

Automatización de los procesos de soldadura final para vehículos de pasajeros en GM Colmotores

Final automated welding processes for GM colmotores passenger vehicles

A automação dos processos de soldagem final para veículos de passageiros na GM colmotores.

Para citar este artículo / To reference this article
/ Para citar este artigo: Ortiz, M., Sánchez, C. y Fuquen, H. (2016). Automatización de los procesos de soldadura final para vehículos de pasajeros en GM Colmotores. *Ingenio Magno*, 7(1), 10-21.

Mauricio Ortiz

GM Colmotores

Mauricio.ortiz@gm.com

Claudia Sánchez

Grupo de investigación Colinnovación

csanchez@colinnovacion.com

Hermann Fuquen

Grupo de investigación Colinnovación

hfuquen@colinnovacion.com

Fecha de recepción: 13 de abril de 2015

Fecha de aprobación: 31 de Marzo de 2016

Resumen

El presente artículo pretende mostrar cómo los retos planteados por las condiciones de mercado para la industria manufacturera, concretamente para la fabricación de vehículos, han generado la necesidad de convertir la innovación y el desarrollo tecnológico en un proceso continuo, que será fuente de soluciones para el fortalecimiento de la competitividad. En el texto se hará una breve descripción de conceptos relacionados con automatización industrial; particularmente se examinarán los procesos relativos el ensamble de la industria automotriz y las variables por evaluar y controlar, que permiten planear de manera exitosa proyectos de automatización basados en procesos robotizados de soldadura. Adicionalmente se hace una breve revisión del estado del arte en procesos de automatización de soldadura con las últimas tecnologías y tendencias en la industria, así como la aplicación de un proceso de automatización de soldadura como proyecto de desarrollo tecnológico implementado posteriormente a nivel industrial en GM Colmotores, con lo cual se obtuvieron resultados e impactos positivos en los procesos de ergonomía, manufactura y calidad.

Palabras clave: automatización, industria automotriz, manufactura, soldadura.

Abstract

The following article shows how challenges caused by marketing conditions in the auto manufacturing industry have generated the necessity to convert the development of technology into a continuous process. This necessity drives competitiveness. In this document, there is a brief description of the concepts related to industrial automation, an assessment of automotive assembly processes, and variables to be evaluated and controlled in order to better plan automated projects based on robotic welding. Additionally, a brief revision of the automated processes of welding is provided with the latest technology and industry trends in mind. The application of an automated welding process as part of a Technological Development project is presented, which after being applied on an industrial level at GM Colmotores, generated positive results in the processes of ergonomics, manufacturing, and quality.

Keywords: automated, auto industry, manufacturing, welding.

Resumo

O presente artigo pretende apresentar como os desafios impostos pelas condições de mercado da indústria manufatureira, especialmente a indústria da manufatura de veículos tem gerado a necessidade de transformar a inovação e o desenvolvimento tecnológico em um processo contínuo, o que será uma fonte de soluções para o fortalecimento da competitividade. No documento faz-se uma breve descrição de conceitos de automação industrial, examinando particularmente os processos relacionados com a montagem da indústria automotriz, as variáveis para avaliar e controlar, que permitem planejar satisfatoriamente projetos de automação em processos robotizados de soldagem. Também é apresentada uma breve revisão do estado da arte dos processos de automação de soldagem com as últimas tecnologias e tendências industriais, assim como a aplicação de um processo de automação de soldagem como projeto de desenvolvimento tecnológico que se aplicou posteriormente a nível industrial na GM Colmotores, gerando resultados e impactos positivos nos processos de ergonomia, manufatura e qualidade.

Palavras Chave: automação, indústria automotriz, manufatura, soldagem.

1. Introducción

Es bien sabido que la industria de autopartes y vehículos afronta retos como la regionalización, la saturación de algunos mercados y la globalización (Rico, Sánchez y Laverde, 2012). Adicionalmente, esta industria debe responder a desafíos que implican pasar de esquemas de gran escala y alta masificación a modelos “customizados” o “a la medida”, que aumentan la complejidad de las líneas de producción al contar con muchas variantes de productos (Berglunda *et al.*, 2013).

