



VIOLET

AR/VR International Welding Engineer Qualification



D2.3 Informe sobre las Necesidades y el Alcance de la Formación de I/EWE

D2.3 Informe sobre las Necesidades y la Formación de I/EWE

Revisión	Fecha	Autor/Organización	Descripción
1ª	15.07.2026	ASR	Revisión del documento
2ª	20.07.2026	ASR	Revisión del documento
3ª	23.07.2026	EWf	Revisión del documento
3ª	23.07.2026	L-USIT	Revisión del documento
5ª	29.07.2026	ASR	Revisión del documento

1. Resumen ejecutivo

El propósito de este documento es proporcionar información basada en evidencias que respalde el desarrollo de soluciones formativas innovadoras y centradas en el alumno, así como la futura integración de enfoques de aprendizaje digital en el marco de cualificación I/EWE. El informe identifica las áreas en las que las tecnologías XR pueden aportar el mayor valor educativo, teniendo en cuenta tanto las oportunidades como las limitaciones de su implementación en la educación y la formación industrial en soldadura.

El análisis, basado en la información recogida de ingenieros de soldadura, formadores y representantes de la industria de todo el consorcio del proyecto, pone de manifiesto un fuerte interés por el uso de tecnologías XR para mejorar la formación en soldadura. Aunque el nivel actual de adopción de XR sigue siendo limitado, la mayoría de los encuestados reconoce el potencial de las soluciones basadas en VR/AR/IA para mejorar la eficacia del aprendizaje, la seguridad y la accesibilidad.

Los principales resultados indican que las tecnologías XR son especialmente relevantes para apoyar actividades de aprendizaje teóricas, analíticas y de procedimiento, como la simulación de procesos de soldadura, el ajuste de parámetros, la retroalimentación en tiempo real sobre técnicas de soldadura, la identificación de defectos, la optimización de WPS/PQR y la visualización de fenómenos metalúrgicos complejos. Los representantes de la industria y los expertos técnicos consideran estas aplicaciones muy valiosas para mejorar la comprensión y preparar a los alumnos antes de la formación práctica con equipos reales.

Al mismo tiempo, el análisis confirma que las soluciones XR deben complementar, y no sustituir, la formación práctica. La experiencia práctica con equipos reales de soldadura, incluida la retroalimentación sensorial y las condiciones del entorno de trabajo, sigue siendo esencial para el desarrollo de habilidades psicomotoras y para la certificación profesional. Por ello, se considera que el modelo más adecuado es un enfoque de aprendizaje combinado (blended learning), que combine actividades digitales basadas en XR con la formación práctica tradicional.

El informe concluye que las tecnologías XR pueden contribuir de forma significativa a la modernización de la formación I/EWE, aumentando la flexibilidad, mejorando la eficiencia del aprendizaje y apoyando la transformación digital de la educación en soldadura. Las prioridades formativas y las recomendaciones identificadas servirán de base para el desarrollo de futuros materiales de aprendizaje, escenarios y marcos de formación basados en XR dentro del proyecto VIOLET.

2. Introducción

Este informe presenta los resultados del análisis de necesidades realizado en el marco del proyecto VIOLET para identificar el nivel actual de concienciación, las necesidades de formación y las expectativas relativas al uso de tecnologías de Realidad Extendida (XR) en la educación y formación de los Ingenieros Internacionales/Europeos de Soldadura (I/EWE).

El análisis se basa en las respuestas a los cuestionarios recogidas entre ingenieros de soldadura, formadores y representantes de la industria de todo el consorcio del proyecto. Los resultados aportan evidencias valiosas sobre los retos actuales, las carencias en competencias digitales y las prioridades para integrar tecnologías de aprendizaje innovadoras en la educación y formación profesional.

El objetivo principal de este informe es apoyar el diseño de soluciones formativas modernas y centradas en el alumno, identificando las áreas en las que las tecnologías XR pueden aportar el mayor valor educativo. Los resultados guiarán el desarrollo de materiales de aprendizaje digital, escenarios prácticos de formación XR y recomendaciones para actualizar la cualificación I/EWE de acuerdo con las necesidades cambiantes de la industria y la transformación digital de la formación profesional.

Este informe constituye la base para las actividades posteriores del proyecto VIOLET, garantizando que el marco de formación propuesto esté basado en evidencias, sea relevante y esté alineado con los avances tecnológicos y los requisitos del mercado laboral.

2.1. Antecedentes y contexto

Los sectores de la fabricación y la soldadura están experimentando transformaciones significativas impulsadas por la digitalización, la automatización y la creciente adopción de los enfoques de Industria 4.0 e Industria 5.0. Estos cambios están generando nuevos requisitos en materia de competencias profesionales, incluida la capacidad de utilizar tecnologías digitales dentro de los procesos industriales y los entornos de formación.

Al mismo tiempo, los sistemas de educación y formación profesional se enfrentan al reto de adaptar los enfoques de aprendizaje existentes a las necesidades de la industria moderna. Los ingenieros de soldadura, los formadores y los profesionales técnicos necesitan métodos de formación actualizados que combinen el conocimiento teórico con la experiencia práctica y las competencias digitales.

La Realidad Extendida (XR), que incluye la Realidad Virtual (VR) y la Realidad Aumentada (AR), representa una oportunidad emergente para mejorar la educación técnica y la formación profesional. Estas tecnologías permiten experiencias de aprendizaje inmersivas, la simulación realista de escenarios industriales y entornos de práctica seguros para el desarrollo de competencias técnicas complejas.

En este contexto, el proyecto VIOLET aborda la necesidad de explorar e integrar soluciones basadas en XR en la vía de educación y formación de los Ingenieros Internacionales/Europeos de Soldadura (I/EWE). El proyecto tiene como objetivo apoyar la innovación en la formación profesional mediante el desarrollo de enfoques formativos alineados con los avances tecnológicos, las expectativas de la industria y las futuras necesidades de competencias.

2.2. Objetivos

El proyecto VIOLET tiene como objetivo proporcionar un marco para la modernización de la cualificación I/EWE mediante el desarrollo de materiales de formación en línea y herramientas digitales, contribuyendo a mejorar la calidad, la accesibilidad y el atractivo de la educación y formación profesional en el sector de la soldadura.

Este informe se basa en la recopilación y el análisis de los datos de los cuestionarios, lo que ayuda a identificar los conocimientos, las competencias y las necesidades de formación requeridas para el uso eficaz de las tecnologías XR.

2.3. Metodología

En la fase inicial se elaboraron dos cuestionarios: uno dirigido a ingenieros del sector de fabricación y otro dirigido a partes interesadas de la industria. Para recopilar la información necesaria para desarrollar el marco de modernización de la cualificación I/EWE, todos los socios del proyecto identificaron grupos objetivo formados por proveedores de formación y empresas de soldadura que podían participar en las encuestas. Esto se hizo para establecer una base de datos de ingenieros y representantes del sector industrial que participarían en los dos cuestionarios.

Posteriormente, el socio responsable de las encuestas (ASR) redactó los ítems del cuestionario, que fueron revisados y evaluados por todos los socios del proyecto. Una vez acordadas las versiones finales de los cuestionarios, estos se distribuyeron a las empresas industriales y a los ingenieros designados por cada socio.

A partir del análisis de las respuestas de la encuesta, se identificaron los intereses, objetivos, disponibilidad y expectativas de las partes interesadas con respecto a la metodología de formación.

Además, para obtener una comprensión completa del marco existente, se llevó a cabo un análisis documental de gabinete y se resumieron los principales hallazgos. Finalmente, se presentan los resultados y conclusiones más relevantes alcanzados en este entregable del proyecto.

2.4. Caracterización del grupo objetivo

A partir de la lista de empresas industriales e ingenieros propuesta por los socios, los cuestionarios se distribuyeron a través de redes sociales y de la lista de contactos de cada socio. Se recibieron 121 respuestas de ingenieros y 44 del sector industrial. La caracterización del grupo objetivo que participó en los cuestionarios puede verse en los gráficos siguientes, donde se indican el puesto/rol de los participantes (Figura 1), el país (Figura 2) y los años de experiencia (Figura 3).

