

REALIDAD AUMENTADA: IMPACTO Y TENDENCIAS EN LA FORMACIÓN PROFESIONAL DE SOLDADURA MULTIPROCESOS.

Augmented reality: impact and trends in multi-process welding education and training.

Darwin Dubay Rodríguez
Grupo de investigación GICEMET
Centro Metalmecánico, CMM
SENA
Bogotá, Colombia
drodriguezp@sena.edu.co

Héctor Iván Tangarife
Grupo de investigación GICEMET
Centro Metalmecánico, CMM
SENA
Bogotá, Colombia
htangarife@sena.edu.co

Armando Salgado Otalora
Instructor SENNOVA
Centro Metalmecánico, CMM
SENA
Bogotá, Colombia
asalgadoo@sena.edu.co

Gustavo Guevara
Instructor de Soldadura
Centro Metalmecánico, CMM
SENA
Bogotá, Colombia
gguevarap@misena.edu.co

Juan Camilo Valencia Mendez
Aprendiz Semillero SIEM
Centro Metalmecánico, CMM
SENA
Bogotá, Colombia
juankamilo2603@gmail.com

Karen Viviana Peñuela López
Aprendiz mecánica de maquinaria industrial.
Centro Metalmecánico, CMM
SENA
Bogotá, Colombia
karenplv3@gmail.com

Resumen—El avance de las nuevas tecnologías en la actualidad ha traído el desarrollo de la realidad aumentada, entendida como una técnica para visualizar en un entorno simulado construcciones del medio físico y generar experiencias interactivas a través de dispositivos que manejan información gráfica. Uno de los campos de implementación que vale la pena resaltar, está relacionado con la educación; en donde se pretende generar habilidades y destrezas en diversas actividades de alto impacto en el hacer laboral que conllevan gran riesgo en la formación de capital humano, situación que se presenta en la soldadura convencional. Los problemas existentes en la actualidad están relacionados con los riesgos del personal, los costos elevados de inversión, impacto económico dado por el consumo de materiales en prácticas de entrenamiento, impacto generado por la cantidad alta de material desecho y los gases perjudiciales, tanto para el ambiente, como para las personas. Por lo tanto, el presente documento pretende realizar un análisis del efecto económico, ambiental, social y las tendencias de la realidad aumentada asociada a la soldadura multiprocesos. A través de una revisión de los avances tecnológicos a nivel mundial, en revistas indexadas, bases de datos, páginas web de empresas que se dedican a la fabricación de equipos e implementación de estas tecnologías, se identifican las tecnologías, los beneficios, el impacto favorable de la implementación y las tendencias en el uso de la soldadura multiprocesos y de la realidad aumentada. **Palabras Clave:** Soldadura convencional, realidad aumentada, educación, soldadura multiprocesos de realidad aumentada, herramientas interactivas.

Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA, Bogotá D.C. Colombia.

I. INTRODUCCIÓN

Según la Sociedad Americana de Soldadura AWS, por sus siglas en inglés, define la soldadura como proceso de coalescencia, con o sin la aplicación de presión [1], la coalescencia es la capacidad que tienen algunos materiales para fundirse.



Fig. 1. Diagrama de relación entre la realidad aumentada y el entrenamiento en procesos de soldadura.

Otros autores afirman que es un procedimiento de conformación metálica, es decir, la unión entre partes de objetos [2], esta actividad es indispensable en la industria de la construcción en estructuras de edificios o puentes, fabricación de barcos, aeronaves, mantenimiento y reparación.

La soldadura convencional es una práctica que se asocia a la necesidad de construir elementos funcionales de tipo metálico, involucra la necesidad de realizar una tarea operativa que implica riesgos para las personas que ejercen la actividad. Con el avance tecnológico actual, se ha venido desarrollando nuevas técnicas de acercamiento a la realidad reduciendo el riesgo al máximo, específicamente en procesos de capacitación y entrenamiento de personal mediante la realidad aumentada, técnica que implica el uso de tecnologías digitales que simulan un proceso de soldadura muy aproximado a la realidad.

Los problemas de la soldadura convencional están relacionados con los altos riesgos a la integridad física de las personas, por ejemplo, quemaduras por proyección de partículas, exposición a calor, efecto sobre la calidad de la visión y efectos negativos ergonómicos relacionados con las posiciones durante la ejecución del trabajo, por otro lado, los costos elevados de inversión en equipos infraestructura y personal capacitado para impartir formación en soldadura, impacto económico dado por el consumo de materiales en prácticas de entrenamiento electrodos, láminas, varillas, entre otros, impacto ambiental generado por la cantidad alta de material de desecho producto de todas las actividades de entrenamiento realizadas y los gases perjudiciales, tanto para el ambiente, como para el personal [3]. Por otro lado, en la figura No. 2, se muestran las ventajas y desventajas identificadas de usar simuladores de soldadura con realidad aumentada; resaltando entre las ventajas, la reducción en tiempo de entrenamiento, cantidad de materiales, costos de energía y reducción de gases contaminantes.

