

Desarrollo e Implementación de una Celda de Manufactura para Soldadura Robotizada

Ing. Jesus Enrique Ortiz Herrada¹, M.C. Victor Aguilar Orozco²,

Resumen— La manufactura es la transformación de materias primas en productos o bienes de servicio, estos productos transformados suelen ser partes y componentes de un equipo o un producto mayor, llámese como producto mayor una máquina, una línea de producción, un auto, etc. En los procesos de transformación y fabricación ya sean manuales o con procesos automatizados con robots, existe una marcada interrelación con el diseño y las metodologías para su desarrollo, esto es debido a que el diseñador debe cumplir con una serie de condiciones, tales como funcionalidad, resistencia y bajo peso, considerando que el producto resultante deberá obtenerse al menor costo posible. El objetivo es el desarrollo e implementación de una celda de manufactura para soldadura robotizada haciendo uso de metodologías, ya que se tiene como punto de partida la identificación de una necesidad dando paso a la fase de diseño en donde se unifican los detalles generales, esta concentración de ideas ayuda al desarrollo de la ingeniería de realización en donde se elaboran planos de fabricación, diseño de control y simulación, el resultado obtenido de estas fases es un producto acorde a lo conceptualizado inicialmente.

Palabras clave—Metodología, Desarrollo, Diseño, Soldadura, Robot.

Introducción

La palabra manufactura se deriva de las palabras latinas manus (manos) y factus (hacer), es decir, hacer con las manos, a finales del siglo XV y principios del XVI la elaboración de productos dependía completamente de la mano de obra humana, como ejemplo se puede mencionar la elaboración de una prenda, en la cual es necesario seguir una serie de pasos durante la fabricación, los cuales son desde la obtención de las fibras hasta el hilado, estas elaboraciones eran realizadas por personas y herramientas manuales. Derivado de la creciente urbanización y desarrollo económico en Europa a mediados del siglo XVIII, en Inglaterra surge la revolución industrial en donde la metalurgia permite un uso más extenso del hierro, y la energía a vapor se utiliza para impulsar grandes maquinas como la locomotora, la industria textil y la transformación del hierro en acero utilizan máquinas dedicadas y nuevos procesos de fabricación como hornos especiales los cuales ayudan y optimizan la elaboración y la transformación de los materiales haciendo más sencilla su fabricación y reduciendo los tiempos de producción. La revolución industrial no solo se dio en Inglaterra y Europa, los vínculos culturales e históricos de Inglaterra con Estados Unidos facilitan la importación de tecnologías y maquinas a América. A principios del siglo XX en Estados Unidos Henry Ford revoluciona el proceso de fabricación de los automóviles, en donde las operaciones realizadas por personas eran artesanales con herramientas manuales y en donde era común que un grupo de trabajadores realizara el ensamble de un vehículo de inicio a fin. Henry Ford transforma este proceso de fabricación convirtiéndolo a una línea de ensamble continua y en movimiento, con el uso de nuevas herramientas como transportadores y grúas de gravedad facilita el trabajo de los operadores. A partir de esta evolución en el proceso de fabricación realizado en una cadena, se divide el trabajo en tareas y funciones específicas a cada trabajador, la implementación del diseño mecánico desde la concepción de cada elemento hasta las operaciones de ensamble manuales se enfoca en la unión de dos o más partes para formar una nueva entidad, estas entidades formaran por ejemplo un automóvil. La implementación del diseño mecánico como herramienta facilita los trabajos repetitivos en operaciones definidas dando paso a la producción continua, en donde las piezas fabricadas son mejoradas en tamaño, peso, forma y composición facilitando su ensamble. El diseño para el desarrollo de celdas de soldadura como maquinas dedicadas en conjunto con operaciones manuales se vuelve primordial por la interacción entre máquinas y hombre, teniendo como objetivo: operación continua, reducción de tiempos de fabricación, desperdicios y retrabajos.

Los procesos de manufactura y ensamble mejoran con el paso del tiempo, gracias a los avances tecnológicos hacen posible el desarrollo de máquinas como lo son los robots industriales, los cuales en 1948 hacen su primer aparición, su creador George Charles Devol, se interesa especialmente en el diseño de una máquina de fácil manejo en la industria, adaptable a su entorno y que funcione de forma automática, empresas como Chrysler y Ford implementan robots en celdas de manufactura, las cuales cuentan con equipos como PLC (controlador lógico

¹ Jesus Enrique Ortiz Herrada estudiante de posgrado de manufactura avanzada en el CIATEQ, Aguascalientes, Aguascalientes.
enrique.herrada@hotmail.com (autor corresponsal)

² El M.C Victor Aguilar Orozco es Investigador en sistemas mecatrónicos en el CIATEQ de Querétaro, México
victor.aguilar@ciateq.mx

programable), indicadores luminosos, fuentes de soldadura, reja de seguridad, estas celdas de manufactura realizan trabajos peligrosos o desgastantes físicamente para las personas.

