

Design of a semi-automated rotary machine for the pipe welding process in the metal-mechanical sector

Carla M. Cerón Meza ¹, Alfredo Fuentes Benítez ¹, Cristián A. Lugo Hernández ¹, Ernesto Monroy Cruz , PhD¹, and Rubén Treviño Covarrubias , PhD¹

¹Tecnológico Nacional de México/ Campus Atitalaquia, México, {201150056, 201150058, 201150003, ernesto.mz, ruben.tc}@atitalaquia.tecnm.mx

Abstract- This work presents the design proposal of a configurable semi-automated welding machine for pipes of different diameters ranging from 12.7 mm to 203.2 mm and lengths from 0.3 m to 6.5 m. The design was carried out in different stages, from the collection of requirements through empirical and documentary information that allows the process to adapt to the needs, to the development machine design in CAD that enables the visualization of each of the components, both fixed and mobile, as well as their integration in the assembly. This proposal pretends to obtain improvements in the pipe welding process in industries of the metal-mechanical sector.

Keywords—Semi automation, Welding table, Design, Metal-mechanical industry.

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

Diseño de una máquina rotativa semi automatizada para el proceso de soldadura de tubería en el sector metal-mecánico

Carla M. Cerón Meza ¹, Alfredo Fuentes Benítez ¹, Cristián A. Lugo Hernández ¹, Ernesto Monroy Cruz , PhD¹, Rubén Treviño Covarrubias , PhD¹

¹Tecnológico Nacional de México/ Campus Atitalaquia, México, {201150056, 201150003, ernesto.mz, ruben.tc}@atitalaquia.tecnm.mx

Resumen— El presente trabajo muestra la propuesta de diseño de una máquina de soldadura semi automatizada configurable para tuberías de distintos diámetros que van de 12.7 mm a 203.2 mm y de longitudes de 0.3 m a 6.5 m. El diseño se realizó en diferentes etapas, desde la recolección de requerimientos mediante información empírica y documental que permita que el sistema se adecue a las necesidades, hasta el desarrollo del diseño de la máquina en CAD que permite la visualización de cada uno de los componentes, tanto fijos como móviles, así como su integración en el ensamble. Esta propuesta pretende obtener mejoras en el proceso de soldadura de tubería en la industria del sector metal-mecánico.

Palabras Clave—Semi automatización, Mesa de soldadura, Diseño, Industria metal-mecánica.

I. INTRODUCCIÓN

En el dinámico entorno de la industria metal-mecánica, la constante búsqueda de innovación y eficiencia es esencial para mantener la competitividad y satisfacer las crecientes demandas del mercado. En dicho sector, la soldadura de tubería de diversos diámetros es una parte fundamental de las operaciones, y se reconoce la importancia de optimizar este proceso para impulsar la calidad, la eficiencia y la rentabilidad.

Debido a los riesgos de la soldadura manual y a los esfuerzos de aumentar la productividad y mejorar la calidad de los productos, se han creado diversas formas de mecanización y automatización del proceso de soldadura. Las alternativas reportadas en la literatura incluyen la soldadura con máquina, la soldadura automática y la soldadura robotizada [1].

La aplicación de soldadura con máquina se refiere al proceso mecanizado con equipo, que realiza la operación bajo la supervisión continua de un operador, siendo considerada como manual. Esta alternativa se realiza mediante una cabeza para soldadura que se mueve por medios mecánicos en relación con el trabajo estacionario, o moviendo el trabajo en relación con la cabeza de soldadura estacionaria. El trabajador humano observa continuamente e interactúa con el equipo para controlar la operación. Por otro lado, si el equipo es capaz de realizar la operación sin el ajuste de los controles por parte de un operador humano, se denomina soldadura automática, como el trabajo reportado en [2]. Aquí, un trabajador casi siempre está presente para vigilar el proceso y detectar variaciones de las condiciones normales. Lo que distingue la soldadura automática de la manual es un controlador del ciclo de soldadura para regular el

movimiento del arco eléctrico y la posición de la pieza de trabajo sin atención humana continua. La soldadura automática requiere un sujetador o un posicionador de soldadura para colocar el trabajo en relación con la cabeza de soldadura. De igual forma, necesita un mayor grado de consistencia y precisión en los componentes usados en el proceso. Por estas razones, la soldadura automática se justifica cuando se requiere producción continua [3]. Por último, en [4] se describe la soldadura robotizada, donde se usa un robot industrial o un manipulador programable que controla en forma automática el movimiento de la cabeza para soldar con respecto al trabajo. El alcance versátil del brazo del robot permite el uso de sujetadores relativamente simples, y la capacidad del robot para reprogramarse con nuevas configuraciones de las piezas permite que esta forma de automatización se justifique para cantidades de producción relativamente bajas con un costo de inversión elevado.