Por tanto, este artículo es un aporte que permita un acercamiento a las problemáticas existentes alrededor de la soldadura convencional, las aplicaciones de la soldadura de realidad aumentada, a través de una revisión bibliográfica que refleje las tendencias y el impacto positivo que se presenta con la implementación de estrategias para reducir los tiempos de entrenamiento, disminución de la curva de aprendizaje, lo que implica, menos horas de entrenamiento en taller para desarrollar habilidades y destrezas en la soldadura, como consecuencia la reducción de consumo de materiales de formación y el impacto ambiental.

En la figura No. 1, se muestra la relación de la realidad aumentada en aplicaciones de la educación, así como su relación con la pedagogía y entrenamientos en técnicas de soldadura. Este trabajo permite identificar las tecnologías existentes a nivel nacional e internacional de la realidad aumentada aplicada a soldadura multiprocesos, las tendencias tecnológicas y finalmente el análisis de su impacto en la formación en esta área.

Desventajas

Alto costo inicial.

Costo en capacitación inicial.

Capacitación en manejo de software.

No se pueden eliminar los procesos de soldadura.

Soldadura de Realidad Aumentada



Ventajas

Facilidad en procesos de enseñanza aprendizaje

Reducción en riesgos de accidente

Reducción de impacto por emisión de gases contaminantes

Reducción a cero de desechos sólidos

Reducción de compra de materiales de formación

Reducción de tiempos de entramiento

Atenuación de la curva de aprendizaje

Evaluación automática del aprendizaje

Bajo consumo energético

Fig. 2. Ventajas y desventajas identificadas en el uso de simuladores de soldadura con realidad aumentada.

II. ESTADO ACTUAL DE LA SOLDADURA CONVENCIONAL

En la actualidad existen varios tipos de soldadura convencional, los cuales se caracterizan principalmente por los electrodos y las técnicas usadas para cada labor.

La primera es la soldadura al arco con electrodos revestidos, este principio se basa en el establecimiento de un circuito eléctrico cerrado al poner en contacto la pinza con porta electrodos, conectada a un generador de corriente con el metal base, también conectado al mismo a través de la masa. La corriente al pasar por el efecto Joule, hace que se caliente la zona de contacto entre ambos, principalmente por el extremo del electrodo. El selector de intensidad del grupo de soldadura controla la corriente que pasa por el circuito cerrado. Al establecerse el arco rascando el electrodo sobre el metal salta la chispa. La temperatura que se genera se encuentra alrededor de los 5000 °C, tanto en el extremo del electrodo como en la zona afectada de la pieza que se funde. A medida que el electrodo se va consumiendo, el soldador hace avanzar el baño de fusión a lo largo de la unión a soldar. A mismo tiempo el calor se va dispersando por el metal base, bajando la temperatura por debajo del punto de fusión, por lo que la parte del baño deja de estar bajo el arco se va solidificando, formando un cordón de soldadura. Así como el proceso físico generado a través de los cambios de temperatura y estado de los materiales que intervienen en el proceso, existen técnicas y materiales que varían según el uso y características del producto final [4], en la figura No. 3 se muestra un resumen de los tipos de soldadura que existen. Adicionalmente, en el Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA); en específico

el centro metalmeccánico, se imparte formación en soldadura con enfoque en el desarrollo de habilidades y destrezas para corrección de fallas y averías. Los programas que integran este enfoque son, el tecnólogo en mantenimiento electromecánico industrial y técnico en mecánica de maquinaria industrial. Esta formación incluye los siguientes tipos de soldadura:

- SMAW (Shielded Metal Arc Welding): Soldadura de arco con electrodo manual revestido: El arco necesario para lograr la fusión de los componentes se obtiene de un arco eléctrico formado entre el electrodo revestido en forma de varilla y la pieza de trabajo. La fusión del núcleo metálico del electrodo forma parte del depósito (Cordón de soldadura).
- GMAW (Gas Metal Arc Welding) – MIG (Metal Inert Gas) – MAG (Metal Active Gas): Soldadura de arco con electrodo metálico y protección de gas: Es un proceso de soldadura por arco bajo un gas protector con un electrodo consumible. El arco se produce mediante un electrodo formado por un hilo continuo y las piezas a unir quedando este protegido por una atmosfera circundante de gas inerte o activo. Esto protege la soldadura de los gases del medio ambiente evitando la oxidación del depósito.
- TIG-GTAW: Soldadura de arco con electrodo de tungsteno y gas: Se caracteriza por el uso de un electrodo consumible de tungsteno aleado con torio o circonio y la protección de un gas inerte (Argón). Se puede realizar sin o con aporte de material.