Una de las tareas más comunes que una celda de soldadura robotizada puede realizar hoy en día en el sector automotriz y agrícola es la soldadura, estas celdas de soldadura están conformadas por: robot o robots, antorcha de soldadura, fuente de soldadura, equipos de control y seguridad como puede ser un PLC (controlador lógico programable), la integración de estos elementos conforman una celda de manufactura, la cual es utilizada en la fabricación de diferentes partes para formar un producto, algunos ejemplos son: ejes automotrices, escapes para automóviles o camiones, cabinas y piezas de tractores.

Al utilizar celdas de manufactura robotizadas en la soldadura de piezas metálicas se obtienen resultados como: reducción de tiempos y costos de fabricación al ser un proceso controlado y repetitivo, las piezas o productos fabricados en la misma celda de manufactura son prácticamente idénticos evitando retrabajos, cuando no es así es señal de que algo está mal en el proceso. Para el desarrollo y fabricación de una celda de manufactura robotizada es posible la implementación de metodologías de diseño las cuales clarifican y determinan tareas en sus diferentes etapas, aportan un mecanismo sistemático a base de procedimientos y pasos a seguir con la finalidad de desarrollar una celda funcional y acorde al diseño previamente conceptualizado.

Algunas de las metodologías de diseño más utilizadas son: VDI 2221 (norma desarrollada por ingenieros alemanes), Ullman & Jones, Pahl & Beitz, debido a que están constituidas para seguir una serie de pasos durante su desarrollo e implementación.

Descripción del Método

La fabricación en línea de productos ya sea para la industria farmacéutica, agrícola o automotriz ha llevado a las empresas a la utilización de máquinas dedicadas, como ejemplo no es posible que una máquina que ha sido diseñada y construida para el manejo y empaque de medicinas se utilice para soldar componentes de la cabina de un tractor, esto se debe principalmente a las diferencias que existen de los elementos que las conforman ya que puede ser desde una herramienta accionada por vacío o una antorcha de soldadura. Las máquinas dedicadas conforman celdas de manufactura para la unión de 2 o más piezas ya sea por un proceso de ensamble físico por tornillos, pegamentos o por la unión con soldadura, dichos procesos transforman las características de tamaño, apariencia física, y peso formando un nuevo producto, hoy en día las celdas de manufactura aportan una solución a las problemáticas existentes en los procesos de fabricación en serie como lo son: retrabajos, generación de desperdicios, tiempos excesivos de producción y por ende retrasos en las entregas.

Para el desarrollo de una celda de manufactura es importante la estructuración de ideas, siendo posible la utilización de metodologías las cuales a partir del reconocimiento de una necesidad como en este caso lo es el desarrollo e implementación de una celda de manufactura para soldadura robotizada, la cual tiene como punto de partida la fase de diseño en donde se unifican los detalles generales del producto, esta concentración de ideas da paso al desarrollo de la ingeniería de realización en donde se elaboran planos de fabricación, diseño de control y simulación, el resultado obtenido de estas fases es un producto acorde a lo conceptualizado inicialmente. Las metodologías permiten trabajar de una manera ordenada, el diseñador o diseñadores analizan e identifican áreas de mejora, logrando soluciones pensadas y no diseños de casualidad, algunas de estas metodologías son: VDI 2221 desarrollada por ingenieros alemanes la cual se divide en cuatro fases y tiene como principal directriz el diseño, David G. Ullman se enfoca en el tiempo de vida de un producto y su seguimiento es secuencial, una de las metodologías más utilizadas es la de los autores Pahl & Beitz ya que proponen que el diseño se ejecute de forma progresiva siguiendo cada uno de los pasos que la conforman pero realizando iteraciones entre sus distintas fases, los autores basaron los modelos en su experiencia y la observación de diseñadores profesionales, incluyendo el modelo VDI 2221. Las metodologías en el desarrollo e implementación de una celda de manufactura robotizada se describen como:

Metodologías de diseño

El modelo de David G. Ullman se enfoca en el tiempo de vida de un producto durante las actividades de diseño, las ideas se desarrollan de manera secuencial, ya sea que el modelo diseñado sea una estantería o una estación espacial, es el resultado de un proceso que combina personas y sus conocimientos, herramientas y habilidades para desarrollar una nueva creación. Este modelo se caracteriza por 5 etapas: Identificación de necesidades, elaboración de plan para el proceso de diseño, desarrollo de requisitos de ingeniería, desarrollo de conceptos y desarrollo del producto.