2. Conceptos sobre automatización

A continuación se presentarán los principales conceptos relacionados con los procesos de automatización industrial.

A. Automatización

Se ha establecido que la automatización industrial se origina en la convergencia de tres tecnologías: mecánica, electrónica e informática (Córdoba, 2006); esta convergencia permite asegurar la optimización de los procesos tecnológicos. La automatización ha sido definida como el proceso que permite que las máquinas realicen un número predeterminado de operaciones ordenadas, a través del uso de dispositivos y sistemas que facilitan el control de diferentes variables del proceso y limitan a su vez la intervención humana (Kalpakjian y Schmid, 2002).

En la industria de manufactura, Kalpakjian y Schmid (2002) han identificado la oportunidad de automatizar procesos en áreas estratégicas para la producción, por sus retos en seguridad, calidad y productividad: el manejo de material, los procesos de inspección, los procesos de manufactura, el ensamble y el empaque.

Antes de realizar el proceso de automatización de áreas como las mencionadas, se ha recomendado analizar el análisis de los procesos que van a ser así intervenidos. Para ello es necesario tener en cuenta los siguientes

aspectos considerados clave para el éxito: el tipo y la cantidad de producto por elaborar, la velocidad de producción, las operaciones que van a ser intervenidas a través de la automatización, el mantenimiento que requerirán, el nivel de confiabilidad que requiere la operación y el nivel de capacitación que necesitarán las personas encargadas de la operación (Kalpakjian y Schmid, 2002).

B. Automatización en manufactura para la industria automotriz

En el caso particular de la industria automotriz se ha establecido que los procesos automatizados por lo general requieren volúmenes importantes por producir, y que adicionalmente deben tener en cuenta el peso y la dimensión de las partes integrantes del vehículo, a fin de establecer de manera adecuada el nivel de automatización (Michalos *et al.*, 2010).

Adicionalmente, Grolach y Wessel (2008) incluyen la necesidad de analizar el cambio en un sistema productivo a largo plazo, cuando se trata de implementar cualquier sistema automático. Por ello, debe entenderse la diferencia entre los niveles de automatización que serían requeridos para cada uno de los parámetros mencionados, frente a las opciones de procesos. Así, se encuentran aquellos que son totalmente automatizados o totalmente manuales, al igual que los términos intermedios, que permitan diseñar o rediseñar el proceso con una visión adecuada del negocio.

Según Yang (2011), el caso en China es particular y similar al caso local, ya que muchas fábricas de automóviles se han tenido que adaptar a producir volúmenes más pequeños y en diferentes modelos, lo cual ha aumentado la variación de producto. Esto a su vez ha generado que las líneas tradicionales de soldadura de alto volumen automatizadas no sean adecuadas para las características de demanda de los mercados.

Por lo tanto, los requisitos de producción flexible de soldadura con robots se han convertido en la corriente principal de investigación en los últimos años. Actualmente, el método de soldadura de cuerpo del automóvil en las plantas de ensamblaje se ha desarrollado con base en manufactura flexible y de forma adecuada para todo tipo de modelos. La misma línea de soldadura altamente flexible puede intercambiar aleatoriamente entre modelos, lo cual permite un alto ciclo de producción con múltiples modelos. Las líneas de producción multimodelo han llegado a ser una tendencia de desarrollo de la soldadura (Yang, 2011).

C. Automatización en el ensamble de vehículos

Por lo general, una planta de fabricación de vehículos incluye cuatro etapas: estampado y grafado, armada y latonería (*body shop*), pintura y ensamble final. Los sistemas de montaje pueden variar en diferentes principios de ensamble, de acuerdo con los volúmenes de producción, el nivel de flexibilidad requerido, el número de modelos o variantes y los tamaños de lote, como se puede ver en la figura 1.