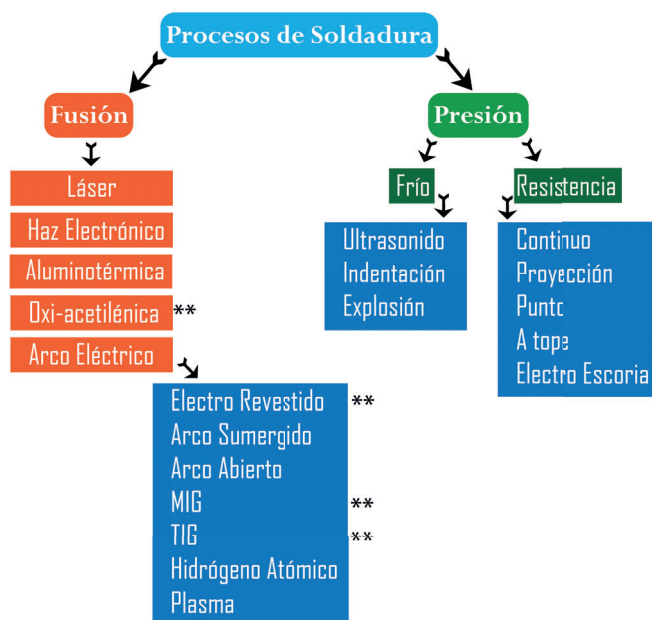


Fig. 3. Tipos de soldadura clasificados según técnica y estilo. [**] Tipos de soldadura que se enseñan en el centro metalmeccánico.

III. EFECTOS DEL ENTRENAMIENTO EN SOLDADURA

La soldadura es un proceso que consiste en unir piezas metálicas del mismo material por medio de aplicación de calor,

con el fin de lograr la unión de piezas a través de presión o material fundido de aporte [5]. La fuente de calor puede ser: el arco eléctrico, la llama por combustión de gas y las resistencias eléctrica o mecánica [6]. En la actualidad predomina el uso de cuatro métodos de soldadura: la soldadura oxiacetilénica, la soldadura de tungsteno y gas inerte, la soldadura con electrodo revestido y por arco metálico y gas [7] [8]. La acción de soldar lleva implícito situaciones que conllevan efectos negativos sobre la salud humana, debido al tipo de tareas que se deben ejecutar, está relacionada con muchos riesgos, unos propios de la actividad, es decir, ligados directamente al operario, y otros, relacionados con condiciones externas, como el lugar de trabajo, las herramientas, los equipos entre otros. Existen algunos factores que se pueden resaltar; como los riesgos de accidente y riesgos higiénicos, los primeros relacionan posibles contactos eléctricos, directos e indirectos, proyecciones de partículas y explosión o incendio, para el caso del segundo se relacionan con exposición a radiación UV - Ultravioleta, la exposición a humos y gases [9]. Fuera del entorno de soldadura también se puede ver afectado el medio ambiente, dada la contaminación que se puede generar por gases o elementos sólidos producto de desecho, adicionalmente se pueden generar efectos sobre la condiciones sociales a los alrededores de los entornos de trabajo. Adicionalmente, estas situaciones demandan medidas de control y mitigación para todos los riesgos ocupacionales, tanto, durante la formación en el área de trabajo como en el ejercicio de la actividad por parte de personal especializado durante le ejecución de algún tipo de proyecto aplicado, para atenuar los múltiples impactos que se pueden generar.

III-A. Efectos ambientales

Los contaminantes más frecuentes están relacionados con humos de soldadura [10], procedentes de la constitución de las piezas, recubrimientos y los materiales de aporte [11]. Algunos contaminantes procedentes del metal base de las piezas son: hierro, manganeso, cromo, entre otros. Para el caso de los recubrimientos se pueden destacar, metálicos, barnices, resinas, cabe resaltar algunos contaminantes procedentes del recubrimiento de la piezas como: óxido de zinc, plomo, cromo, níquel, entre otros. En el caso de los materiales de aporte, se resalta la composición de la varilla o alambre desnudo, electrodo revestido, gas de protección, gas de combustión y fundentes, entre otros, se pueden citar algunos gases contaminantes como: óxidos de metales del hilo, óxido de cobre, zinc, berilio, plomo, plata [11] [6], níquel, arsénico, asbesto, manganeso, sílice [12]. Del tipo de soldadura depende la cantidad de gas emitido, por ejemplo, la soldadura de estaño, no emite tanto como la soldadura de electrodo, adicionalmente, hay influencia de la ubicación del soldador y la distancia respecto al punto de soldadura, la ventilación es otro aspecto de impacto directo, la ausencia de esta, favorece la acumulación, que es directamente proporcional a la cantidad de personas realizando la actividad en un mismo espacio, ahora, la forma de atenuar, esta relacionada con la protección de vías respiratorias, lo que depende del tipo de contaminante,