3. Resultados de la encuesta y análisis

3.1. Resultados de la encuesta a ingenieros

3.1.1. Sección A: Perfil

Rol de los participantes:

Conclusión (Figura 1): Un total de 121 participantes completaron la encuesta. La mayoría eran Ingenieros Internacionales de Soldadura (IWE) (42,9% de los encuestados), seguidos de Ingenieros (33,3%). El resto de los participantes incluía otros roles profesionales (12,2%), instructores IWE (4,1%), examinadores (4,1%) y coordinadores de curso (3,4%). Esta distribución demuestra que la encuesta recogió principalmente las perspectivas de profesionales directamente implicados en la ingeniería de soldadura, incorporando también aportaciones valiosas de especialistas en formación y evaluación.

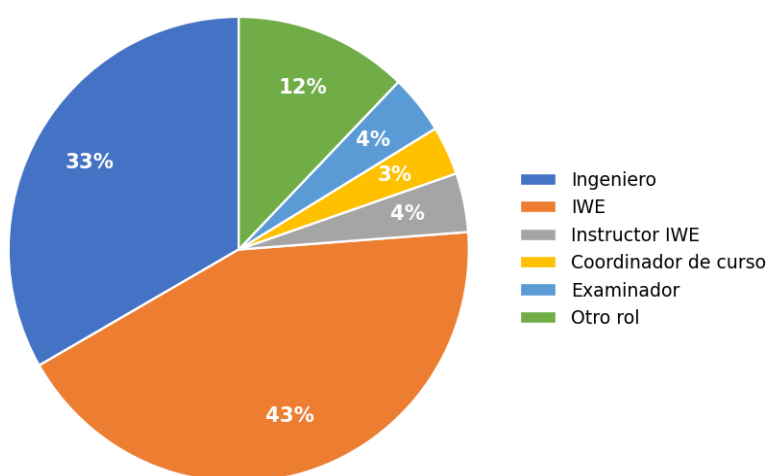


Figura 1. Rol de los participantes

País de residencia de los participantes

Conclusión (Figura 2): Un total de participantes de 11 países completó la encuesta. La mayor participación correspondió a Rumanía (48,6%), seguida de Portugal y Polonia (14,4% cada uno), Turquía y Eslovenia (7,2% cada uno), Países Bajos (2,7%), Alemania (1,8%), y Bélgica, Irlanda, Francia y Hungría (0,9% cada uno). Los resultados demuestran una amplia participación internacional, lo que proporciona una base sólida para el desarrollo del marco modernizado de cualificación I/IWE.

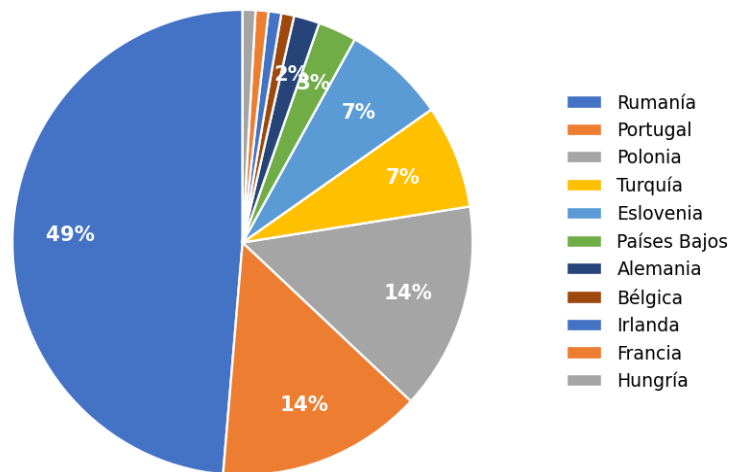


Figura 2. País de residencia de los participantes

Experiencia en soldadura:

Conclusión (Figura 3): De los 121 encuestados, el 37,7% tenía más de 10 años de experiencia en soldadura, el 36,0% tenía menos de 5 años y el 26,3% tenía entre 5 y 10 años. Esta distribución refleja una combinación equilibrada de profesionales experimentados y en las primeras etapas de su carrera.

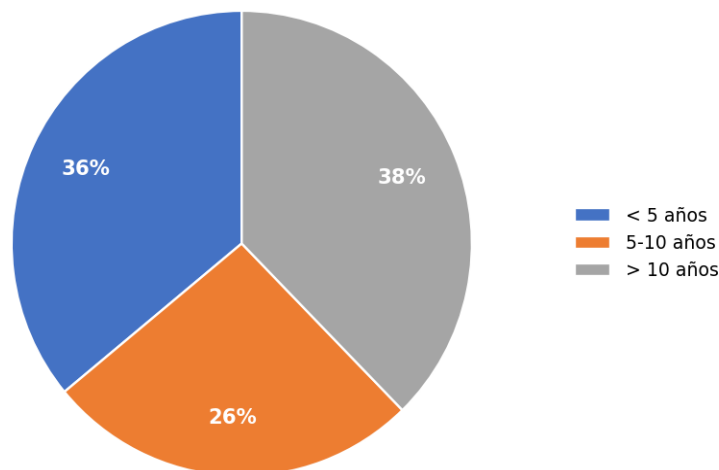


Figura 3. Experiencia en soldadura

3.1.2. Sección B: Tecnologías digitales

Uso de VR/AR/IA en formación

Conclusión (Figura 4): De los 121 encuestados, el 62,0% nunca había utilizado VR/AR/IA en formación, mientras que el 38,0% tenía experiencia previa con estas tecnologías. Los resultados indican que el uso de VR/AR/IA en la formación sigue siendo limitado, lo que pone de relieve el potencial de una adopción más amplia en la educación en soldadura.

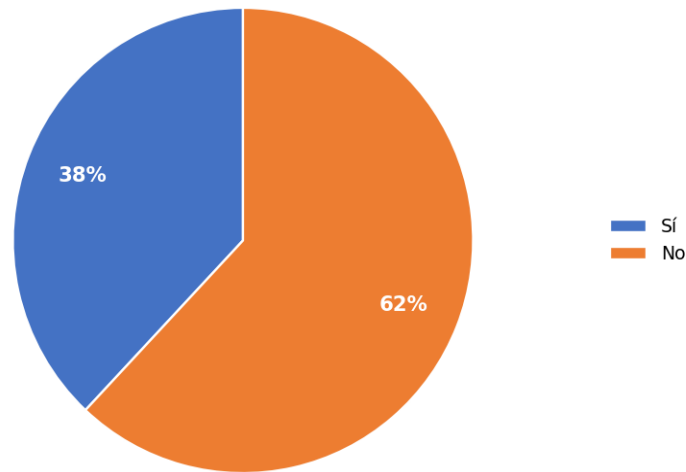


Figura 4. Uso de VR/AR/IA en formación

Riesgos percibidos del uso de herramientas digitales en la formación IWE:

Conclusión (Figura 5): Los resultados indican que los riesgos percibidos más significativos de la implementación de XR en la formación IWE son la falta de competencias digitales de los formadores (27,9%) y el tiempo necesario para familiarizarse con las herramientas XR (25,0%), mientras que la baja aceptación por parte de los alumnos (18,0%), la sobrecarga tecnológica (16,9%) y otras preocupaciones (12,2%) se consideraron menos significativas.

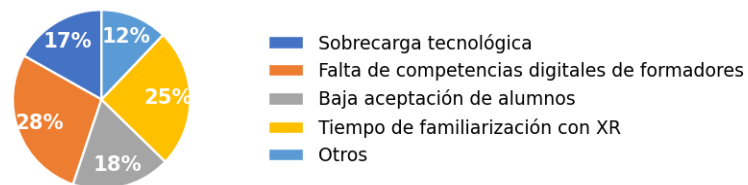


Figura 5. Riesgos percibidos del uso de herramientas digitales en la formación IWE

3.1.3. Sección C: Procesos de soldadura y corte

Utilidad de la simulación AR/VR para practicar los procesos MMA/MIG-MAG/TIG — posiciones de soldadura y control del baño de fusión (según: IAB-089 — «Sistemas de Simulación de Soldadura»)

Conclusión (Figura 6): Los resultados indican una percepción muy positiva de la simulación AR/VR para practicar los procesos de soldadura MMA/MIG-MAG/TIG. Más de la mitad de los encuestados calificó su utilidad como Buena (54,6%), mientras que el 26,9% la consideró Excelente. Solo el 3,4% la calificó como Deficiente o No útil, lo que sugiere una amplia aceptación de la simulación AR/VR como herramienta de formación eficaz para las posiciones de soldadura y el control del baño de fusión.