Ante las características descritas en los trabajos relacionados, este artículo se enfoca en proponer el diseño de una máquina bajo la siguiente pregunta de investigación: *¿Cómo diseñar una mesa rotativa semi automatizada para soldadura de tubería en el sector metal-mecánico?*

El resto del documento está organizado de la siguiente forma, en la Sección II se presenta el marco teórico que sustenta la investigación. La Sección III describe las etapas del diseño de la propuesta. La Sección IV aborda los resultados obtenidos respecto a las características planteadas de la solución propuesta. Finalmente, la Sección V indica la conclusión a la que se llega, así como los trabajos a futuro del proyecto.

II. MARCO TEÓRICO

Toda empresa industrial busca la eficiencia económica y productiva para ser sostenible en el mundo actual, lo que ha originado que los procesos de manufactura evolucionen hacia la denominada cuarta revolución industrial o industria 4.0 (I4.0) [5], [6].

En la I4.0 se busca lograr la interconexión de los sistemas productivos industriales con la sociedad digital para satisfacer las demandas de consumo de las personas, a un nivel acelerado de extracción y procesamiento de las materias primas de la tierra, utilizando tecnologías como big data, comunicación de la nube, robótica avanzada, inteligencia artificial, blockchain,

internet de las cosas, impresión 3D, sistemas ciber físicos, ciberseguridad, realidad aumentada, automatización industrial, entre otras, todo esto mediante estrategias innovadoras, sistemas creativos, eficientes y automáticos que logren minimizar el impacto ambiental en beneficio de la sostenibilidad económica y ambiental del planeta [7].

Ante este escenario, la automatización es vista como la ciencia y técnica que agrupa el conjunto de las disciplinas teóricas y tecnológicas que intervienen en la concepción, la construcción y el empleo de los sistemas automáticos vitales en los procesos de manufactura actuales [8].

A. Soldadura como proceso de manufactura

Los procesos de manufactura se dividen en dos tipos básicos: 1) las operaciones del proceso, y 2) las del ensamble. Por un lado, una operación del proceso hace que un material de trabajo pase de un estado de acabado a otro más avanzado que está más cerca del producto final que se desea. Por otro lado, una operación de ensamble une dos o más componentes a fin de crear una entidad nueva, llamada ensamble, subensamble o algún otro término que se refiera al proceso de unión, por ejemplo, un ensamble soldado se denomina soldadura.

La soldadura es un proceso de unión de materiales en el cual se funden las superficies de contacto de dos o más piezas mediante la aplicación conveniente de calor y/o presión. Muchos procesos de soldadura se obtienen solamente por calor, sin aplicar presión; otros mediante una combinación de calor y presión; y otros más, únicamente por presión, sin suministrar calor externo. En algunos procesos de soldadura se agrega un material de relleno para facilitar la fusión. El ensamble de partes que se unen mediante soldadura se denomina ensamble soldado. La soldadura por lo regular se asocia con piezas metálicas como las tuberías del sector metal-mecánico [1].

De acuerdo a Groover los procesos de soldadura pueden dividirse en dos grupos principales y a su vez en subcategorías: 1) *Soldadura por fusión*: Soldadura con arco, Soldadura por resistencia, Soldadura con oxígeno y gas combustible, y 2) *Soldadura de estado sólido*: Soldadura por difusión, Soldadura por fricción, Soldadura ultrasónica [3]. El presente proyecto hace énfasis en la soldadura con arco ya que se usa calor para fundir los metales base y lograr la unión soldada de las tuberías.