concentración y tipo de equipo de protección. El proceso de soldadura actual genera humos de soldadura, la generación puede ser causada por el tipo de material de soldado, tipo de soldadura, calidad de la ventilación y condiciones de trabajo, como consecuencia, se generan trastornos de la salud, intoxicaciones agudas, enfermedades a corto y largo plazo [11]. Por otro lado, la exposición a humos de soldadura, genera otros riesgos de enfermedades respiratoria como: irritación del tracto respiratorio [6], asfixia química, fiebre de los metales, efectos cancerígenos y sensibilizantes [11].

En el proceso de soldadura se generan además otros agentes contaminantes como gases, radiación ultravioleta y ruido. Los equipos de soldadura, ventilación y extracción de aire aumentan considerablemente el consumo de energía eléctrica. Afectación de la eficiencia energética y las metas del Sistema de Gestión de Energía, deterioro de las condiciones ambientales. El proceso de entrenamiento en técnicas de soldadura implica efectos significativos sobre las condiciones ambientales dados por la generación de residuos sólidos y de desecho como de la generación de gases. En general, la formación en soldadura es una actividad que se asocia a todos los riesgos durante el desarrollo de la curva de aprendizaje en el ejercicio de competencia.

III-B. Efectos en la salud humana

Para la evaluación del riesgo se debe poner a consideración varios factores como: el tipo de soldadura, el metal de base (tipo de revestimiento), el metal de aporte y protección (gases, escorias, fundentes, desoxidantes), tiempo e intensidad de la exposición y la eficacia y suficiencia de la ventilación [13]. El proceso de soldadura puede generar enfermedades laborales, esto sucede cuando se genera un desequilibrio físico, mental o social, la salud humana se puede ver afectada durante la ejecución de actividades inherentes al quehacer laboral. Son múltiples factores los que generan efectos negativos, por ejemplo: las radiaciones, el ruido, la temperatura, las chispas y el calor intenso al momento de soldar pueden causar quemaduras [12] otros de índoles ergonómico [14] [15], asociado a la ubicación del individuo respecto a la actividad que se realiza, dimensiones de elementos, alturas, posición de trabajo. La inhalación de humos de soldadura puede causar daños sobre la salud, los cuales se pueden clasificar en efectos agudos y efectos crónicos, los primeros se relacionan con la exposición a altas concentraciones en un intervalos de tiempo corto, puede ser una jornada de trabajo, puede causar irritación del tracto respiratorio, asfixia química, fiebre de los metales. Los segundos se relacionan con consecuencia de largos periodos a concentraciones moderadas de contaminantes. Se pueden evidenciar efectos crónicos sobre el sistema respiratorio y sobre otros órganos [11]. Los efectos pueden ser generados por proyección de fragmentos o partículas, contacto eléctrico, incendio, contacto químicos, ruidos, vibraciones, radiaciones no ionizantes, explosión, entre otros [7] [6]. Según la guía de prevención de riesgos en trabajos de soldadura, se presentan riesgos de electrocución, quemaduras, incendio, explosión, en todos los casos de afectación a la salud

humana [10]. Los soldadores tienen una alta incidencia de quejas musculoesqueléticas, incluyendo lesiones de la espalda, dolor de hombros, tendinitis, reducción de fuerza muscular, síndrome de túnel carpiano, síndrome de Raynaud (también conocido como síndrome de dedo blanco) y enfermedades de las coyunturas en las rodillas. Las posturas al trabajar (especialmente el soldar arriba de la cabeza, las vibraciones, y levantar cosas pesadas) pueden todas contribuir a estas afecciones [12]. Adicionalmente, otros riesgos a la salud están relacionados con daño ocular y afectación ergonómica [6].

III-C. Efectos económicos

El proceso de soldadura genera una alta demanda de materiales entre los que cabe resaltar, material base, metal de aporte como electrodos, platinas, alambres y gases. En general acceder a estos elementos implican costos elevados, sin embargo, en procesos de entrenamiento se le suma la necesidad de personal capacitado para ejecutar horas de entrenamiento y las cantidades de material que posteriormente se vuelven desecho. También se genera una alta demanda de materiales de formación, por otro lado, el uso permanente de los equipos de soldadura afecta su vida útil e incrementa los requerimientos de mantenimiento. Los equipos de soldadura, los de ventilación y extracción de aire son requeridos en el ambiente de aprendizaje de manera permanente mientras se ejecuta la actividad, en general, presentan un alto consumo de energía eléctrica, incrementando, tanto los costos del servicio como la huella de carbono.

