exportadoras y que quieran ser competitivas es obligatorio, siendo exigido en muchos casos por los clientes en el desarrollo de sus productos como parte contractual para asegurarlos y para lo cual las casas aseguradoras ejercen el control y verificación con interventorías en las empresas.

Procedimientos de soldadura y calificación del desempeño del soldador

Son necesarios para garantizar la calidad de las uniones soldadas, teniendo en cuenta que cuando se elabora y califica un procedimiento de soldadura se busca demostrar la compatibilidad existente entre los metales base, los materiales de aporte, los proceso de soldadura y la técnica aplicada mientras que cuando se califica un soldador u operario de soldadura el eje de acción se centra en demostrar que este tiene la capacidad y habilidad para ejecutar una soldadura en determinada posición y acorde a unas especificaciones dadas en el procedimiento de soldadura estipulado para la aplicación requerida. [34]

Secuencia de soldadura y control de distorsiones

Este es otro punto crítico en las construcciones soldadas, dado que en las uniones soldadas durante el ciclo de calentamiento, fusión, solidificación y enfriamiento del material base y de soldadura depositado se presentan fuerzas de expansión y contracción no controladas generando tensiones y deformaciones [35], por el diseño de la unión soldada, por la configuración geométrica del producto o componente a soldar, por sujeciones demasiado rígidas, errores en el ensamble o del soldador, o por una mala secuencia de soldadura lo que puede causar su rechazo.

Para el control de las distorsiones en las construcciones soldadas, la tendencia es desde el diseño predecir por mé-

todos analíticos y numéricos apoyados de simulaciones por elementos finitos, cuales son los esfuerzos y deformaciones a que va estar sometido la construcción por efecto de las cargas térmicas, mecánicas y combinadas con el fin de seleccionar la mejor configuración geométrica, disposición de los elementos de rigidez y secuencia de soldadura de unión. [36,37,38]

Aplicación de ensayos no destructivos

La calidad de los productos soldados debe ser evaluada mediante métodos de inspección, ensayos no destructivos y pruebas recomendados en códigos, especificaciones y requerimientos del cliente acorde a la geometría de los productos y naturaleza de las posibles discontinuidades presentes en la unión soldada. Su omisión al momento de presupuestar la fabricación y ensamble del producto conlleva a altas pérdidas en el margen de ganancias de cualquier proyecto de soldadura, aplicarlos como lo especifican los códigos y técnicas propias de los ensayos permite la identificación de discontinuidades presente en las uniones soldadas, genera confianza y credibilidad por parte de los clientes.

Conclusiones

- Trabajar en ambientes colaborativos y concurrentes para el desarrollo de productos soldados favorecen significativamente los márgenes de productividad, competitividad e innovación en la empresas dedicadas a la construcciones soldadas, tomando en cuenta la necesidad de contar con equipo humano idóneo, integrado e involucrado proactivamente en las actividades del diseño, fabricación, ensamble y comercialización de productos soldados.
- Las tendencias actuales propenden por el uso de nuevas metodologías para el diseño y desarrollo de productos, por el manejo apropiado de tecnologías de punta para producción a escala; por modelaciones y simulaciones virtuales que permitan definir la disposición de las partes y comportamiento de la construcción ante sollicitaciones de carga y condiciones de servicio; por la investigación, innovación y profundización de sus conocimientos en el desarrollo de nuevos materiales y procesos, en metodologías de fabricación y desarrollo de nuevas arquitecturas de producto, técnicas y análisis de modelación numérica, etc.

Referencias

- [1] ANDI, Informe de encuesta de opinión industrial conjunta. Centro de estudios económicos. Mayo de 2009.
- [2] Schwab Klaus. Michael e. Porter. World Economic Forum. The Global Competitiveness Report 2008-2009. Geneva, Switzerland 2008