La soldadura manual con arco eléctrico la realiza un trabajador calificado, llamado soldador, quien controla manualmente la trayectoria o colocación de la soldadura para unir piezas individuales en una unidad más grande. En las operaciones de fábrica donde se realiza la soldadura con arco en forma manual, con frecuencia el soldador trabaja con un segundo trabajador, llamado ajustador. El trabajo del ajustador es ordenar los componentes individuales para el soldador antes de practicar la soldadura. Se usan sujetadores y posicionadores de soldadura para ayudar en esta función. Un sujetador de soldadura es un dispositivo para asegurar y sostener los componentes en una posición fija para la soldadura. Un posicionador de soldadura es un dispositivo que sostiene las

piezas y también mueve el ensamble a la posición deseada para soldar. La diferencia entre este dispositivo y un sujetador de soldadura es que sostiene las piezas en una sola posición fija. Por lo general, la posición deseada es aquella en la que la trayectoria de soldadura es plana y horizontal [1].

B. La soldadura como una operación comercial

Las principales aplicaciones de la soldadura son: 1) la construcción, por ejemplo, edificios y puentes; 2) la producción de tuberías, recipientes a presión, calderas y tanques de almacenamiento; 3) la construcción naval; 4) las industrias aeronáutica y espacial; y 5) los automóviles y los ferrocarriles [6]. Debido a su versatilidad como técnica de ensamble para productos comerciales, muchas operaciones de soldadura se ejecutan en fábricas. Sin embargo, varios de los procesos de soldadura tradicionales, tales como la soldadura con arco eléctrico y la soldadura con oxígeno y gas combustible, emplean equipo que se mueve con facilidad, por lo que estas operaciones no se limitan a la fábrica. Pueden realizarse en lugares de construcción, pequeñas y medianas empresas, en las instalaciones de un cliente y en talleres de reparaciones diversas [1]. Así, aunque la soldadura es muy aplicada en la actualidad como proceso de manufactura y operación comercial, tiene ciertas limitaciones y desventajas:

- La mayoría de las operaciones de soldadura se realizan en forma manual y son caras en términos de costo de mano de obra.
- La mayoría de los procesos de soldadura son inherentemente peligrosos debido a que implican el uso de mucha energía.
- Como la soldadura logra la unión permanente entre los componentes, no permite un desensamble adecuado.
- La unión soldada de forma manual puede tener ciertos defectos de calidad que son difíciles de detectar y que pueden reducir la resistencia de la unión.

De acuerdo a las limitaciones antes descritas, el presente documento describe la propuesta de una máquina rotativa semi automatizada para la soldadura en el sector metal-mecánico capaz de adaptarse para distintos diámetros y longitudes de tubería, con la finalidad de mejorar el tiempo y la calidad del proceso.

III. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

Debido a la diversidad de operaciones de soldadura que requiere el sector metal-mecánico, el artículo aborda específicamente el diseño de la máquina semi automatizada para soldadura en los casos de uniones de tuberías de mismo diámetro y uniones de brida con tubo. Para el desarrollo de la propuesta se llevaron a cabo una serie de etapas, ver Fig. 1. Esta metodología abarca desde la identificación de la necesidad hasta la obtención del modelo de la propuesta. En este apartado se describen cada una de las fases realizadas.



Fig 1. Proceso de diseño de la máquina semi automatizada para el proceso de soldadura.

A. Identificación de necesidad

En este primer paso, se analiza el problema y se establecen los requisitos de la máquina. Estos datos se recopilan con base en las necesidades de empresas del giro metal-mecánico que brindan servicios al sector industrial con la fabricación de estructuras metálicas y que están ubicadas en la región de Atitalaquia, Hidalgo en México. Durante el análisis del proceso se observa que los soldadores encargados de esta labor utilizan un proceso de soldadura manual que implica una serie de desafíos: los operarios deben manipular manualmente las piezas a soldar, ver Fig. 2, lo que puede ocasionar deficiencias en la alineación y una mala condición en la soldadura. Además, el proceso manual es propenso a la fatiga del operario, lo que puede afectar la productividad y la calidad de la soldadura.



Fig 2. Unión mediante soldadura manual de tubería del mismo diámetro y unión de tubería con brida.

La evidente necesidad de mejorar los procesos de soldadura en las empresas del sector metal-mecánico para mejorar los tiempos y la calidad del proceso de unión de tuberías de longitudes y diámetros diversos mediante soldadura, implica que el diseño final de la máquina deba mostrar características de adaptabilidad para la sujeción de tubos de distintos diámetros y longitudes. Además, debe permitir la selección de velocidad de giro del tubo a soldar de acuerdo a su diámetro.