III-D. Efectos sociales

El humo de soldadura está compuesto por partículas y gases que causan afectaciones a la salud; la exposición prolongada a los mismos, por parte de personas en entrenamiento o inclusive fuera de este entorno, aumenta la probabilidad de enfermedades respiratorias y del sistema nervioso. El humo que se genera en espacios en los que se realiza la soldadura afecta a otros entornos. Si este no es captado a través de extractores y no se realiza el almacenamiento de las partículas, las personas alrededor pueden llegar a inhalar cantidades significativas que a corto plazo puede no mostrar consecuencias, sin embargo, a largo plazo sí puede ser significativo. Adicionalmente se puede generar inconformidad lo que puede traer como consecuencia posibles quejas de la comunidad en los alrededores.

III-E. Efectos tecnológico

Las prácticas de soldadura están limitadas por la disponibilidad de equipos que, debido al uso permanente, tienen una menor vida útil y mayores requerimientos de mantenimiento. La curva de aprendizaje con estos equipos es muy larga respecto a la que se logra cuando los aprendices reciben entrenamiento con simuladores multiproceso de realidad aumentada. Siendo así, la disponibilidad de recursos tecnológicos reduce la curva de aprendizaje, esto implica que se requiere mayor tiempo de práctica con equipos convencionales, impactando directamente el uso de recursos. Se generan dificultades para alcanzar desempeño dentro de marcos de referencia internacionales

para soldadores, es decir, se limita a la soldadura convencional, sin lograr actualizar en nuevas tecnologías para desarrollar la destreza, es decir, se presenta un desconocimiento de otras técnicas relevantes.

IV. NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA ENTRENAMIENTO EN SOLDADURA

IV-A. Nuevas tecnologías

Los avances en las tecnologías de la información y la sistematización han permitido en los actuales contextos de la formación profesional, modificar metodologías tradicionales en el desarrollo de habilidades mediante herramientas basadas en objetos virtuales ya sea total o parcialmente, o denominadas realidad virtual y realidad aumentada o también mixta. Como primera medida en la realidad virtual más reconocida como (RV) se cuenta con un entorno visual inmersivo, es decir, se observan elementos y escenarios en 3 dimensiones tan reales como el usuario lo requiera debido a que puede interactuar gracias al uso de mandos específicos ya sea de guantes o el propio seguimiento de nuestra cabeza. En tanto que la realidad aumentada (AR) no solo posee objetos digitales, sino que en tiempo real se complementa con el entorno del mundo físico real. Es decir, se visualiza todo alrededor, se hace uso de gafas especialmente diseñadas, cascos o lentes de celulares, se usa una CPU que gestione la realidad virtual que se imprime sobre la real. Funciona con tecnología multimedia, modelado 3D, seguimiento y registro de objetos, interacción inteligente, detección de imágenes y más. En tanto que la realidad mixta (MR) es un entorno que mezcla los mejores aspectos de RV y la AR, unificando la experiencia para que solo se requiera un único casco o gafas para poder utilizar una u otra. Permite interactuar en entornos virtuales con objetos reales o viceversa [16].

Tanto la AR, la RV y la mixta han revolucionado el panorama de la formación profesional, dado que se encuentran aplicaciones en la formación de los futuros técnicos soldadores donde la inmersión incluye sonidos, iluminación, generación de luz y tacto real. Como se puede apreciar en la figura No. 4, el uso de la AR requiere de accesorios y equipos especializados como es el caso de plataformas, software, careta adaptada con cámaras y audífonos, las piezas de trabajo o denominadas probetas las cuales cuentan con una serie de marcadores o signos para identificar la posición y el avance, electrodos y antorchas, guantes y todos elementos de seguridad. Adicionalmente a los elementos físicos algunas de las soluciones de AR incluyen la técnica de aprendizaje de gamificación con lo cual se mejora la motivación de los aprendices, la metodología *augmented training* (AT), la teoría y la evaluación de los ejercicios realizados indicando las posibles fallas como se puede apreciar en la figura No. 4 y figura No. 5A, proporcionando a los instructores todas las herramientas necesarias para supervisar al aprendiz individualmente.

Otras soluciones en el ámbito de la formación profesional anteriores a la AR, es la RV en la cual también se requiere de un equipo físico y accesorios especializados como se puede ver en la figura No. 5B. Además, hace uso de los entornos virtuales

inmersivos (EVI) que se pueden seleccionar de acuerdo al gusto como el presentado en la figura No. 5C. Donde al igual que el AR permite generar sonidos, simula chispa, escoria, esmerilado y enfriamiento de soldaduras, realiza un seguimiento y califica los parámetros de soldadura clave, incluidos el ángulo de trabajo, el ángulo de desplazamiento, la velocidad de desplazamiento, la distancia y la posición.