La guía VDI2222 define un enfoque y método individual para el diseño conceptual de productos técnicos, como ejemplo es particularmente adecuado para el desarrollo de teléfonos celulares, televisores, etc. La guía más reciente es la VDI221, propone un enfoque genérico para el diseño de sistemas y productos, enfatizando el acercamiento en los campos de la ingeniería mecánica, de precisión, control, software y procesos de ingeniería los

cuales abarcan la planificación y concepción de un proyecto, el objetivo de esta guía es proponer una metodología general para el diseño de sistemas y productos técnicos, generar un método sistemático con el fin de producir un estilo de trabajo eficiente. La directriz aborda el contenido y los aspectos organizativos del diseño (Pahl, 2003). Se basa en la ingeniería de sistemas y la resolución de problemas, un aspecto principal de la misma es el procesamiento integral de datos y la aplicación de CAD (diseño asistido por computadora). La guía VDI se conforma por 4 fases principales: Definición del producto, diseño conceptual, diseño de materialización, diseño de detalle.

La tarea principal de los ingenieros es aplicar sus conocimientos científicos y de ingeniería a la solución de problemas técnicos, posteriormente se optimizan esas soluciones dentro de los requisitos y limitaciones que imponen las normas en materiales, tecnología a utilizar, consideraciones legales, ambientales y relacionadas con el ser humano, así como las limitaciones económicas que llegaran a existir. Los problemas se vuelven concretos, tareas que después los ingenieros tienen que resolver para crear nuevas técnicas de fabricación se aclaran y definen los productos. El modelo VDI2221 es la base de la metodología Pahl & Beitz la cual de igual manera consta de 4 fases de diseño: Identificación de necesidades, diseño conceptual, diseño de realización, desarrollo de conceptos y producto.

Las etapas de las metodologías antes mencionadas se representan en el cuadro 1. La metodología Pahl & Beitz y el modelo VDI2221 presentan similitudes entre ellas, la actividad de clarificar y definir tareas en la primera fase la consideran ambas metodologías, solo que la metodología Pahl & Beitz se inclina por la identificación de necesidades.

| FASES | METODOLOGÍAS | | |
|--|------------------------|---------|--------------|
| | Modelo David G. Ullman | VDI2221 | Pahl & Beitz |
| Identificación de necesidades | X | | X |
| Definición del producto | | X | |
| Elaboración de plan para diseño | X | | |
| Diseño conceptual | X | X | X |
| Desarrollo de Ingeniería (realización) | X | X | X |
| Desarrollo de conceptos y producto | X | X | X |

Cuadro 1. Similitud entre metodologías de diseño.

De las metodologías antes mencionadas la más apropiada para este desarrollo es Pahl & Beitz ya que tiene una fuerte influencia de la metodología VDI2221, en su fase inicial identifica necesidades como lo es la implementación y fabricación de una celda de soldadura robotizada la cual tiene como objetivo la unión 2 o más materiales principalmente de acero, su procedimiento de manera secuencial permite iteraciones entre cada una de sus etapas haciendo posible la adecuación y en caso de ser necesario el rediseño, haciendo uso de la metodología se tiene lo siguiente:

Identificación de necesidades (clarificar y definir tareas)

En esta fase se especifican los requerimientos del producto a diseñar. Como punto de partida se tiene la necesidad de desarrollar e implementar una celda robotizada para soldadura la cual tiene que cumplir con las siguientes características y elementos generales: Gabinete de control con un PLC (controlador lógico programable), implementación de estación de operador y una pantalla para la operación, implementación de 2 robots industriales para soldadura, Implementación de una mesa giratoria en donde sea posible instalar un herramental, considerar diseño modular para el intercambio o reemplazo de componentes, como restricción el tamaño de la celda no debe ser mayor a $36m^2$.

Diseño conceptual

Esta fase concentra los requerimientos del producto a diseñar, tiene como objetivo identificar los principios básicos y el esquema de una solución, estableciendo la función de estructuras basadas en los problemas, buscando soluciones.

El diseño conceptual se divide en módulos realizables considerando objetos y sistemas de naturaleza mecánica y de control: piezas, estructuras, mecanismo, máquinas y dispositivos e instrumentos diversos.