B. Planteamiento de objetivos

Una vez comprendida la necesidad, la siguiente fase es replantear los pasos necesarios para lograr un buen resultado. Para el proyecto se definen tres objetivos: En primer lugar, emprender la tarea de precisar las especificaciones necesarias para la máquina en cuestión, identificando los requisitos clave que deben cumplirse para garantizar un funcionamiento óptimo (*Etapa C*). Posteriormente, proponer diversas alternativas, analizando exhaustivamente cada una de ellas y sometiéndolas a un proceso de evaluación basado en criterios predefinidos por parte de especialistas (*Etapa D y E*). Una vez seleccionada la propuesta más viable, se procede a desarrollar el diseño detallado de la mesa de soldadura, asegurándose que satisfaga plenamente las necesidades particulares identificadas, tanto en términos de funcionalidad como de eficiencia operativa (*Etapa F*).

C. Especificaciones de desempeño

En este conjunto de especificaciones se define lo que el sistema de soldadura semi automático debe realizar. Los requerimientos establecidos son los siguientes:

- I. El dispositivo debe sujetar tubería de diámetros desde 12.7 mm hasta 203.2 mm
- II. El dispositivo debe ser configurable para longitudes de tubería desde 0.3 m hasta 6.5 m.
- III. El dispositivo debe permitir configurar la velocidad de giro entre un rango de 1 a 20 rpm.
- IV. El sistema debe soportar ambientes industriales y estar a la intemperie.

D. Propuestas

En esta etapa se generan alternativas de solución mediante una lluvia de ideas. De las opciones se eligieron únicamente tres alternativas para ser evaluadas en la siguiente fase. En la Tabla I se observan las opciones planteadas para el sistema de soldadura. La opción número uno consiste en una estación de soldadura en la que un disco portador sujeta la tubería, cuenta con unos soportes para la unión de distintas longitudes de tubería. En la opción dos, el posicionador de soldadura puede sujetar la pieza de trabajo para soldadura manual y también se puede utilizar con máquina de operación para lograr soldadura automática. Por último, la opción tres es multi funcional, debido a que permite realizar todo tipo de trabajos: soldadura, corte, taladrado, etc., de manera que se tiene una mesa sobre la que se colocan topes, escuadras, soportes y amarres.

Tabla I. PROPUESTAS DE DISEÑO, (ELABORACIÓN PROPIA, 2024).

No.	IMAGEN	DESCRIPCIÓN
1		Estación de soldadura con rodillos que permiten la unión de tubería de distintos tamaños.
2		Mesa de soldadura rotativa que permite soldar tubería en diversas posiciones.
3		Mesa para trabajos de soldadura, corte y taladrado; útil para una variedad de proyectos.

E. Análisis y selección

En esta fase se efectúa un análisis comparativo de las tres alternativas de diseño a través de una matriz de decisión que ayuda a identificar la mejor solución al considerar diversos factores de manera sistemática [9]. En la Tabla II se observa la matriz de decisión obtenida con base en la experiencia de ingenieros especialistas en los procesos de soldadura de empresas a fines al área de interés. Quienes proponen cuatro criterios de evaluación con diferente factor de ponderación: costo (0.3), seguridad (0.2), desempeño (0.35) y confiabilidad (0.15). Posteriormente, evalúan los criterios de los diseños en escala del 1 al 10. Esta calificación es multiplicada por el factor

de ponderación correspondiente. Finalmente, se suman los productos y se obtiene el resultado final de cada propuesta.

Tabla II. MATRIZ DE DECISIÓN PARA LAS PROPUESTAS DE DISEÑO (ELABORACIÓN PROPIA, 2024).