Fig. 4. Accesorios requeridos en la implementación de la realidad aumentada en la especialidad de soldadura [17]

IV-B. Realidad aumentada en soldadura

Como parte de los avances de la tecnología y su integración en los procesos de enseñanza y aprendizaje, los procesos de soldadura han sido impactados por este fenómeno. Unos de los primeros avances es la generación y posterior integración con ambientes virtuales de soldadura integrando entornos donde se simulan elementos gráficos, audiovisuales y en algunos a casos hápticos; sin embargo, muchos soldadores indican que no es lo mismo entrenarse en un ambiente virtual que en uno real. Por tal motivo, se introduce un nuevo concepto como lo es la realidad aumentada, la cual integra elementos reales con elementos virtuales, mejorando la interacción e integración con las herramientas y métodos que permiten establecer parámetros de entrenamientos más realistas [18].

En el ambiente de formación de la Figura No. 6, se muestra el taller de soldadura que contiene los simuladores de realidad aumentada que permiten realizar un entrenamiento previo usando herramientas que interactúan con un entorno usando herramientas de interacciones reales. Una de las ventajas es la calificación de los movimientos y ejecución de la técnica del soldador, lo cual permite un mejor comportamiento en los procesos de enseñanza - aprendizaje que permite que los aprendices se entrenen y perfeccionen las técnicas antes de pasar a una práctica de soldadura real. Generalmente el equipo simulador de soldadura contiene niveles de dificultad, así como diferentes entornos que definen el grado de complejidad y habilidades necesarias que requieren los aprendices durante el ejercicio de la soldadura.

V. TENDENCIAS EN PROCESOS DE ENTRENAMIENTO EN SOLDADURA MULTIPROCESOS

Las tendencias actuales de la soldadura están basadas en los cambios tecnológicos dentro diversas disciplinas y campos de investigación con la consecuente aplicación para mejorar un proceso o un procedimiento, caso particular de las labores de



Fig. 5. A) Practica de soldadura mediante realidad aumentada. B) Equipo de realidad virtual en la formación de profesionales. C) Entorno realidad aumentada en la formación como soldador [17].



Fig. 6. Ambiente de formación en soldadura del Centro Metalmeccánico, entrenador con realidad aumentada.

soldadura en el sector industrial y del entrenamiento en las etapas iniciales de la generación de la habilidad en entornos académicos.

La incursión en el campo de la soldadura de la robótica es un desafío, permite realizar la tarea con precisión y de manera autónoma y se puede ejecutar durante largos periodos de tiempo. Adicionalmente, de apoyo a la robótica, se está integrando el machine learning para conocer el estado operativo de un robot de soldadura, esto integrado con la configuración de parámetros para evaluar la calidad de la soldadura en tiempo real, según Chen [19], se clasifican los datos y propone una estrategia paralela para predecir la calidad de las uniones para diferentes patrones de distribución los cuales funcionan bien con grandes cantidades de datos distribuidos de formas complejas [20] Una de las tendencias principales a usar aprendizaje máquina para clasificación de características deseadas de la soldadura, y el aprendizaje mediante redes neuronales para realizar mejorar rendimiento del proceso a través de vision artificial, siendo así, otro trabajo alineado con Chen es el de Wei et al, en donde se afirma que la detección de puntos de soldadura requiere visión artificial basada en aprendizaje profundo, sin embargo, implica que el proceso sea muy lento y costoso, por tanto, propone redes antagónicas generativas GAN, para generar muestras de datos y mejorar el rendimiento de clasificación de defectos de soldadura por puntos, el enfoque propuesto, puede generar imágenes de defectos de soldaduras de manera eficiente y a bajo costo [21].

Por otro lado, se han implantado simuladores termo mecánicos para anticipar características de la soldadura como dureza, adquieren importancia, dado que permite probar los materiales y aleaciones previo a la implementación en sistemas reales, es el caso estudiado por Jun et al de la universidad de Wollongog en Australia y el instituto de investigación tecnológica de China, en donde realizan un estudio enfocado a la soldadura a tope por chispa de acero de baja aleación y alta resistencia para identificar la influencia microestructural y mecánica dada por aumento de cantidad de ferrita en la zona de unión [22], el estudio buscaba reproducir con precisión los procesos térmicos, mecánicos y optimizar los parámetros del proceso a través de diferentes tolerancias de recalque en el simulador termomecánico Gleeble.