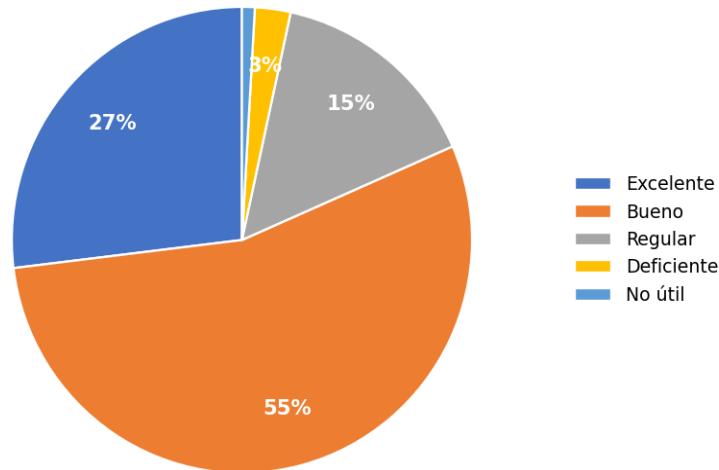


Figura 6. Utilidad de las simulaciones VR para MMA/MIG-MAG/TIG

Beneficios percibidos de AR/VR para la formación en ajuste de parámetros (corriente/voltaje/caudal de gas) en equipos reales

Conclusiones (Figura 7): Los resultados muestran un fuerte respaldo al uso de AR/VR en la formación sobre ajuste de parámetros para equipos reales de soldadura. La mayoría de los encuestados considera que AR/VR mejoraría la formación de forma significativa (53,3%) o moderada (36,7%), mientras que solo el 9,2% esperaba una mejora ligera y el 0,8% no percibía beneficio alguno. Estos resultados indican una amplia confianza en AR/VR como herramienta eficaz para mejorar la formación práctica en soldadura.

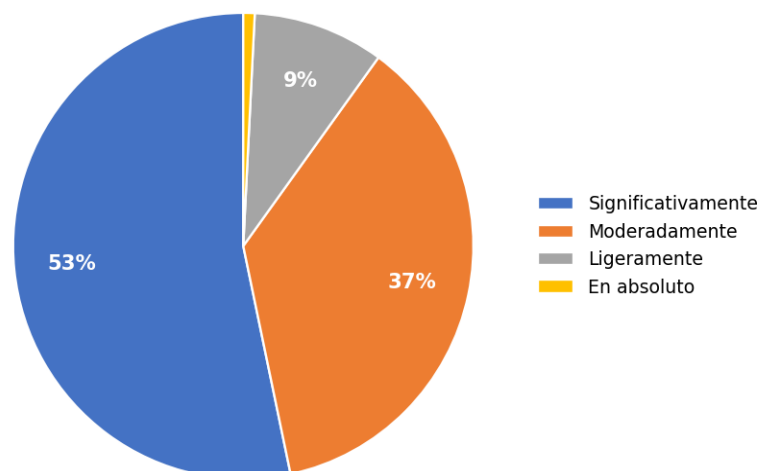


Figura 7. Beneficios percibidos de AR/VR para la formación en ajuste de parámetros

Utilidad percibida de AR/VR/IA para proporcionar retroalimentación en tiempo real sobre desviaciones (velocidad de avance, ángulo de la antorcha)

Conclusiones (Figura 8): Los resultados muestran un fuerte respaldo al uso de AR/VR/IA para proporcionar retroalimentación en tiempo real sobre las desviaciones de soldadura. La mayoría de los encuestados calificó esta funcionalidad como Muy útil (59,5%) o Esencial (23,1%), mientras que el 14,9% la consideró Útil y solo el 2,5% la calificó como Algo útil. En conjunto, los resultados ponen de relieve el alto valor percibido de la retroalimentación inteligente en tiempo real para mejorar la formación y el rendimiento en soldadura.

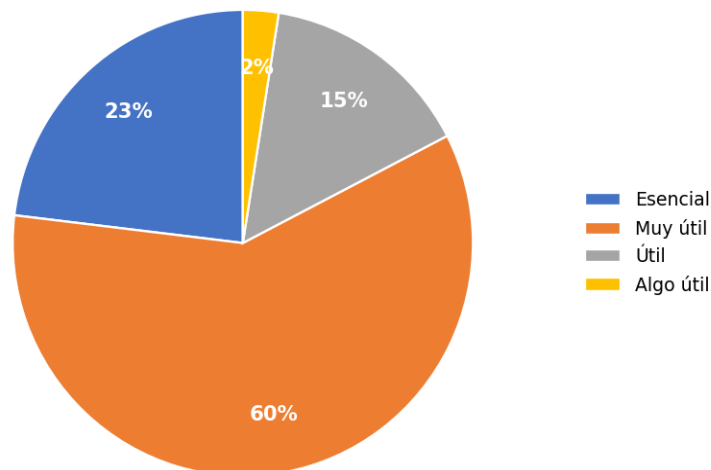


Figura 8. Utilidad percibida de AR/VR/IA para la retroalimentación en tiempo real

Relevancia percibida de VR/AR para la formación en procesos de corte (plasma, oxicorte, láser) para la demostración de trayectorias de corte

Conclusiones (Figura 9): Los resultados indican que VR/AR se considera ampliamente una herramienta valiosa para demostrar procedimientos de seguridad y trayectorias de corte en los procesos de oxicorte, plasma y láser. La mayoría de los encuestados la calificó como Relevante (55,4%) o Muy relevante (35,5%), mientras que solo el 0,8% la consideró Irrelevante, lo que confirma un fuerte respaldo a la integración de VR/AR en la formación de procesos de corte.

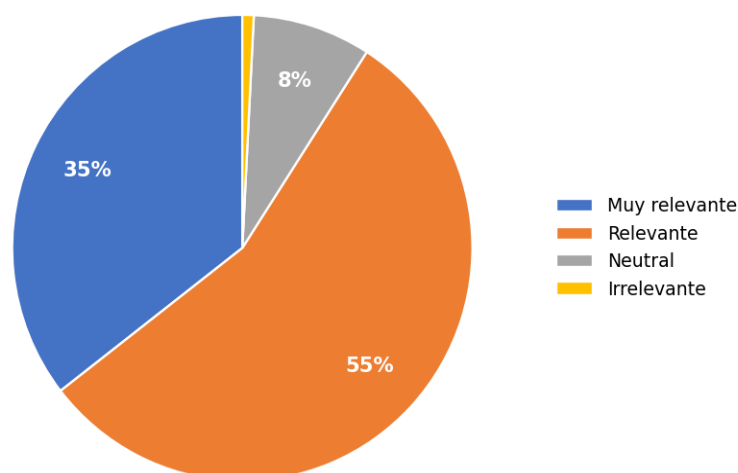


Figura 9. Relevancia de VR/AR para la formación en procesos de corte

Limitaciones más significativas percibidas de las tecnologías VR/AR/IA

Conclusiones (Figura 10): Los principales retos asociados a la implementación de XR son la falta de «sensación» física (44,8%) y el elevado coste de inversión inicial (30,4%). Otras preocupaciones, como la complejidad de la creación de contenidos digitales (12,8%), el tiempo necesario para dominar las herramientas XR (7,2%) y la sobrecarga tecnológica (4,0%), se mencionaron con menor frecuencia. En conjunto, los resultados sugieren que el realismo técnico y los costes de implementación son las principales barreras para una adopción más amplia de XR.

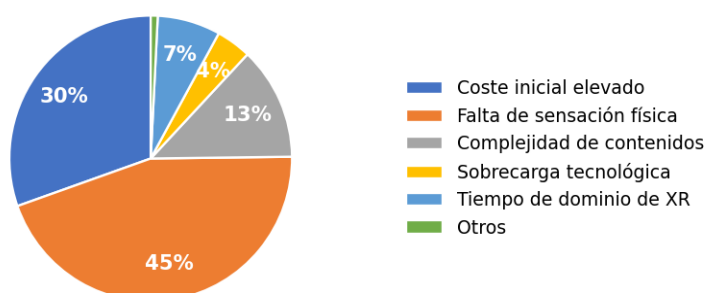


Figura 10. Limitaciones percibidas de las tecnologías VR/AR/IA

Beneficios principales percibidos de las tecnologías VR/AR/IA

Conclusiones (Figura 11): Los resultados indican que el beneficio principal previsto de las tecnologías XR es un aprendizaje más rápido (31,7%), seguido de una mejora de la seguridad (28,5%) y la reducción de residuos (24,4%). La retroalimentación en tiempo real (15,4%) se seleccionó con menor frecuencia, lo que sugiere que los encuestados valoran principalmente las tecnologías XR por mejorar la eficiencia del aprendizaje y los resultados de la formación.