	COSTO	SEGURIDAD	DESEMPEÑO	CONFIABILIDAD	RESULTADO
FACTOR DE PONDERACIÓN	0.30	0.20	0.35	0.15	
PROPUESTA No.	CALIFICACIÓN * FACTOR DE PONDERACIÓN	SUMA DE LOS PRODUCTOS			
PROPUESTA 1	6 1.8	9 1.8	8 2.8	8 1.2	7.6
PROPUESTA 2	7 2.1	5 1.0	4 1.4	6 0.9	5.4
PROPUESTA 3	5 1.5	8 1.6	3 1.05	4 0.6	4.75

De acuerdo a los resultados que se obtuvieron en la matriz de decisión, se considera como la mejor alternativa de diseño la propuesta número uno, al considerar la sujeción de tubería de diversos diámetros y longitudes. En contra parte, la propuesta número dos resulta limitada debido a que no cuenta con soporte horizontal para el largo de la tubería, en ese caso, la opción es orientar la mesa de manera que el tubo quede de forma vertical, sin embargo, el no contar con soportes para el tubo de esta forma podría dificultar o impedir el proceso de soldadura, además, parece ser una condición de inseguridad para el operador. De igual forma, la propuesta número tres resulta poco factible por la baja funcionalidad para la actividad requerida. El siguiente apartado detalla el diseño de la propuesta seleccionada.

F. Diseño detallado

Esta etapa consiste en el uso de software de dibujo asistido por computadora para la creación virtual de cada componente del sistema, así como el ensamble detallado. Para el proyecto se utilizó *SolidWorks 2020*. De acuerdo a los requerimientos planteados al inicio y las especificaciones establecidas en la *Etapa C*, el diseño del prototipo está conformado de dos partes

esenciales: mesa de soldadura y sistema de rodillos. A continuación, se detalla la conformación de estas partes:

- a) Mesa de soldadura: consta de una estructura de acero A36, cuya función principal es contener el motorreductor, cuyo eje se acopla a un Chuck enlazado mediante una chumacera, con la finalidad de que el centro del Chuck sujete de un extremo el tubo a soldar o la brida a ensamblar, ver Fig. 3. También contiene el tablero de control eléctrico del sistema.

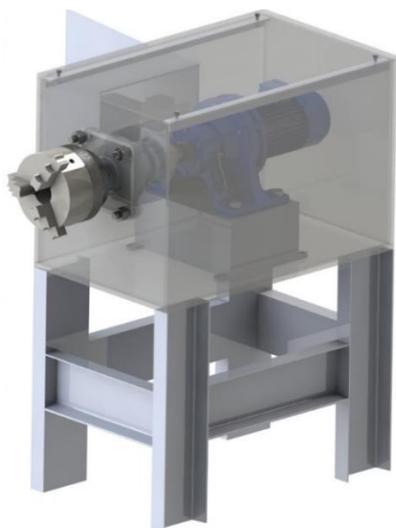


Fig 3. Mesa de soldadura.

En la Fig. 4 se observa el ensamble de los componentes del interior de la mesa, un Chuck de 3 mordazas las cuales se cierran y abren de manera síncrona para obtener una mejor sujeción de los tubos de distintos diámetros, seguido de los platos traseros (contra platos) para un mejor agarre de éste. El Chuck está unido a una flecha junto con el eje del motorreductor trifásico de 1 HP a través de unas bridas de acero para proporcionar un movimiento giratorio horizontal y transmitir un torque uniforme. La flecha está soportada por una chumacera de pared UCF 216 para dar apoyo de rotación al eje.

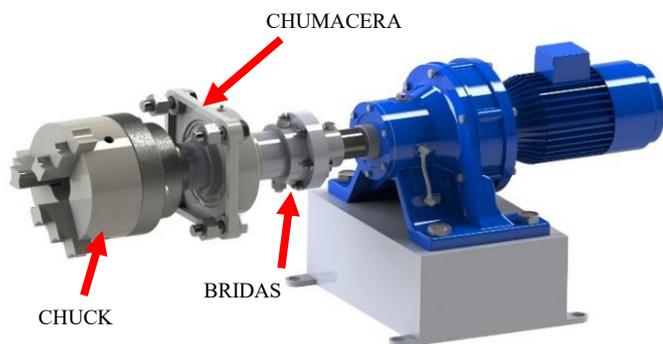


Fig 4. Eje principal de la mesa de soldadura. Compuesto principalmente por un Chuck de 3 mordazas soportado a una chumacera de pared UCF 216, unido a una flecha junto con el eje de un motorreductor trifásico de 1 HP.

Por otra parte, el tablero de control, ver Fig. 5, consta de una base metálica con un grosor de 4.7625 milímetros, en donde se alojan los componentes de control eléctrico: un disyuntor trifásico para la protección contra descargas eléctricas y un variador de frecuencia para regular la velocidad del motorreductor de acuerdo con las necesidades que requiera el usuario. Cabe resaltar que estos componentes eléctricos se soportan sobre un riel DIN.