Los simuladores no solamente aplican para el componente mecánico y de respuesta de los materiales, sino también, se ha integrado a las nuevas tecnologías a través de la realidad virtual para entrenamiento, la cual está relacionada con la creación de entornos inexistentes o artificiales, es básicamente un mundo virtual desde cero, que puede estar relacionado con gafas para sumergir en un ambiente o con una pantalla que cumple la función de permitir visualizar, universidades de Taiwán y la Escuela secundaria industrial, realizaron una herramienta de aprendizaje virtual para un curso de soldadura. El principal reto es reducir el desperdicio de material de prueba y de inmersión, y aportar en el desarrollo de habilidades de quien se entrena, una restricción es la cantidad de equipos para entrenar en soldadura, el proyecto relaciona el desarrollo de una aplicación móvil y la construcción de un curso de bajo

costo [23].

Paralelo a la realidad virtual, una tendencia en el campo de la soldadura es la realidad aumentada que hace uso del entorno en el que está el individuo y agrega elementos virtuales, básicamente es un entorno real con elementos virtuales, en el campo de la soldadura, se enfoca en el desarrollo de la habilidad, es el caso de los equipos de realidad aumentada. La soldadura siempre ha demandado tiempos prolongados para desarrollar las destrezas y habilidades, riesgos físicos, contaminación ambiental, repetición de tareas, costos elevados por consumo de material, con los equipos actuales de inmersión, permite tener una estación de soldadura idéntica a una real, cascos, electrodos, probetas, antorcha, y los equipos entregan resultados respecto a distancias de soldadura, desplazamiento, longitudes, velocidad, entre otros aspectos [24], adicionalmente los sonidos, la chispa, las discontinuidades, permiten que el soldador aprenda a responder a los diferentes estímulos externos, entender cómo se configura la máquina es otro aspecto relevante que puedan simular mediante el ingreso de parámetro al equipo soldador [25]. Una de las tendencias futuras, es la integración de la realidad virtual con la realidad aumentada para generar lo que se denomina actualmente como realidad mixta.

VI. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

Como parte de la integración de las tecnologías de la información en los procesos de formación en soldadura, se encontraron enormes ventajas a la hora de usar la realidad aumentada como parte de las prácticas de los aprendices. Se evidencia un ahorro significativo en los materiales de formación, desgaste de los equipos de soldadura y equipo de protección, reducción en el consumo de energía eléctrica, reducción en la contaminación por gases, disminución de riesgo en la salud y finalmente se observa una ganancia significativa en la destreza previa generando confianza del aprendiz antes de enfrentarse a prácticas físicas. Como trabajo posterior, se propone la estimación y diseño de métricas que permitan la medición del impacto desde las ventajas y desventajas identificadas en este trabajo, así como también el impacto desde el punto de vista pedagógico.

RECONOCIMIENTO

Grupo de investigación GICEMET del Centro Metalmeccánico - CMM. Programa SENNOVA. Área de mantenimiento, programas de formación asociados y semillero de investigación SIIEM.