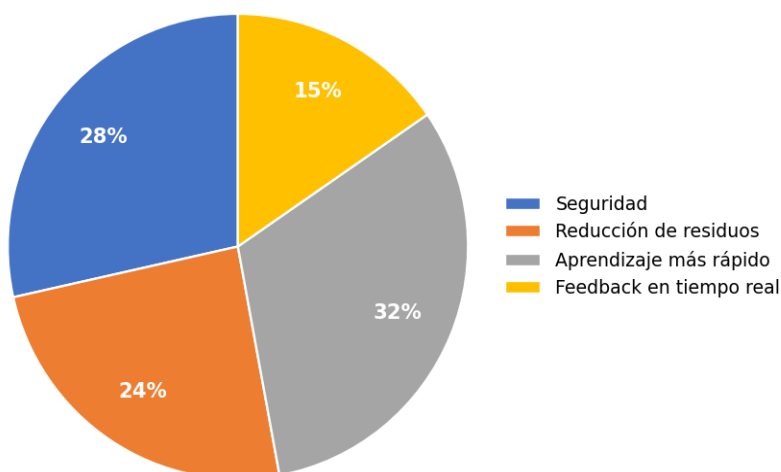


Figura 11. Beneficios principales percibidos de las tecnologías VR/AR/IA

3.1.4. Sección D: Materiales y su comportamiento durante la soldadura

Valor percibido de un modelo VR/AR que muestre las transformaciones de la Zona Afectada por el Calor (ZAC), las distorsiones y el aumento de la tensión residual para la comprensión de los fenómenos metalúrgicos

Conclusiones (Figura 12): Los resultados indican que el 54,5% de los encuestados considera que un modelo VR/AR mejoraría de forma significativa la comprensión de los fenómenos metalúrgicos, mientras que el 41,3% lo considera un buen apoyo para las clases teóricas. Solo el 2,5% percibe un impacto mínimo, y el 1,7% considera que los métodos tradicionales son suficientes.

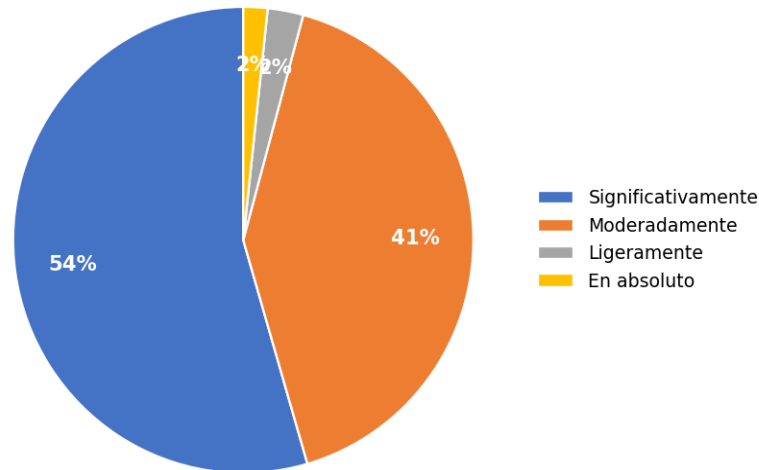


Figura 12. Valor percibido de VR/AR para comprender los fenómenos metalúrgicos

Utilidad percibida de AR/VR/IA para predecir la dureza, el riesgo de fisuración en frío o en caliente, y el precalentamiento/PH, OWHT (TTPS)

Conclusiones (Figura 13): Los resultados indican que la mayoría de los encuestados percibe AR/VR/IA como valiosos para la revisión técnica conforme a la norma ISO 14731, con un 42,1% que las considera muy útiles y un 25,6% que las califica de esenciales. Otro 26,4% las considera útiles para cálculos preliminares, mientras que solo el 5,0% percibe un valor práctico limitado y el 0,8% las considera no útiles.

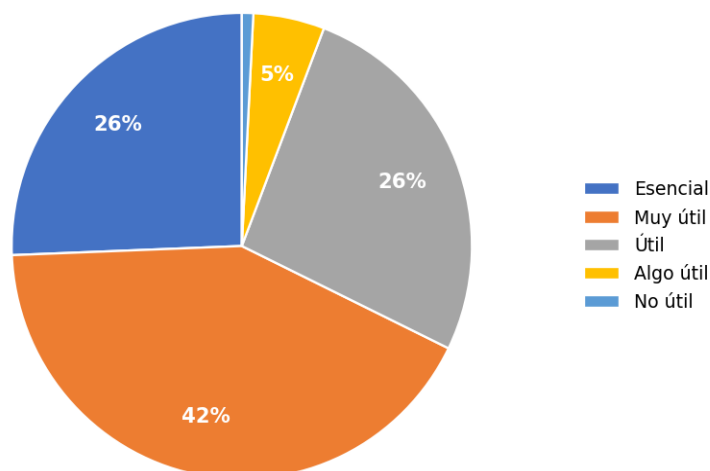


Figura 13. Utilidad percibida de AR/VR/IA para predecir parámetros de soldadura

Valor percibido de VR/AR para comprender la influencia de los materiales de aporte y los gases de protección en la microestructura

Conclusión (Figura 14): Los resultados indican que el 62,0% de los encuestados considera que VR/AR puede apoyar la comprensión de la influencia de los materiales de aporte y los gases de protección en la microestructura. En comparación, el 35,5% considera que puede proporcionar un apoyo parcial. Solo el 2,5% considera que VR/AR no contribuye a esta comprensión.

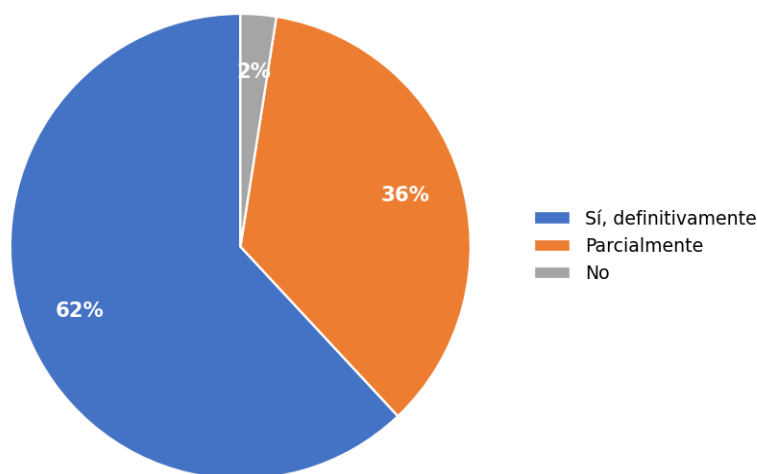


Figura 14. Valor de VR/AR para comprender la influencia de los materiales de aporte y los gases de protección en la microestructura

Simulaciones preferidas para el aprendizaje en profundidad del comportamiento de los materiales en la soldadura

Conclusión (Figura 15): Los resultados indican que la simulación más valiosa para el aprendizaje en profundidad del comportamiento de los materiales en la soldadura es la de las transformaciones de fase y los diagramas CCT (47,4%), seguida de los fenómenos de fisuración (36,8%). En cambio, los mecanismos de solidificación (8,3%) y el tratamiento térmico post-soldadura (7,5%) se consideran prioridades menos importantes por los encuestados.

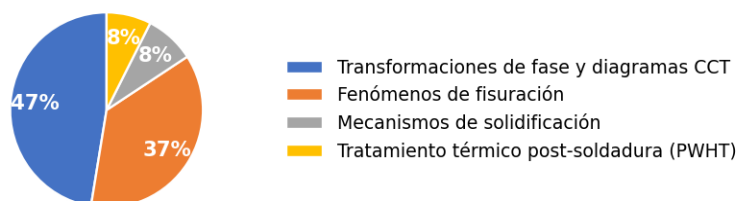


Figura 15. Simulaciones preferidas para el aprendizaje del comportamiento de los materiales en soldadura

3.1.5. Sección E: Diseño de estructuras soldadas

Beneficios percibidos de la visualización 3D/VR/AR de las uniones y la accesibilidad de soldadura para mejorar el diseño para la fabricabilidad y reducir las distorsiones

Conclusión (Figura 16): Los resultados indican que el 52,9% de los encuestados considera que la visualización 3D/VR/AR de las uniones y la accesibilidad de soldadura mejoraría de forma significativa el diseño para la fabricabilidad y reduciría la distorsión, mientras que el 41,3% lo considera moderadamente beneficioso. Solo el 5,8% percibe una mejora ligera, lo que indica un fuerte respaldo global al uso de estas tecnologías en el diseño y la fabricación de estructuras soldadas.