Adicionalmente, en el proceso mismo de producción es necesario enfrentar retos como las condiciones ergonómicas, que han de facilitar la interacción humana con los procesos de fabricación y el manejo de material, garantizar la seguridad y salud de los operarios de planta e igualmente disminuir costos por actividades innecesarias o que pueden ser realizadas de manera automática por máquinas, con limitada intervención humana.

Las empresas manufactureras —entre las que se encuentran los fabricantes de vehículos— prefieren usar robots en los casos en que se tienen tareas difíciles, como ensamble, manejo de materiales, pintura en *spray* y soldadura. Con ello buscan mejorar la calidad del producto e incrementar la productividad (Kumar y Garg, 2010). El ensamble en una línea de vehículos por lo general requiere la unión de dos o más componentes, con el fin de producir, por ejemplo, las cabinas del automóvil. Para realizar estos ensambles, se utilizan procesos como soldadura, grafado y grapado.

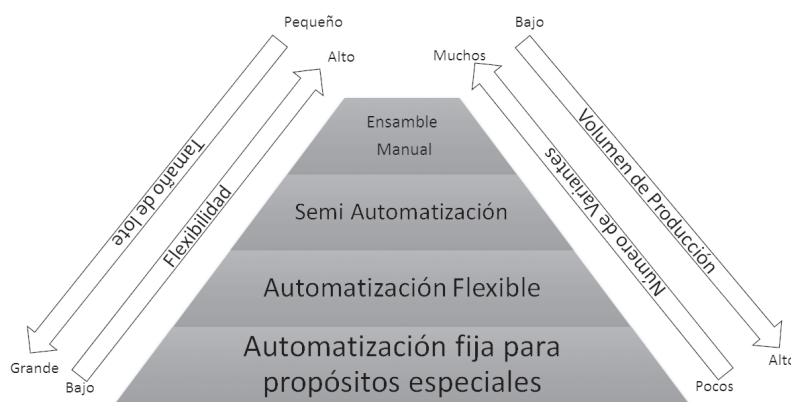


Figura 1. Comportamiento de las características de los sistemas de ensamble, según diferentes principios de ensamble

Fuente: adaptado de Michalos *et al.* (2010).

D. Soldadura

En los procesos de ensamble existen diferentes técnicas de soldadura por arco, como el metal de gas inerte (MIG), el gas inerte de tungsteno (TIG), el arco metálico manual (MMA) —que son ampliamente adaptadas— y la soldadura de punto.

1. Soldadura de punto

Este tipo de soldadura es un proceso que permite unir dos o tres capas de metal con grosor reducido; unión que se realiza debido al calor que se genera por resistencia eléctrica, sin adición de material en áreas procesadas. Las piezas de trabajo se sostienen juntas bajo la presión de dos electrodos, a través de los cuales se hace pasar corriente eléctrica (Aslanlar, Ogur, Ozsarac e Ilhan, 2008).

El proceso puede ser realizado manualmente, por medio de una máquina dedicada a soldadura de punto o a través de brazos robóticos. En cualquiera de los casos es necesario realizar una combinación de variables, como presión, cantidad y duración de la corriente eléctrica, tiempo de soldado, forma y propiedades del electrodo.

De acuerdo con Aslanlar *et al.* (2008), este tipo de soldadura es ampliamente usado en los ensambles de metal de automóviles, cabinas de camiones, trenes, entre otros usos. Indican también que un ensamble de la cabina de un automóvil moderno necesita entre 7000 y 12.000 puntos de soldadura, dependiendo del tamaño del vehículo. Cada punto requiere condiciones particulares de alineación tanto de las láminas como de los electrodos, lo cual constituye un reto para los ensambladores a la hora de automatizar este tipo de procesos, dado el nivel de dificultad relacionado con la cantidad de variables que deben controlarse.