REFERENCIAS

- [1] AWS, *Structural Welding Code - Steel*, 20. 1981, vol. 552, ISBN: 0871716100.
- [2] P. M. Solá, *Soldadura industrial: clases y aplicaciones*, Primera, Editores Boixereu, ed. Barcelona, España: Marcombo, 1992, ISBN: 84-267-0875-7.
- [3] G. Atencio y A. Yuriela, “Peligros y riesgos asociados a las labores de soldadura piscina olímpicas David”, Tesis doct., Universidad especializada de las Américas, 2019, pág. 119.
- [4] A. M. Carlos, *Manual de prácticas de soldadura*, Primera, Ediciones de la U, ed. Bogotá, Colombia: Ediciones de la U, 2015, ISBN: 978-958-762-269-0.
- [5] R. Rodrigo, “Efectos de la Soldadura en los Metales”, Universidad Nacional Experimental Politécnica de la FANB, Carúpano, Venezuela, 2020, pág. 9.
- [6] B. A. Manuel, “Los riesgos de la soldadura y su prevención”, *Centro Nacional de Nuevas Tecnologías (CNNT). INSHT*, pág. 13, mayo de 2012.
- [7] R. R. Sue Lizeth, “Identificación, Evaluación Y Medidas Preventivas De Riesgos Laborales En El Área De Soldadura En Los Procesos De Corte Y Suelda En La Construcción De Estructura De Campers En Una Empresa De Servicios Petroleros Del Oriente”, Universidad Internacional Sek Facultad De Ciencias Del Trabajo Y Comportamiento Humano, Quito, Ecuador, 2018, pág. 199.
- [8] Oygasa, *Manual del soldador*, Primera, Infracal, ed. Salvador: OG, Oygasa, 2020, pág. 88.
- [9] J. T. del Pino, *NTP 494: Soldadura eléctrica al arco: normas de seguridad*, Ministerio de trabajo y asuntos sociales España, ed. Madrid, España: Instituto Nacional de seguridad e higiene en el trabajo, 1998, pág. 10.
- [10] c. d. e. y. e. Junta de extremadura, *Guía de prevención de riesgos en trabajos de soldadura*, Servicio de salud y riesgos laborales de centros educativos, Junta de extremadura, ed. Junta de extremadura, España: Junta de extremadura, dirección general de personal docente, 2020, pág. 24.
- [11] R. Jesús María, *El soldador y los humos de soldadura*, Primera, OSALAN, ed. País Vasco, España: OSALAN, Instituto Vasco de seguridad y salud laborales, 2009, ISBN: 978-84-95859-56-3.
- [12] D. of workers compensation, *Los Peligros Relacionados con la Soldadura*, producido por la División de Compensación para Trabajadores (Division of Workers' Compensation – DWC, ed. Texas, EEUU: Instituto Nacional de seguridad e higiene en el trabajo, 2020, pág. 10.
- [13] M. B. Alonso, *Los riesgos de la soldadura y su prevención*, Centro Nacional de Nuevas Tecnologías (CNNT). INSHT, ed. Madrid, España: Centro Nacional de Nuevas Tecnologías (CNNT). INSHT, 2012, pág. 13.
- [14] G. F. Casado, “Riesgos laborales en los procesos de soldadura por fusión”, Universidad de León Facultad de Ciencias del Trabajo, León, España, 2019, pág. 129.
- [15] P. D. Casado, “Análisis, evaluación y control de riesgos de un soldador de la industria del metal”, Universidad República de navarra, Navarra, España, 2013, pág. 131.
- [16] Y. FERNÁNDEZ, “Diferencias entre realidad aumentada, realidad virtual y realidad mixta”, 2022. dirección: <https://www.xataka.com/basics/diferencias-entre-realidad-aumentada-realidad-virtual-y-realidad-mixta>.
- [17] Soldamatic, “Augmented training for welding”, 2022. dirección: [https://seaberyat.com/en/soldamatic/?gclid=CjwKCAiA7IGcBhA8E%](https://seaberyat.com/en/soldamatic/?gclid=CjwKCAiA7IGcBhA8E%20)

20iwAffUDsSSZGdDnpLTCH6NwCxbpYV8XCE_
FV9t8ZfviS_W%2008IYOEDM84sDC4xoCIxQQAvD_
BwE.

- [18] LincoIn, “Primer equipo en Colombia de entrenamiento de soldadores por realidad virtual”, *Revista Acosend*, pág. 14, abr. de 2014, ISSN: 2357-3066.
- [19] G. Chen, B. Sheng, R. Luo y P. Jia, “A parallel strategy for predicting the quality of welded joints in automotive bodies based on machine learning”, *Journal of Manufacturing Systems*, vol. 62, págs. 636-649, ene. de 2022, ISSN: 02786125. DOI: 10.1016/j.jmsy.2022.01.011.
- [20] —, “A parallel strategy for predicting the quality of welded joints in automotive bodies based on machine learning”, *Journal of Manufacturing Systems*, vol. 62, págs. 636-649, ene. de 2022, ISSN: 02786125. DOI: 10.1016/j.jmsy.2022.01.011.
- [21] W. Dai, D. Li, D. Tang, H. Wang e Y. Peng, “Deep learning approach for defective spot welds classification using small and class-imbalanced datasets”, *Neurocomputing*, vol. 477, págs. 46-60, mar. de 2022, ISSN: 18728286. DOI: 10.1016/j.neucom.2022.01.004.
- [22] J. Wang, C. Ma, J. Han, Z. Jiang y V. Linton, “Acquisition of HSLA steel weld joints with excellent mechanical performance through flash butt welding physical simulation”, *Materials Letters*, vol. 303, nov. de 2021, ISSN: 18734979. DOI: 10.1016/j.matlet.2021.130511.
- [23] C. H. Lai, T. E. Wu, S. H. Huang e Y. M. Huang, “Developing a virtual learning tool for industrial high schools’ welding course”, en *Procedia Computer Science*, vol. 172, Elsevier B.V., 2020, págs. 696-700. DOI: 10.1016/j.procs.2020.05.091.
- [24] Techsoft, “Augmented Reality Welding Simulation System”, 2022. dirección: <https://www.techsoft.co.uk/products/welding>.
- [25] Lincoln, “VRTEX® 360® Single User Virtual Reality Welding Training Simulator in Crate”, 2022. dirección: <https://www.lincolnelectric.com/en/products/k4601-3>.