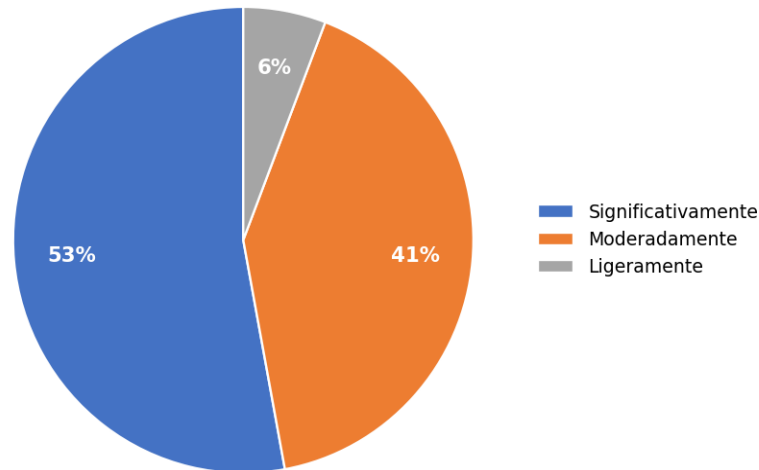


Figura 16. Beneficios percibidos de la visualización 3D/VR/AR para el diseño orientado a la fabricabilidad

Utilidad percibida de AR/VR para la superposición de uniones soldadas y la secuencia de soldadura directamente sobre la pieza, con el fin de evitar limitaciones y deformaciones

Conclusión (Figura 17): Los resultados indican que la mayoría de los encuestados considera AR/VR muy beneficioso para visualizar las uniones soldadas y las secuencias de soldadura, con un 52,9% que califica estas tecnologías como muy útiles y un 24,0% como extremadamente útiles. Además, el 22,3% las considera útiles, mientras que solo el 0,8% las percibe como algo útiles, lo que demuestra un fuerte respaldo a la aplicación de AR/VR para mejorar la planificación de la soldadura y reducir las limitaciones y deformaciones de fabricación.

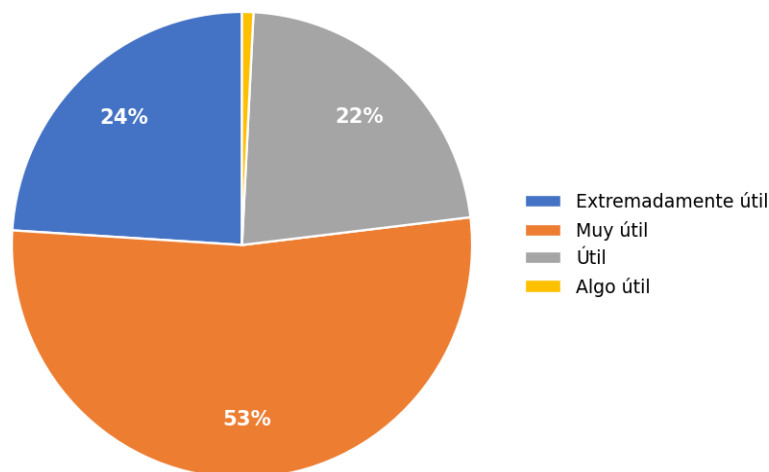


Figura 17. Utilidad percibida de AR/VR para la planificación de la secuencia de soldadura y la accesibilidad de las uniones

Idoneidad percibida del uso de AR/VR/IA para la optimización del diseño (por ejemplo, posicionamiento de uniones, espesor, cordones) basada en datos experimentales

Conclusión (Figura 18): Los resultados indican que los encuestados respaldan firmemente el uso de AR/VR/IA para la optimización del diseño de soldadura basada en datos experimentales, con un 47,9% que la considera adecuada y un 42,1% muy adecuada. Solo el 9,1% expresó una opinión neutral, mientras que apenas el 0,8% consideró estas tecnologías inadecuadas.

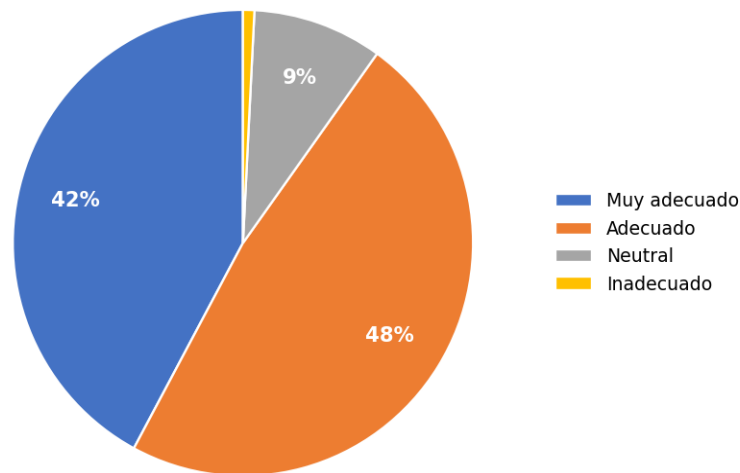


Figura 18. Idoneidad percibida de AR/VR/IA para la optimización del diseño

Funcionalidades digitales más esenciales para el diseño de estructuras soldadas

Conclusión (Figura 19): Los resultados indican que las simulaciones termomecánicas se consideran la funcionalidad digital más esencial para el diseño de estructuras soldadas, con un 51,1% de las respuestas. La integración de bibliotecas de WPS fue seleccionada por el 30,5% de los encuestados, mientras que el 18,4% identificó la automatización de las comprobaciones normativas como la funcionalidad más importante.

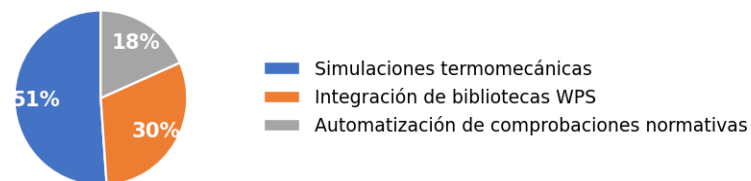


Figura 19. Funcionalidades digitales esenciales para el diseño de estructuras soldadas

3.1.6. Sección F: Problemas de fabricación de estructuras soldadas

Utilidad percibida de AR/VR para simular el flujo de fabricación (montaje-soldadura-END) con el fin de identificar cuellos de botella y áreas de riesgo

Conclusión (Figura 20): Los resultados indican un fuerte respaldo al uso de AR/VR para simular el flujo de fabricación (montaje → soldadura → END), con un 45,0% de los encuestados que califica su utilidad como alta y un 36,7% como muy alta. Otro 16,7% la consideró moderadamente útil, mientras que solo el 1,7% percibió poco o ningún valor, lo que pone de relieve el potencial de AR/VR para identificar cuellos de botella y áreas de riesgo en la producción.

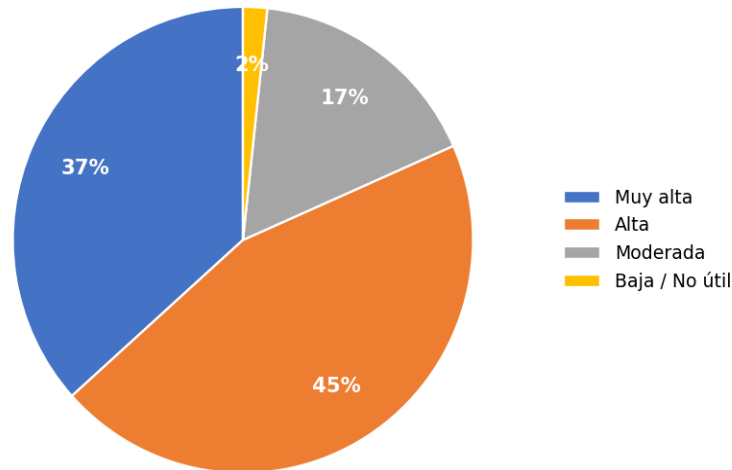


Figura 20. Utilidad percibida de AR/VR para la simulación del flujo de fabricación

Eficiencia percibida de AR/VR en la reducción de errores de montaje (alineación, preparación de la unión) antes del cebado del arco

Conclusión (Figura 21): Los resultados indican que los encuestados perciben AR/VR como muy eficaz para reducir los errores de montaje antes del cebado del arco, con un 38,3% que califica su eficiencia como mucha y un 36,3% como significativa. Además, el 25,0% la considera moderadamente eficaz, mientras que solo el 0,8% percibe un beneficio ligero, lo que demuestra una fuerte confianza en el uso de AR/VR para mejorar la alineación y la preparación de las uniones de montaje.