2. Automatización de los procesos de soldadura

La soldadura de punto puede tener algunas facilidades

al momento de automatizar con respecto a otros tipos de soldadura (Aslanlar *et al.*, 2008). La programación de soldaduras de arco, por ejemplo, para la fabricación de un vehículo de gran tamaño, según lo descrito por Pan, Polden, Larkin y Van (2012), puede llegar a durar más de ocho meses, mientras que el tiempo de ciclo de la ejecución de la soldadura es de solo dieciséis horas. Por ello se argumenta que las empresas pequeñas y medianas (pymes) no se podrían beneficiar del uso de los robots, debido al tiempo total requerido para la automatización (Pan *et al.*, 2012).

E. Revisión del estado del arte y tecnología de vanguardia

Dentro de los actuales temas de investigación y avances tecnológicos para la automatización de los procesos de soldadura a través de la robotización encontramos las siguientes temáticas.

1. Soldadura automatizada

En la revisión de Hong, Ghobakhloo y Khaksar (2014) se explica cómo los robots rectilíneos utilizados en los procesos de soldadura automatizada se mueven en línea en cualquiera de los tres ejes (*X*, *Y* y *Z*). Además del movimiento lineal del robot a lo largo de ejes, hay un sistema de rotación unido al robot para permitir un movimiento más versátil de este. Esto crea una zona de trabajo robótica que está en forma de caja.

Los robots articulados utilizan brazos y articulaciones giratorias; se mueven como un brazo humano, con una muñeca giratoria en el extremo, lo cual crea una zona de trabajo robótica de forma irregular conocida como el *arco de trabajo*. Por tanto, son muchos los factores que deben tenerse en cuenta para una correcta operación, ya que las necesidades de soldadura robótica son, desde el punto de vista de la ingeniería, diferentes a los procesos manuales de soldadura.

A continuación se relacionan las soluciones implementadas en el estado del arte para los procesos de soldadura automatizada.

2. Planeación de trayectoria de movimientos

Una vez se han definido todas las costuras de soldadura dentro del vehículo por ensamblar, la siguiente tarea del programador está relacionada con la planificación de los movimientos requeridos para la célula de robot, con el propósito de llevar a cabo correctamente las soldaduras. En la soldadura de fabricación rápida, la planificación de la trayectoria es igualmente importante.

El problema para la planificación eficaz de movimientos para robots de soldadura industrial fue discutido por Trnka y Bozek (2013) en dos partes: la primera trataba el método actual de planificación *off-line* de movimientos; en la segunda, el trabajo fue realizado por uno de los sistemas de simulación con la generación automática de trayectoria y capacidad de programación fuera de línea. Algunos investigadores consideran necesaria la coordinación de dos robots de soldadura sobre una costura curva compleja, lo que significa que un robot agarra la pieza de trabajo, mientras con la otra sostiene la antorcha, y los dos robots trabajan en la misma pieza de trabajo al mismo tiempo.

Los autores construyen un robot dual con un sistema de coordenadas al inicio y un método de calibración de tres puntos de base con respecto a los dos robots. Con el fin de resolver el problema de la trayectoria del robot de soldadura en la planificación de la cadena de producción del cuerpo en blanco (*body in white*) —que hace ineficiente con los métodos tradicionales de soldadura robotizada—, algunos investigadores aplicaron los modelos de optimización para el problema del agente viajero (*TSP, Traveling Salesman Problem*) (Wang, Xiao y Ma, 2011). Para este problema la trayectoria de soldadura óptima se calculó mediante el modelo de optimización de colonia de hormigas.

Otros problemas para la definición adecuada de la trayectoria de trabajo de los robots han sido solucionados con distintas técnicas; por ejemplo, en el trabajo de Chou, You y Wang (2006), el control de un robot de soldadura de arco en espacio articular se obtuvo por técnicas de cinemática inversa. Esta última consiste en hallar el vector de ángulos de las articulaciones a partir de la orientación y posición del efector final; problema de difícil solución, debido a que incluye ecuaciones no lineales y múltiples soluciones. Los resultados experimentales demostraron la precisión y la viabilidad del método propuesto.