El proceso total de diseño es desde que empieza hasta que termina, como resultado de las iteraciones en el proceso se finaliza con la presentación de los planes para satisfacer la necesidad previamente identificada. Se obtienen dimensiones no definitivas de la celda robotizada de soldadura, equipos y materiales a utilizar.

El diseño concepto de la celda considera dos fuentes de soldadura MIG/MAG (gas de protección), 2 Robots de 6 ejes de libertad con antorcha de soldadura y estaciones de limpieza, la mesa giratoria es de 3 ejes de libertad con capacidad de carga de 755 Kg y una distancia de 3000mm para la instalación de herramientas.

Para la operación de la celda se define la implementación de un PLC (controlador lógico programable) y de una HMI (interfaz hombre maquina) conectadas por una red industrial profinet, la cual tiene la capacidad de controlar módulos de entradas y salidas digitales para el accionamiento de las válvulas de los herramientas. Para el monitoreo

de la celda se seleccionan sensores con protección para campos electromagnéticos, para las seguridades se define la implementación de un Interlock para la puerta de acceso y cortinas de luz en la estación de operación.

Diseño de realización

La fase de realización obtiene la información del diseño conceptual, la división de módulos realizables se desarrolla obteniendo puntos clave para completar el diseño, incluye la determinación de formas y diseño a detalle del concepto seleccionado. Una vez definidos los equipos a utilizar, el diseño tiene como consideraciones: optimización de los espacios de trabajo, diseño modular considerando plataformas para el transporte de los equipos, garantizar los espacios necesarios para los suministros como lo son el alambre de soldadura y el gas de protección, equipos de seguridad necesarios para la correcta operación, ubicación del gabinete de control y de servicios como aire y energía eléctrica. En el diseño de realización se desarrollan los planos de fabricación correspondientes al diseño mecánico, se definen ingenierías de control y queda concluido el prototipo 3D realizando la validación de las posibles interferencias mecánicas de las trayectorias del robot, esto realizado en software de simulación motosim.

Se desarrolla la ingeniería de control y mecánica de detalle considerando cada uno de sus componentes para posteriormente realizar la fabricación, se seleccionan y adquieren de materiales. En esta etapa se desarrollan los programas de PLC, HMI y de robot, para una implementación exitosa se realiza el programa tomando como base el diagrama de Petri lo cual garantiza una correcta secuencia de operación en cada uno de los pasos a ejecutar durante la operación.

Las actividades realizadas se presentan de manera general en la Figura 1. Cada una de estas tareas tiene objetivos específicos por cada fase, el trabajo es llevado a cabo de acuerdo con el plan y en la secuencia propuesta, este cronograma tiene como características: tiempo de desarrollo, ruta crítica del proyecto, etapas de iteración correspondientes a la metodología de diseño.



Figura 1. Cronología de actividades.

Desarrollo de conceptos y producto

En esta etapa se lleva a cabo la construcción del producto, que en este caso es la celda de manufactura para soldadura robotizada. Los recursos utilizados son: materias primas como aceros al carbón, insumos para el proceso de soldadura (micro alambre, puntas de contacto, gas de protección), mano de obra para la integración de los elementos que la conforman con ayuda de los documentos previamente realizados para la planificación de procesos de producción/construcción. Se lleva a cabo la fabricación con proveedores locales fomentando el desarrollo económico y social de la zona centro bajo de México, incrementando la competitividad de la región al desarrollar y construir maquinas dedicadas.

Posterior a la fabricación de los diferentes componentes mecánicos y al armado de los gabinetes de control se lleva a cabo la integración. El proceso de ensamble hace uso de la documentación generada en la etapa de diseño de realización como son planos mecánicos y diagramas de conexión.

Las pruebas y actividades realizadas al conjunto de elementos que integran la celda incluyen el energizado de los gabinetes de control, carga de programas de PLC, HMI y Robot previamente elaborados, pruebas de soldadura y pruebas de ciclo continuo por 72 horas simulando la operación.

El producto obtenido es una celda de manufactura en donde sus elementos principales son 2 robots, 2 fuentes de soldadura, 1 mesa giratoria, y 1 gabinete de control.

Comentarios Finales

La implementación de metodologías en el desarrollo de una celda de manufactura para soldadura robotizada facilita los procesos de diseño, fabricación y documentación, siguiendo de manera lineal la metodología Pahl & Beitz y la iteración entre cada una de sus fases se obtiene ingeniería modular la cual permite adaptar la celda a otros procesos de fabricación como: soldadura laser, corte laser, corte plasma.

Resumen de resultados

Se obtienen los programas base de los Robots para la soldadura, ver Figura 2.