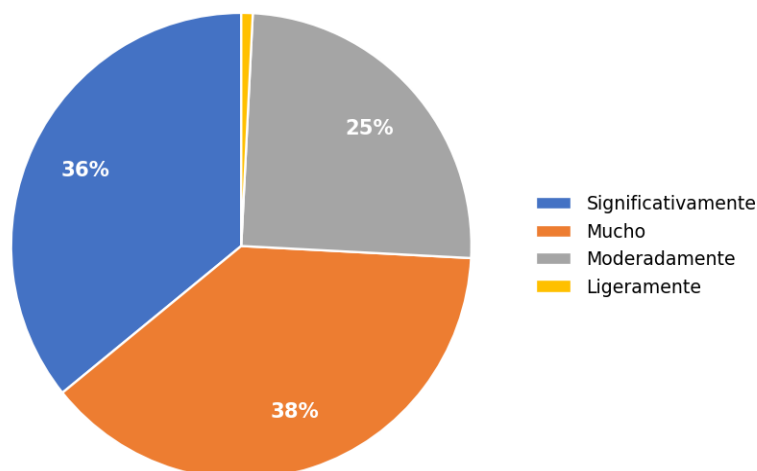


Figura 21. Eficiencia percibida de AR/VR en la reducción de errores de montaje

Utilidad en tiempo real percibida de AR/VR/IA para identificar no conformidades (por ejemplo, parámetros fuera de tolerancia) con el fin de evitar reparaciones

Conclusión (Figura 22): Los resultados indican que los encuestados respaldan firmemente el uso de AR/VR/IA para la identificación en tiempo real de no conformidades, con un 47,9% que califica estas tecnologías como muy útiles y un 34,5% como extremadamente útiles. Solo el 16,8% las consideró útiles, mientras que apenas el 0,8% las percibió como no útiles.

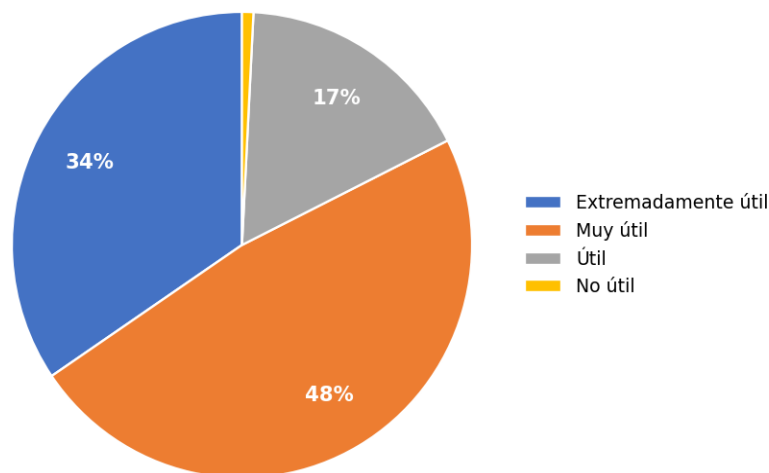


Figura 22. Utilidad percibida de AR/VR/IA para la detección de no conformidades en tiempo real

Contribución percibida de VR/AR/IA al cumplimiento de la norma ISO 3834 en la inspección previa, durante y posterior a la soldadura, y en la trazabilidad de materiales y consumibles

Conclusión (Figura 23): Los resultados indican que el 43,8% de los encuestados considera que VR/AR/IA facilita moderadamente el cumplimiento de los requisitos de la norma ISO 3834, mientras que el 39,7% percibe una contribución significativa. Solo el 14,9% señaló una contribución ligera, y el 1,7% consideró que estas tecnologías no facilitan el cumplimiento en absoluto.

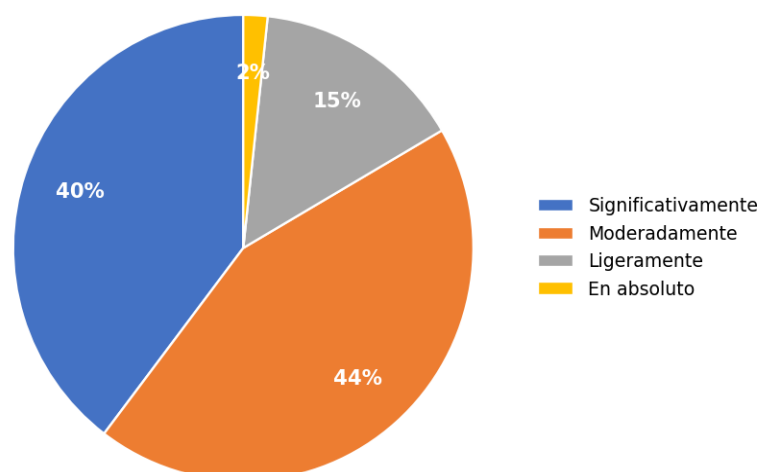


Figura 23. Contribución percibida de VR/AR/IA al cumplimiento de la norma ISO 3834

Elementos esenciales a incluir en un taller virtual ideal para la formación profesional

Conclusión (Figura 24): Los resultados indican que la simulación física en tiempo real del baño de soldadura se considera el elemento más esencial de un taller virtual ideal (68,6%), seguido de la simulación de la configuración del equipo (26,4%), mientras que los escenarios de riesgo para la seguridad fueron

seleccionados solo por el 5,0% de los encuestados.

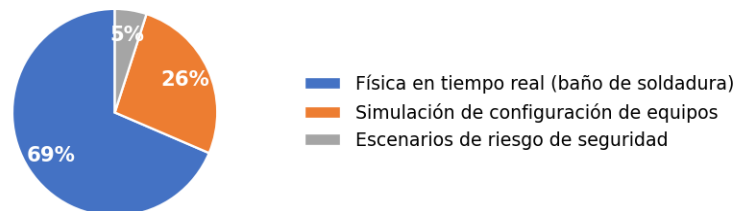


Figura 24. Elementos esenciales de un taller virtual ideal para la formación profesional

Utilidad percibida de VR/AR para la detección de defectos en tiempo real (por ejemplo, porosidad, socavado) durante los procesos

Conclusión (Figura 25): Los resultados indican un fuerte respaldo a las herramientas VR/AR que proporcionan alertas de defectos en tiempo real durante la soldadura, con un 51,2% de los encuestados que las considera esenciales y un 43,0% útiles. Solo el 4,1% las calificó como algo útiles, mientras que el 1,7% las consideró no útiles.

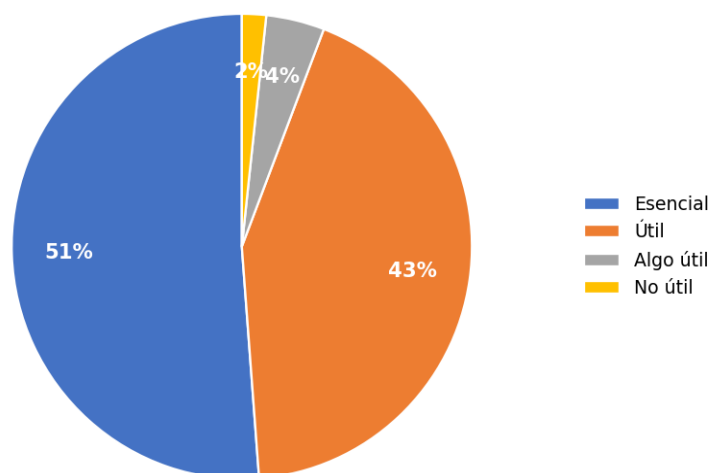


Figura 25. Utilidad percibida de VR/AR para la detección de defectos en tiempo real

Utilidad percibida del uso de VR/AR para simular cálculos de soldadura (por ejemplo, velocidades de enfriamiento, aporte térmico) con el fin de mejorar el desarrollo del PQR y el WPS

Conclusión (Figura 26): Los resultados indican un fuerte respaldo al uso de VR/AR para simular cálculos de soldadura para el desarrollo del PQR y el WPS, con un 47,5% de los encuestados que lo califica como muy útil y un 45,0% como útil. Solo el 5,0% lo consideró algo útil, mientras que el 2,5% lo consideró no útil.