Otro caso en la literatura referente al planeamiento de trayectoria omnidireccional en un espacio 3D fue el presentado por Gu *et al.* (2000). Para obtener una trayectoria a través de una posición programada, se calcula con mucha precisión la posición espacial, mientras el ángulo de cada junta es interpolado usando técnicas de análisis numérico tipo *B-splines* cúbicos. De esta manera, el control del error es alto y el planeamiento de la trayectoria puede ser fácilmente compilable.

3. Procesamiento de imagen

Con el desarrollo de los métodos de tecnología de visión por computador y procesamiento de imágenes, numerosos robots de soldadura y algunas máquinas de soldadura automática están equipados con sensores de visión para conseguir diferentes tareas de soldadura en condiciones severas. Una tecnología de procesamiento de imágenes de luz fue propuesta por Yue, Li, Zhao y Zang (2009) para un proyecto de automatización de la soldadura de tuberías. En este proceso, el soplete de soldadura puede rastrear con precisión la soldadura y completar de forma automática la orientación de esta.

Se han propuesto algunos métodos para mejorar la robustez y capacidad de adaptación de robots de soldadura de arco (Xu, Wang y Tan, 2004). Así, un algoritmo de procesamiento de imagen para la extracción

de características a partir de imágenes de luz para soldadura de costura fue discutido en el caso de una gran cantidad de reflexión, luz de arco y perturbación de salpicaduras. Los procesos consisten en la definición de una región objetivo, la selección de un umbral adaptativo y la extracción de puntos característicos. A continuación se proporciona un nuevo método de control servovisual híbrido para robot de soldadura de arco. Aquí la posición y la imagen en el método servovisual se integran para aumentar la robustez de seguimiento del cordón de soldadura.

4. Inteligencia artificial

Con el rápido desarrollo de la automatización moderna y las tecnologías de inteligencia artificial, su aplicación en la soldadura se ha convertido en un tema de investigación. Recientemente ha habido un rápido desarrollo de la tecnología informática, que a su vez ha llevado a desarrollar el sistema de soldadura totalmente robótico a través de la tecnología de inteligencia artificial; sin embargo, el perfeccionamiento de estos sistemas no se ha conseguido, debido a las dificultades de los modelos matemáticos y las tecnologías en sensorica. Las posibilidades del método de regresión difusa para predecir la geometría del cordón de soldadura, tal como su anchura, la altura, la penetración del grano y el área del cordón en el proceso de soldadura GMA robótico, se presentaron en el estudio de Sung *et al.* (2007). Dado que el rendimiento del controlador borroso depende de variables difusas, su afinación se puede realizar usando el modelo de red neural. La validez de la red neuronal difusa se verifica mediante algunos experimentos de soldadura.

Otra propuesta identificada en la literatura es la definición de un modelo cinemático del robot de soldadura (Wu *et al.*, 2012). La cinemática directa consiste en hallar la orientación y posición del efecto final a partir del vector de ángulos de las articulaciones y los parámetros geométricos del elemento. En la investigación de

Wu *et al.* (2012) se desarrolló un controlador difuso mejorado (Fuzzy-P) para la aplicación de soldadura en la plataforma móvil del robot, basado en el análisis de un sistema de control de la costura de seguimiento.

3. Materiales y métodos

A continuación se presenta la información relacionada con los principales materiales y equipos y con la metodología utilizada en el desarrollo del proyecto de GM Colmotores.

A. Automatización de los procesos de soldadura final para vehículos de pasajeros en GM Colmotores

Para el desarrollo de los diseños y la implementación de la tecnología se partió de dos premisas fundamentales: a) la producción para la cual se harían los procesos de automatización es de bajo volumen y b) el proceso general de la planta genera una restricción, por tratarse de un proceso que se realiza de forma manual en la mayoría de las operaciones.

Además, se tuvo en cuenta la tecnología usada en plantas de alto volumen de producción dentro de la corporación General Motors alrededor del mundo. Se desarrolló así un proceso de adaptación tecnológica al proceso local de fabricación, incluyendo los ajustes necesarios a los volúmenes de producción en el ámbito nacional y proyectando el impacto de la transformación del proceso de automatización en el mediano plazo.