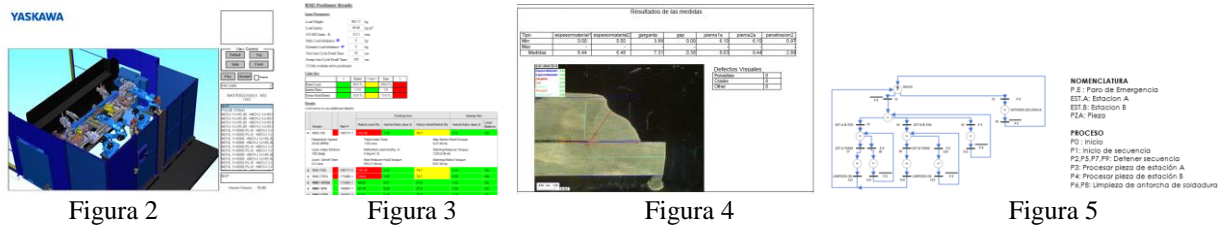
El peso inicial de los instrumentales para la soldadura fue de 863.21 kg, los resultados obtenidos de la simulación de inercias y cargas de la mesa giratoria de 3 ejes sugiere un peso máximo de 745 Kg, ver Figura 3.

Utilizando el proceso PMC (“pulse multi control) de la fuente de soldadura Fronius se obtiene en el resultado de la macrografía una penetración de 2.89mm, el material es acero al carbón con un espesor de 6.48mm, ver Figura 4.

El diagrama de Petri obtenido para la programación del PLC garantiza el correcto funcionamiento del equipo, ya que su programación por secuencia está condicionada y no permite alteraciones durante su ejecución, ver Figura 5.

El tamaño de la celda es de 4.8m por 5.8m, teniendo 3m de longitud para la instalación de una herramienta de proceso, ver Figura 2.

El diseño, desarrollo y fabricación de la celda de soldadura robotizada se realizó en 42 semanas, ver Figura 1.



Conclusiones

Es posible el diseño y fabricación de una celda de soldadura robotizada implementado la metodología Pahl & Beitz.

El realizar un diseño 3D y posterior mente analizar el modelo en un software de simulación, ayuda a la identificación de interferencias mecánicas, problemas de funcionamiento, análisis de resistencia mecánica, y por ende reduce costos de fabricación.

En comparación con otros productos similares en el mercado, el diseño modular representa una ventaja por la flexibilidad que existe para el cambio de elementos y componentes.

Recomendaciones

La celda de manufactura robotizada cuenta con un PLC, esta celda se puede desarrollar para llevar un control de producción y del proceso con industria 4.0.

Su diseño está enfocado en el proceso de soldadura, es posible utilizar el mismo diseño modular para aplicaciones de corte o soldadura laser modificando sus paneles de protección.

Por su diseño modular es posible agregar un robot adicional como mejora para acelerar los tiempos de fabricación.

Referencias

- G. Ullman, D. “The mechanical design process (Fourth Edition)”, McGraw-Hill, 2010.
- G.Pahl, W.Beitz, J.Feldhusen, K.H. Grote “Engineering Design (Third Edition)”, Springer, 2007
- Groover, M. P. “Fundamentos de manufactura moderna (Tercera edición ed.)”, McGraw-Hill, 2007.
- Keith Dinwiddie. “Basic Robotics”, Cengage Learning, 2016.
- Mittal, Nagrath, “Robotics and Control”, McGraw-Hill, 2013.
- Laura L. Frader, “La Revolución Industrial: Una historia en documentos”, Editorial de la Universidad de Oxford,2006.
- Robert C. Allen, “La Revolución Industrial Británica desde una Perspectiva Global”, Editorial de la Universidad de Cambridge, 2009.
- Veronique Van Driessche “Henry Ford, El automóvil al alcance de todos”, 20017.
- Cross, Nigel. “Engineering Design Methods:Strategies for Product Design”, 2005.

Notas Biográficas

El **Ing. Jesus Enrique Ortiz Herrada** es actualmente estudiante de maestría en el CIATEQ cede Aguascalientes. El Ingeniero tiene licenciatura en Ingeniería Mecatrónica por la Universidad Politécnica de Aguascalientes (UPA), en Aguascalientes, México.

El **M.C. Victor Aguilar Orozco** es Investigador en sistemas mecatrónicos en el CIATEQ cede Querétaro, México. El M.C tiene licenciatura en Ingeniería Electrónica por el Instituto Tecnológico de Morelia, en Morelia, México.