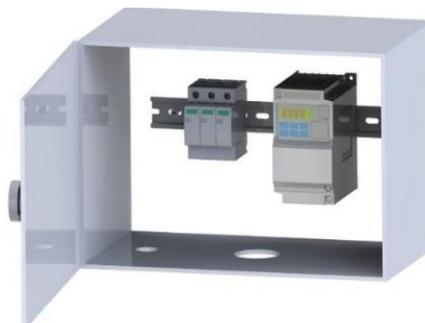


Fig 5. Tablero de control eléctrico. Contiene principalmente un disyuntor trifásico y un variador de frecuencia.

Las piezas mencionadas anteriormente están colocadas en una base metálica cuadrada de acero al carbono A36, esta se soporta en una estructura de vigas de acero tipo canal, resistente a la presión que pueden ejercer los elementos incluidos y que le brinda estabilidad a la estructura.

- b) Rodillos: esta segunda parte primordial del diseño consiste en un sistema de rodillos tipo tijera y unos rieles. Esto es primordial para sostener de forma horizontal el tubo a soldar, de esta manera, se logra flexibilidad en el sistema ya que permite soldar tubería de diversas longitudes. La Fig. 6 presenta una vista del ensamble del sistema de rodillos.



Fig 6. Rodillo montado sobre los rieles.

Los rieles con una dimensión de 6.5 metros de longitud se encargan de dar guía para desplazar y ubicar a determinada distancia a los módulos de tijera, lo que permite ajustarse a la longitud del tubo a soldar.

IV. RESULTADOS

El prototipo virtual de la máquina rotativa semi automatizada para el proceso de soldadura de tubería se ha obtenido como resultado, ver Fig. 8. La estructura robusta y debidamente alineada pretende asegurar la estabilidad del tubo durante el proceso de soldadura, mientras que la disposición de las sujeciones y accesorios pueden facilitar la fijación precisa de las piezas a soldar. Por otro lado, la consideración de rieles para los rodillos permite adaptar el sistema a una variedad de longitudes de tubería, así como el uso del Chuck para la sujeción del tubo o en su caso brida, permite trabajar con variedad de diámetros, logrando así versatilidad y adaptabilidad en el equipo, tal y como se ejemplifica en los casos de la Fig. 9.

De esta forma, se anticipa que el sistema de soldadura contará con características constructivas y operativas específicas. Esto incluye una velocidad de rotación del eje que oscilará entre 1 a 20 revoluciones por minuto (rpm), proporcionando flexibilidad durante el proceso de soldadura. El voltaje eléctrico será de 220 V o 440 V, asegurando opciones adecuadas de alimentación eléctrica. Se empleará acero A36 como material principal, garantizando resistencia y durabilidad. La capacidad máxima de carga será de 300 kg, asegurando la estabilidad durante la operación. Las dimensiones del sistema considerando solo la mesa de soldadura es menor a 1 metro cúbico.

Por lo tanto, esta propuesta se presenta como una idea innovadora y funcional, que podría proporcionar un entorno de trabajo óptimo para los operarios y permita mejoras en función de tiempo y calidad del proceso de soldadura de tubos.



Fig 7. Rodillos tipo tijera.

El diseño del módulo de tijera se muestra en la Fig. 7, su función es sostener en puntos específicos la tubería, permitiendo así un giro limpio y constante con los rodillos de Nylamid® M, capaces de soportar altas temperaturas a las que se verá expuesto durante el proceso de soldadura, además de contar con un mecanismo de tornillo sin fin que permite la apertura o cierre de estas. De acuerdo a las necesidades del operador, la cantidad de módulos puede variar según sean requeridos los puntos de soporte del tubo. Ambas estructuras, los rodillos y los rieles están diseñadas de un acero que soporta cargas máximas de hasta 300 kg.