Se pretendía pasar de un proceso manual nivel 2 a un proceso automatizado que utilizaba brazos robóticos. El primero implicaba la ejecución del proceso de soldadura con la intervención de por lo menos un operario en la ejecución de las actividades requeridas y la posibilidad de hacer diagnósticos únicamente midiendo variables del proceso de manera discreta. El proceso automatizado utilizando brazos robóticos brindaba la posibilidad adicional de medir las variables de control de proceso

continuamente, a través de la programación de los sistemas de cómputo del piso de planta.

El objetivo se ha centrado en diseñar e implementar un nuevo concepto de aplicación de soldadura automática con equipos robotizados y sistemas de transporte automáticos, seguros y precisos en la planta de soldadura de vehículos. El sistema diseñado se compone de seis robots multiejes para aplicaciones versátiles, con unidades mecánicas simples y compactas. Estas cuentan con un diseño de pistolas de soldadura tipo *servo-gun* programables de alta tecnología.

El diseño de esta configuración permitiría producir y soldar los diferentes tipos de vehículos manufacturados

en la planta con 3, 4 y 5 puertas, que forman parte de los diferentes segmentos que se fabrican.

El sistema se diseñó vinculando un método indexado de transferencia automática de cabinas entre estaciones de soldadura. Asimismo se integró un elemento de posicionamiento e identificación, compuesto por una cámara inteligente vinculada al sistema de automatización, que permite programar los diferentes tipos de cabina por procesar (figura 2). Con base en este sistema, el robot puede identificar los diferentes tipos de cabinas que ingresan al sistema, así como designar la herramienta de soldadura. De esta manera puede iniciar el proceso automático.



Figura 2. Sistema integrado en celda robotizada

Fuente: Rivera (2011).

Teniendo en cuenta que el proceso de desarrollo tecnológico ejecutado tiene un alto componente de información sensible para la compañía, no es posible describir de manera extensa este proceso en el presente documento, así como el diseño de la solución y los métodos utilizados, pues esto forma parte del secreto industrial del desarrollo propuesto.

4. Resultados y discusión

Los análisis de resultados de pruebas fueron realizados comparando los procesos manuales y automáticos, los cuales permitieron calcular los potenciales ahorros,

como mano de obra, insumos, elementos de seguridad y mantenimiento al momento de implementar esta nueva tecnología industrialmente.

El sistema robótico armado y programado, que está conformado por brazos individuales con controles computarizados, realiza el montaje del techo del automóvil, lo cual permite mejoras significativas en términos de ergonomía, por cuanto el robot es el encargado de llevar el peso de las pistolas de montaje, no el operario.

Del proceso de pruebas e implantación industrial se han generado resultados importantes, como la mejora en la calidad de aplicación de puntos de soldadura, medidas para el control en la generación de esquirlas, disminución de puntos sueltos, de ruidos y de filtraciones de agua. Puntualmente, al medir la productividad asociada con el proceso de desarrollo tecnológico y la puesta a punto del proceso de soldadura, los ensayos iniciales revelaron un incremento de 23%. Con respecto al consumo de insumos, se ha generado una mejora, por cuanto el sistema automático incrementa la duración de los electrodos en un 30%, aproximadamente.

Adicionalmente, se ha optimizado en un 66% el consumo de energía en las operaciones relacionadas con el proceso de soldadura intervenido, en comparación con los procesos convencionales.

La transferencia tecnológica realizada durante la ejecución del proyecto generó un proceso de apropiación del conocimiento a partir del cual se han desarrollado las habilidades de siete programadores. Como resultado, se considera el mejor equipo de programación de la compañía a nivel de Latinoamérica dentro de las empresas de GM. La adquisición de estas capacidades le permitieron a la fábrica en Colombia la nominación y obtención del premio Team GM Transformers, otorgado por General Motors Corporation, por el primer robot de la industria automotriz nacional ensamblado y programado 100% en el país (GM Colmotores Medios, 2014). Finalmente, un resumen de los impactos generados por el proceso de automatización se puede ver en la tabla 1.