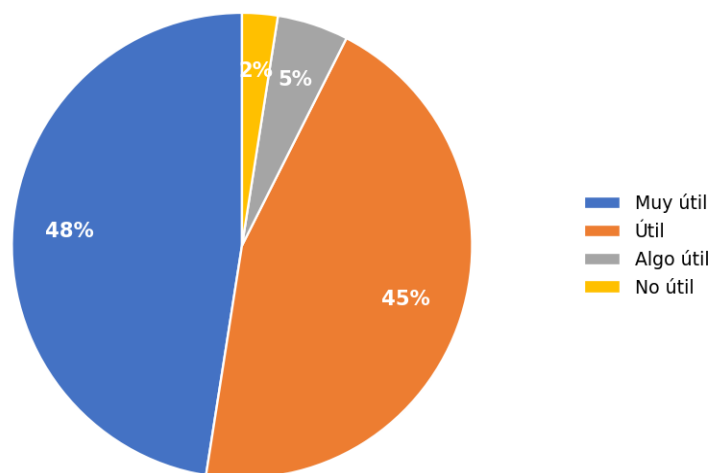


Figura 26. Utilidad percibida de VR/AR para simular cálculos de soldadura

Ejercicios de laboratorio VR/AR preferidos para la formación profesional

Conclusión (Figura 27): Los resultados indican que la inspección visual fue el ejercicio de laboratorio VR/AR preferido (35,3%), seguido de la gestión de reparaciones (21,8%), la auditoría virtual (21,4%) y la validación de procedimientos (20,7%). Solo el 0,8% de los encuestados seleccionó otros tipos de ejercicios.

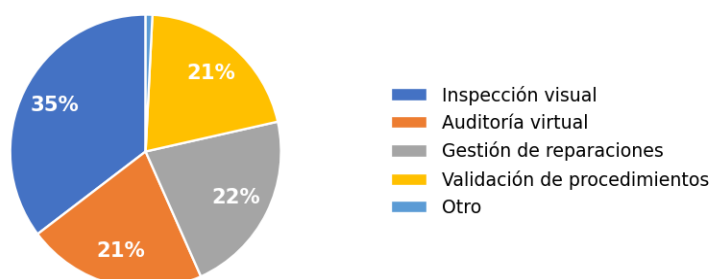


Figura 27. Ejercicios de laboratorio VR/AR preferidos para la formación profesional

3.1.7. Sección G: Validación estratégica de beneficios XR — Alcance formativo

Revisión técnica (ISO 14731): utilidad percibida de AR/VR para comprobar la accesibilidad de la antorcha en geometrías 3D complejas antes de la producción

Conclusión (Figura 28): Los resultados indican un fuerte respaldo al uso de AR/VR para evaluar la accesibilidad de la antorcha durante la revisión técnica ISO 14731, con un 45,5% de los encuestados que lo califica como muy valioso y un 31,4% que lo considera estratégicamente importante. Solo el 19,0% percibió un valor moderado, mientras que el 4,1% lo consideró sin valor.

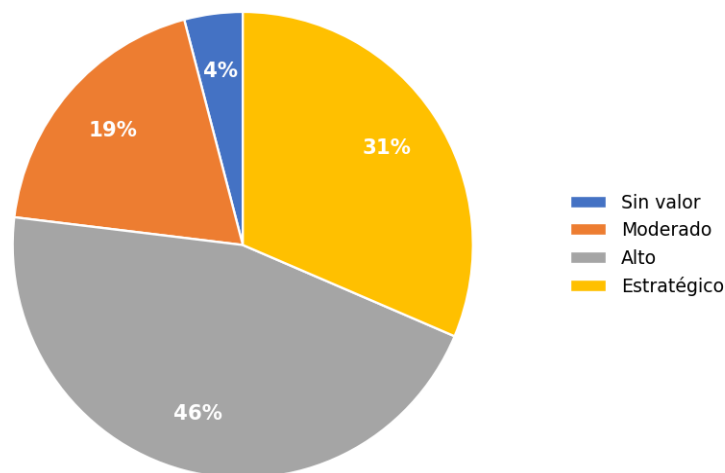


Figura 28. Utilidad percibida de AR/VR para la evaluación de la accesibilidad de la antorcha

Utilidad percibida de AR/VR para la selección de materiales y consumibles frente a certificados digitales

Conclusión (Figura 29): Los resultados indican un fuerte respaldo al uso de AR/VR para validar virtualmente materiales y consumibles frente a certificados digitales, con un 49,2% de los encuestados que lo califica como muy valioso y un 26,7% como estratégicamente importante. Solo el 20,0% percibió un valor moderado, mientras que el 4,2% lo consideró sin valor.

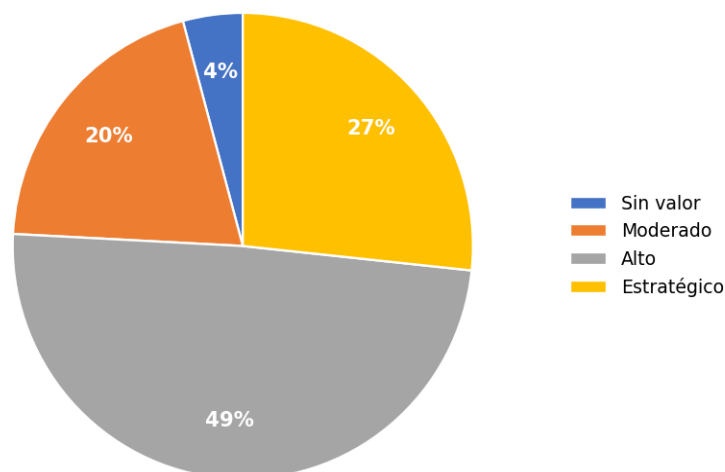


Figura 29. Utilidad percibida de AR/VR para la validación de materiales y consumibles

Utilidad percibida de la simulación 3D de imperfecciones de soldadura para la inspección y ensayo de uniones soldadas

Conclusión (Figura 30): Los resultados indican un fuerte respaldo al uso de imperfecciones de soldadura 3D generadas aleatoriamente en la formación en END/ED, con un 45,5% de los encuestados que califica este enfoque como muy valioso y un 30,6% como estratégicamente importante. Solo el 21,5% percibió un valor moderado, mientras que el 2,5% lo consideró sin valor.

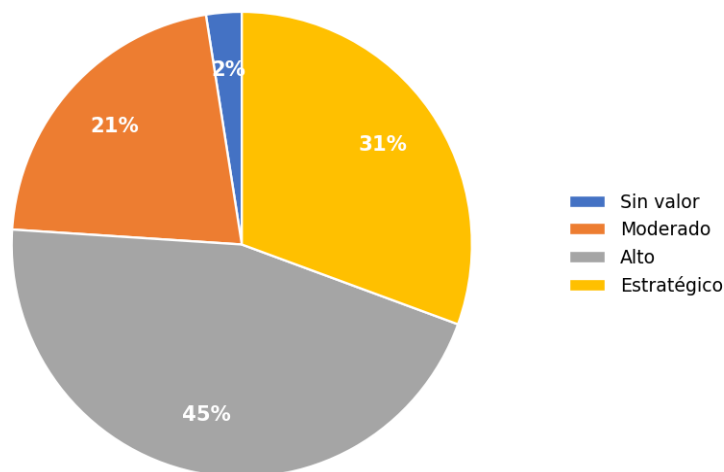


Figura 30. Utilidad percibida de la simulación 3D de imperfecciones de soldadura para la inspección

Utilidad percibida de AR/VR para la formación en la gestión de no conformidades, acciones correctivas y gestión del ciclo de reparación, desde el defecto hasta su resolución

Conclusión (Figura 31): Los resultados indican un fuerte respaldo al uso de AR/VR para gestionar el ciclo de reparación, con un 44,2% de los encuestados que lo califica como muy valioso y un 35,8% como estratégicamente importante. Solo el 17,5% percibió un valor moderado, mientras que el 2,5% lo consideró sin valor.