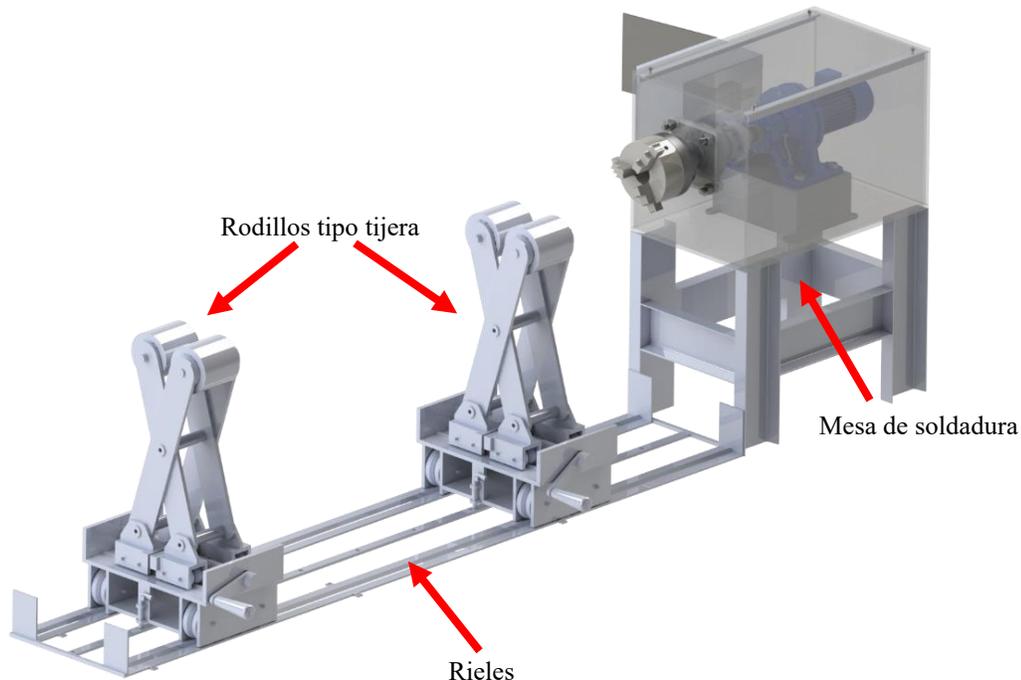


Fig 8. Diseño final del sistema de soldadura propuesto. Con el fin de mejorar la visualización en este documento, se ha reducido la longitud de los rieles en el esquema.