Tabla 1. Impactos generados por el desarrollo de la automatización

Impactos	Procesos de soldadura GM	
	Manual (antes)	Automatizado (ahora)
Ergonomía	Esfuerzos en la manipulación de los equipos, debido a pesos y movimientos que podrían ocasionar riesgos para el operador en el proceso de soldadura.	Riesgo ergonómico eliminado.
Calidad	Mayor costo en el proceso de manufactura para garantizar los estándares de calidad que requiere la industria.	Procesos de calidad hechos desde la primera vez con alta eficiencia y confiabilidad.
Productividad	6 personas requeridas para manufacturar el proceso de respot, a una tasa aproximada de 75 unidades diarias.	6 robots capaces de procesar una tasa de 120 a 130 unidades diarias, con reubicación de personal para hacer más eficientes procesos anteriores o posteriores.
Tecnología	Procesos tecnológicos comunes en la industria de bajos volúmenes de producción.	Tecnología de punta al nivel de cualquier industria de alto volumen, adaptado a industrias de bajos volúmenes de producción.

5. Conclusiones

Mediante el desarrollo de nuevas tecnologías industriales, y a través del fomento a la investigación e innovación en los procesos, se fortalecen los niveles de competitividad de la compañía y se entrega valor agregado a los clientes.

Se hace necesario revisar, evaluar y mejorar otros procesos de fabricación que involucran soldadura, para ser transformados en procesos automatizados. Los robots deben ser capaces de integrarse adecuadamente al ambiente de trabajo para producir resultados óptimos, como el mejoramiento de los tiempos de producción, la reducción en los costos de operación y la consecuente calidad de los productos.

Se vislumbran hacia futuro, en el estado del arte mundial, sistemas robóticos de automatización totalmente autónomos que requieran un mínimo de control y se adapten y aprendan continuamente a los requerimientos de trabajo; robots sustentados en sistemas cooperativos y especialmente útiles en la ejecución de trabajos de tareas de alta complejidad.

Por otra parte, las fuentes de energía para la operación de soldadura y robots se deberán transformar a fuentes renovables y asegurar la optimización de otros recursos para la consolidación de ahorros y el aumento de la calidad del trabajo.

A partir de los resultados del proyecto desarrollado al implementar los procesos de manera industrial, la compañía logró ampliar sus niveles de producción a diferentes tipos de vehículos manufacturados, aun cuando se encontraban en el mercado local en producción baja.

Lograr acelerar el proceso de transformación industrial a través de la innovación en las fases de la manufactura es un desafío. Tomando como ejemplo diversos referentes y el fortalecimiento de las alianzas científico-técnicas nacionales, se ha alcanzado la implementación exitosa

de nuevas tecnologías, especialmente en los procesos de soldadura para GM Colmotores.

Aún quedan muchos retos por resolver en cuanto a procesos que deberán ser automatizados para consolidar la sustentabilidad de la operación de GM Colmotores y su integración a los nuevos procesos de estampado con la operación de la planta de Zoficol. El aprendizaje alcanzado con este proyecto será fundamental para los nuevos desarrollos y se seguirá consolidando con el apoyo de personal capacitado y la alianza universidad-empresa, que permitirá la transformación de los procesos de manufactura según las exigencias del mercado y las tecnologías disponibles.

Agradecimientos

La Compañía agradece al Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación (Colciencias) por su apoyo continuo a los proyectos de desarrollo tecnológico, a través de la convocatoria de Beneficios Tributarios. Esta le ha permitido a GM Colmotores generar una fortaleza en el desarrollo de actividades de automatización, que le valieron al equipo TAM (Taller de Automatizaciones de Manufactura) un reconocimiento global por parte del corporativo de GM y le permitieron su posicionamiento con estándares regionales de plantas como GM Brasil.

Referencias

Aslanlar, S., Ogur, A., Ozsarac, U. y Ilhan, E. (2008). Welding time effect on mechanical properties of automotive sheets in electrical resistance spot welding. *Materials and Design*, 29(7), 1427-1431.