- [3] Malaver F. Vargas M. Los indicadores de innovación en América Latina: Nuevos avances y desafíos. VII Congresos Iberoamericano de indicadores de ciencias y tecnología. Brasil. 2007.
- [4] Anllo G. Bisang R. Campi M. Albornos I. Innovación y competitividad en tramas globales. CEPAL. Naciones Unidas pp. 35-51. 2009.
- [5] Mejia R. López Adán, Molina A. Experiences in developing collaborative engineering environments: An action research Computers in Industry, 58, pp. 329–346. 2007.
- [6] Starbek M. Grum J. Concurrent engineering in small companies. International Journal of Machine Tools & Manufacture. 42, pp. 417–426. 2002.
- [7] Abdalla H. Concurrent engineering for global manufacturing. International Journal of Production Economics. 60-61, pp. 251-260. 1999
- [8] Valle S. Vázquez D. Concurrent engineering performance: Incremental versus radical innovation Int. J. Production Economics, 119, pp. 136–148. 2009.
- [9] Mileham A. Morgan E. Chatting I. An attribute management approach to concurrent engineering. Proceedings of institution of mechanical engineers. Proquest Science Journals. 218 (8), pp. 995-1003. 2004.
- [10] Bhuiyan N. Thomson V. Gerwin D. Implementing Concurrent Engineering. Research Technology Management. 49 (1); pp. 38-43. 2006.
- [11] Luna C. Mendoza A. Metodología para mejorar la ingeniería de producto/proceso basada en ingeniería concurrente. Rev. Ingeniería & Desarrollo. Vol. 16. Pp. 59-69. 2004.
- [12] Kayis B. Arndt G. Zhou M. Risk Quantification for New Product Design and Development in a Concurrent Engineering Environment. Annals of the CIRP. 55 (1). 2006.
- [13] Vázquez D. Avella L. Agile manufacturing: Industrial case studies in Spain. Technovation. 26, pp. 1147–1161. 2006.
- [14] García M. Tendencias tecnológicas a medio y largo plazo en el diseño y la producción industrial. Economía Industrial 342. (6), pp 55-64. 2001.
- [15] Niebles, E. E. Modelo de diseño y base de conocimiento en tecnologías de soldadura para el desarrollo de productos soldados, Rev. Scientia y Technica, (en línea), 37 (1), pp. 473-478. 2007. Disponible en <http://www.utp.edu.co/ciencia/index.php?UnArt=32&id=942&anoFecha=2007&mesFecha=9>
- [16] Maury H. Niebles E. Torres J. Diseño para la fabricación y ensamble de productos soldados: Un enfoque metodológico y tecnológico. ISBN: 978-958-8252-74-2. Ediciones Uninorte. 2009.
- [17] SENA – Servicio Nacional de aprendizaje, Caracterización Ocupacional Área de Soldadura. Colombia. 2006.
- [18] Babakr A. Bradley R. Al-Ahmari A. Failure Analysis of Mill Shaft Roll. Journal Failure Analysis and Prevention. 9, pp. 107–113. 2009.
- [19] Fuller R. Ehergott J. Heard W. Failure analysis of AISI 304 stainless steel shaft. Engineering Failure Analysis. 15, pp 835–846. 2008.
- [20] Adamczyk J. Development of the microalloyed constructional steels. Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering. 14 (1,2), pp 9-20. 2006. Available in http://157.158.19.167/papers_cams05/adamczyk_general_vol14.pdf
- [21] Vaidya V. George B. Applying lean to welding operations. Welding Journal-Air Liquide. April 2007. Available in <http://www.omniweld.ca/PDF/ApplyingLeantoWeldingOperationsAWS2007.pdf>
- [22] Guerra J. Muelle D. Niebles E. “Aplicación en la industria de la metodología de diseño para la fabricación y ensamble de productos soldados”. Memorias I Congreso Internacional de Materiales, Energía y Medio Ambiente. Barranquilla – Colombia. ISBN (13) 978-958-98279-3-2. Sept. 2007.
- [23] Westkämper E. Strategic Development of Factories under the Influence of Emergent Technologies. CIRP Annals - Manufacturing Technology. 56 (1), pp. 419-422. 2007.
- [24] Kuhmonen M. De Jesús R. Rosenfield D. Hanson W. Retos y tendencias en la fabricación discreta. ABB Revista 2/2002. Disponible en [http://library.abb.com/GLOBAL/SCOT/scot271.nsf/VerityDisplay/12354434F834E1EAC1256DDD00346D0F/\\$File/06-10%20M769%20SPA.pdf](http://library.abb.com/GLOBAL/SCOT/scot271.nsf/VerityDisplay/12354434F834E1EAC1256DDD00346D0F/$File/06-10%20M769%20SPA.pdf)
- [25] Yushchenko K. Derlomenko V. Weldability and changes in the physicomechanical properties of welded joints. Materials Science. 42 (2), pp. 243-249. 2006.
- [26] Lippold J. Recent developments in weldability testing for advanced materials. ASM International-Joining of Advanced and Specialty Materials. VII, 2005. Available in http://asmcommunity.asminternational.org/content/ASM/StoreFiles/5116_01_WEBa.pdf

- [27] Mikami Y. Nakamura T. Hiraoka K. Numerical simulations of weld hardness distributions in ultra-narrow gap GMA welding. Evaluation of weld hardness distributions by numerical simulations of welding thermal cycles and microstructural phase fractions (1st report) *Welding International* 20 (9), pp. 677-683. 2006.
- [28] Konda N. Arimochi K. Hasegawa K. Properties of welding joints in anti-fatigue steel plates. *Welding International*. 20 (8), pp 593-597. 2006.
- [29] Khatibi G. Wroczewski W. Weiss B. Licht T. A fast mechanical test technique for life time stimulation of micro-joints. *Microelectronics Reliability*, 48, pp.1822-1830. 2008.
- [30] Nies H. New processes in welding and its tendency to the next 10 years. Seminary of the technologies application in welding, material and corrosion processes. SENA- The German Welding Institute Mannheim. Cartagena. November 2008.
- [31] Vernyl B. New options for welding. *Welding Design & Fabrication*. May 2008. Available in http://weldingmag.com/processes/new__welding_options_0501/
- [32] ACOSEND. Asociación colombiana de soldadura y ensayos no destructivos, Preparación para la calificación y certificación de inspectores de construcciones soldadas. Colombia 2008.
- [33] Becht C. Sims J. Neely C. Developments in post-construction codes and standards in the United States *International Journal of Pressure Vessels and Piping*. 81 (6), pp. 569-574. 2004.
- [34] Niebles E. Arnedo W. *Procedimientos de Soldadura y Calificación de Soldadores: una Propuesta de Enseñanza y Guía de Aplicación para la Industria*. Información tecnológica [online]. 20 (3), pp. 19-30. 2009.
- [35] Rogante M. Cesari F. Ferrary G. and Battisella P. A simplified solution for the evaluation of residual weld stress. *Welding international*, 20 (9), pp. 713-716, 2006.
- [36] Lindgren L. Numerical modelling of welding. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*. 195, pp. 6710-6736. 2006
- [37] Deng D. Murakawa H. Liang W. Numerical simulation of welding distortion in large structures *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*. 196, pp. 4613-4627. 2007.
- [38] Sattari-Far I. Javadi Y. Influence of welding sequence on welding distortions in pipes. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*. 85, pp. 265-274. 2008

Nomenclatura

SENA	Servicio Nacional de Aprendizaje
GMAW	Gas Metal Arc Welding
GTAW	Gas Tungsten Arc Welding
PDDP	Proceso de Diseño y Desarrollo de Producto
PPDD	Process of Product Design and Development