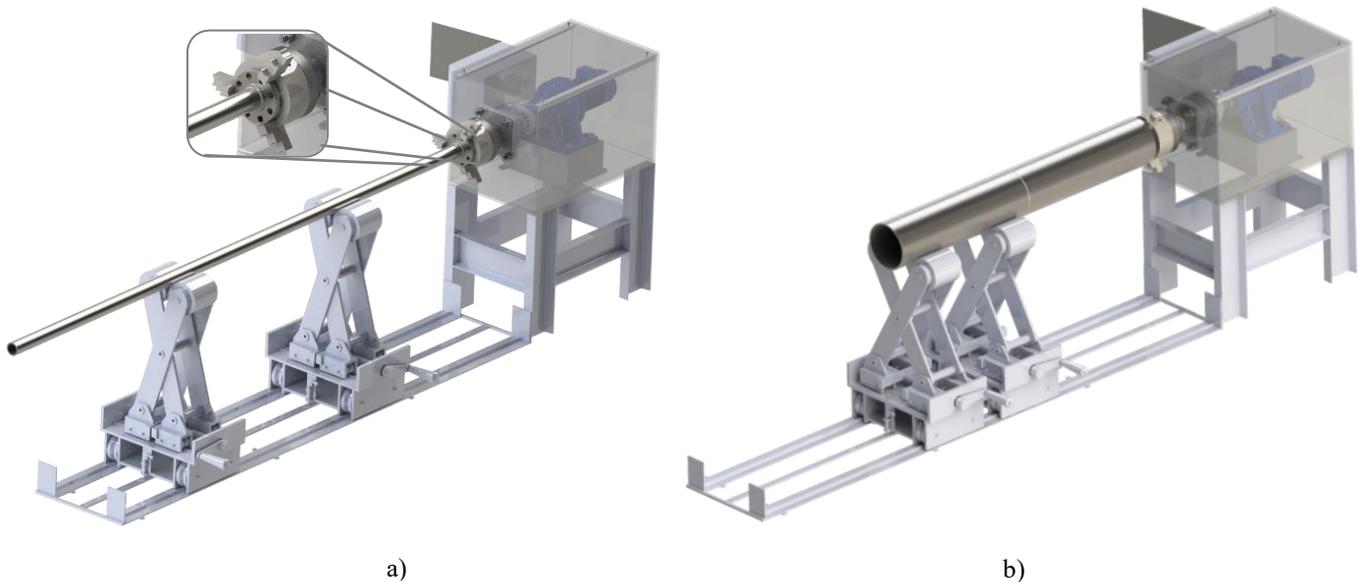


Fig 9. Configuración del sistema de soldadura para diferentes casos: a) Tubo de 64.90 mm de diámetro y 3 m de longitud soldada a una brida, b) Par de tubos de 203.2 mm de diámetro y 0.75 m de longitud soldados entre sí.

V. CONCLUSIONES

El diseño propuesto aspira a cambiar la forma tradicional de soldar en empresas del sector metal-mecánico de la región de Atitalaquia, Hidalgo en México. Se espera que, en la posteridad, con este equipo semi automático la soldadura sea más uniforme, limitando fisuras en la misma, esto es debido a que con soportes rotativos se mantiene firme la tubería y su velocidad de rotación es constante. También, se asimila una disminución en el tiempo de soldadura respecto a la forma manual, además de reducir el número de operarios, justificando con esto el costo beneficio de la máquina. Otro punto importante es la seguridad del personal de operación, al mantener fija la tubería en una mesa para que sea soldada, se disminuye el riesgo de condiciones inseguras.

Por tanto, este diseño de mesa para soldar pretende facilitar la manipulación y soldadura de tubería, cilindros, recipientes, tanques de diferentes dimensiones que van desde 12.7 mm a 203.2 mm de diámetro, realizada en acero al carbono (A36) capaz de cargar hasta 300 kg, con un diseño adaptable. El operador del equipo podrá regular la velocidad a la que gira la pieza de acuerdo al diámetro del tubo a soldar de una manera sencilla y práctica.

Finalmente, la construcción y el inicio operativo de la propuesta descrita es uno de los trabajos a futuro. Para los involucrados en este diseño, queda claro que todo trabajo propuesto es susceptible de mejora, sin embargo, y de acuerdo con los cálculos realizados el sistema sería funcional.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Tecnológico Nacional de México (TecNM) Campus Atitalaquia por el seguimiento y apoyo al proyecto.

REFERENCIAS

- [1] M. Groover, "Fundamentos de Manufactura Moderna", México D.F: McGraw Hill, pp. 691-693, (2007).
- [2] Kamesh S., Karthik M., Kavin Balamurugan D., Naveen P., Mohammed Ariffuddeen M., "360° Welding Cutting Rotary Turntable Welding Positioner", International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), 08(03), pp. 1689–1692, (2021).
- [3] Roxanne Raye, "Economic Analysis and justification for automated welding systems" 2015.
- [4] Toai T.T.; Chu D.H.; My C.A. Development of a new 6 DOFs welding robotic system for a specialized application. BalasV.E.; SolankiV.K.; KumarR. Further advances in internet of things in biomedical and cyber physical systems. Cham: Springer International Publishing, 2021: 135-150.
- [5] E. Monroy Cruz, L. R. García Carrillo, L. A. Cruz Salazar, and B. D. Hernández Rojo, "Comparación de estándares IEC 61131-3 e IEC 61499 para implementar sistemas de control distribuido," presented at the XXVIII Congreso Internacional Anual de la SOMIM, Bogotá, Colombia, Sep. 21-23, 2022.
- [6] G. Barona López y L. E. Velasteguí, "Automatización de procesos industriales mediante Industria 4.0", AP, vol. 3, n.º 3.1, pp. 98–115, ago. 2021.
- [7] Cruz, E.M.; Carrillo, L.R.G.; Salazar, L.A.C. Structuring Cyber-Physical Systems for Distributed Control with IEC 61499 Standard. IEEE Lat. Am. Trans. 2023, 21, 251–259
- [8] Moreno, E. G., (1999). "Automatización de procesos industriales". En: R. J. V. M. Antonio Hervás Jorge, ed. Robótica y automatización. Valencia: Editorial Universidad Politécnica de Valencia, p. 7.
- [9] Norton, R. L. (2009). DISEÑO DE MAQUINARIA, pp. 7-13.