Berglunda, A. F., Fässberg, T., Hellman, F., Davidsson, A. y Stahre, J. (2013). Relations between complexity, quality and cognitive automation in mixed-model assembly. *Journal of Manufacturing Systems*, 33(3), 49-455.

- Córdoba, E. (2006). Manufactura y automatización. *Revista Ingeniería e Investigación*, 26(3), 120-128.
- Chou, W., You, L. y Wang, T. (2006). Automatic path planning for welding robot based on reconstructed surface model. *Robotic Welding, Intelligence and Automation*, 362, 153-161.
- GM Colmotores Medios (2014, 4 de septiembre). Equipo de Manofactura de GM Colmotores recibe reconocimiento global por plan de automatizaciones de bajo costo. Recuperado de <http://media.gm.com/media/co/es/chevrolet/home.detail.html/content/Pages/news/co/es/2014/sept/0904-equipo.html>
- Gu, Z. R., Zue, L. W., Wei, J. H. y You, B. (2000). The working path panning of welding robot of hydraulic turbine runners. *Journal of Harbin University of Science and Technology*, 6.
- Gorlach, I. y Wessel, O. (2008). Optimal level of automation in the automotive. *Engineering Letters*, 16(1).
- Hong, T. S., Ghobakhloo, M. y Khaksar, W. (2014). Robotic welding technology. En S. Hashmi *et al.* (Eds), *Comprehensive Materials Processing* (pp. 10-17). Oxford: Elsevier.
- Kalpakjian, S. y Schmid, S. R. (2002). *Manufactura, ingeniería y tecnología*. Ciudad de México: Pearson.
- Kumar, R. y Garg, R. K. (2010). Optimal selection of robots by using distance based approach method. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 26(5), 500-506.
- Michalos, G., Makris, S., Papakostas, N., Mourtzis, D. y Chryssolouris, G. (2010). Automotive assembly technologies review: challenges and outlook for a flexible and adaptive approach. *Journal of Manufacturing Science and Technology*, 2(2), pp.81-91.
- Pan, Z., Polden, J., Larkin, N. y Van, S. (2012). Recent progress on programming methods for industrial robots. *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, 28 (2), 87-94.
- Rico, M. J., Sánchez, C. M. y Laverde, R. (2012). Sector automotor colombiano: innovar para crecer. *Revista ANDI*, 234, 10-17.
- Rivera, S. (2011). Documento resumen Proyecto de Automatización en Procesos de Pintura y Soldadura. Bogotá: General Motors.
- Sung, B., Kim, I., Xue, Y., Kim, H. y Cha, Y. (2007). Fuzzy regression model to predict the bead geometry in the robotic welding process. *Acta Metallurgica Sinica*, 20(6), 391-397.
- Trnka, K. y Bozek, P. (2013). Optimal motion planning of spot welding robot applications. *Applied Mechanics and Materials*, 248, 589-593.
- Wang, J. H., Xiao, R. H. y Ma, Y. L. (2011). Research on welding robot path panning using ant colony optimization. *Advanced Manufacturing Systems*, 201, 1926-1929.
- Wu, Y. Q., Yuan, Z. H. y Wang, J. H. (2012). A fuzzy controller design of seam tracking for welding robot. En *23rd International Conference on Industrial Electronics, Control and Instrumentation* (pp. 1367-1372). Doi: 10.1109/IECON.1997.668515
- Xu, D., Wang, L. y Tan, M. (2004). Image processing and visual control method for arc welding robot. En *IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO)* (pp. 727-732). Doi: 10.1109/ROBIO.2004.1521871

Yang, X. (2011). Key technology research on the flexible welding line for multi-model automobile. En *Second International Conference on Digital Manufacturing and Automation (ICDMA 2011)*. Doi: 10.1109/ICDMA.2011.169

Yue, H., Li, K., Zhao, H. y Zang, Y (2006). Vision-based pipeline girth-welding robot and image processing of weld seam. *Industrial Robot: An International Journal*, 36(3), 284-289.