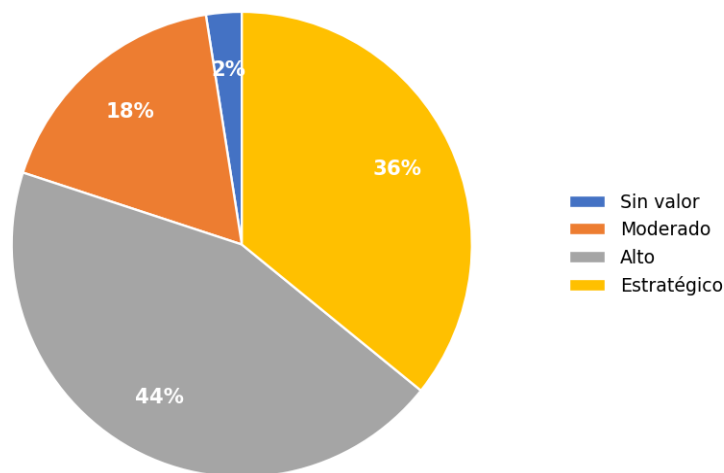


Figura 31. Utilidad percibida de AR/VR para la gestión del ciclo de reparación

Utilidad percibida de XR para evaluar y monitorizar los niveles de rendimiento del personal de soldadura

Conclusión (Figura 32): Los resultados indican percepciones positivas de XR para la cualificación del personal de soldadura, con un 40,5% de los encuestados que lo califica como muy valioso y un 24,0% como estratégicamente importante. Mientras tanto, el 29,8% percibió un valor moderado, y solo el 5,8% lo consideró sin valor.

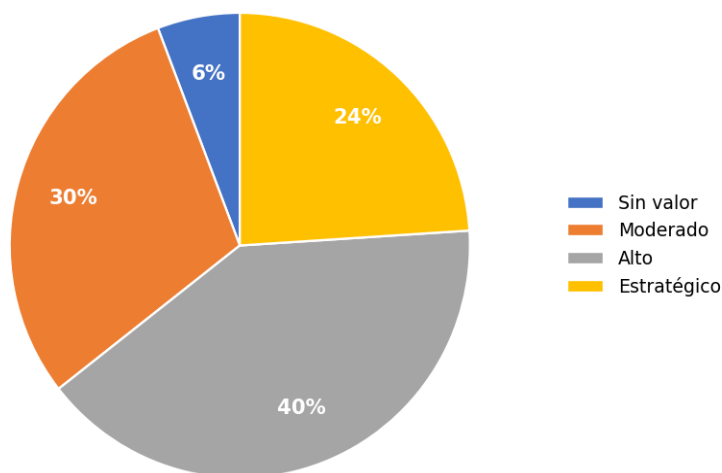


Figura 32. Utilidad percibida de XR para la cualificación del personal de soldadura

Utilidad percibida de XR para la visualización del tratamiento térmico (PWHT): velocidades de enfriamiento y requisitos de precalentamiento para prevenir la fisuración

Conclusión (Figura 33): Los resultados indican un fuerte respaldo al uso de XR para visualizar el PWHT, las velocidades de enfriamiento y los requisitos de precalentamiento, con un 51,7% de los encuestados que lo califica como muy valioso y un 30,0% como estratégicamente importante. Solo el 17,5% percibió un valor moderado, mientras que apenas el 0,8% lo consideró sin valor.

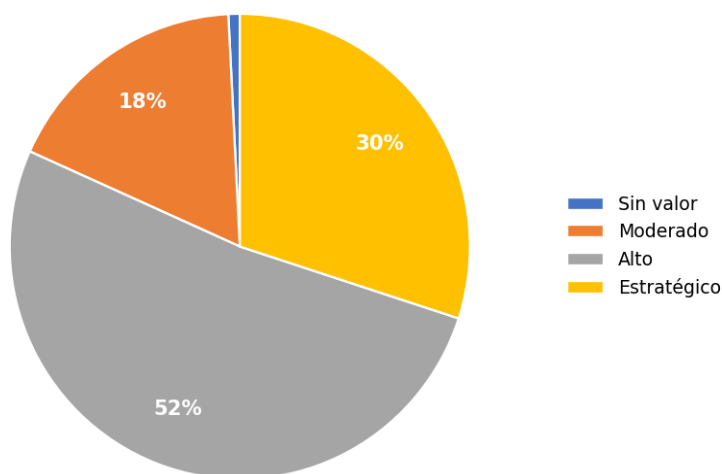


Figura 33. Utilidad percibida de XR para la visualización del PWHT

Utilidad percibida de XR para la auditoría virtual: identificación de no conformidades de seguridad y medioambientales en una auditoría virtual de taller en 360°

Conclusión (Figura 34): Los resultados indican un fuerte respaldo al uso de XR en la auditoría virtual, con un 43,0% de los encuestados que lo califica como muy valioso y un 25,6% como estratégicamente importante. Mientras tanto, el 28,1% percibió un valor moderado, y solo el 3,3% lo consideró sin valor.

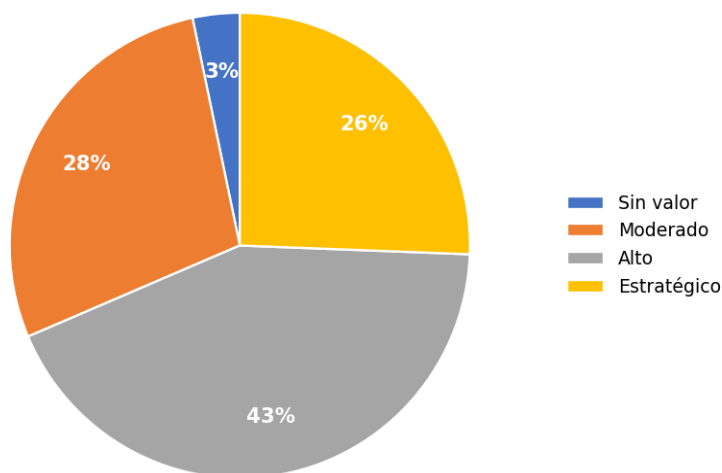


Figura 34. Utilidad percibida de XR para la auditoría virtual

Utilidad percibida de XR para la determinación de los procedimientos de soldadura (WPS/PQR)

Conclusión (Figura 35): Los resultados indican un fuerte respaldo al uso de XR en el desarrollo de WPS/PQR, con un 50,4% de los encuestados que lo califica como muy valioso y un 30,3% como estratégicamente importante. Solo el 16,8% percibió un valor moderado, mientras que el 2,5% lo consideró sin valor.

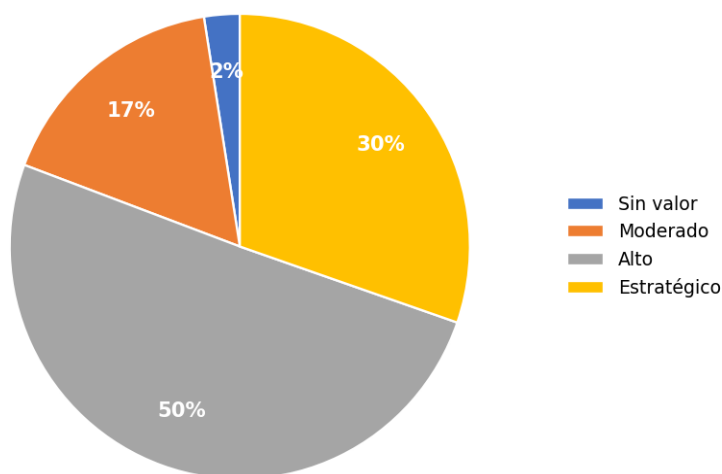


Figura 35. Utilidad percibida de XR para el desarrollo de WPS/PQR

Utilidad percibida de XR para la recopilación de datos sobre defectos de soldadura

Conclusión (Figura 36): Los resultados indican un respaldo muy fuerte al uso de XR para recopilar datos sobre defectos de soldadura, con un 49,6% de los encuestados que lo califica como estratégicamente importante y un 39,7% como muy valioso. Solo el 9,9% percibió un valor moderado, mientras que apenas el 0,8% lo consideró sin valor.

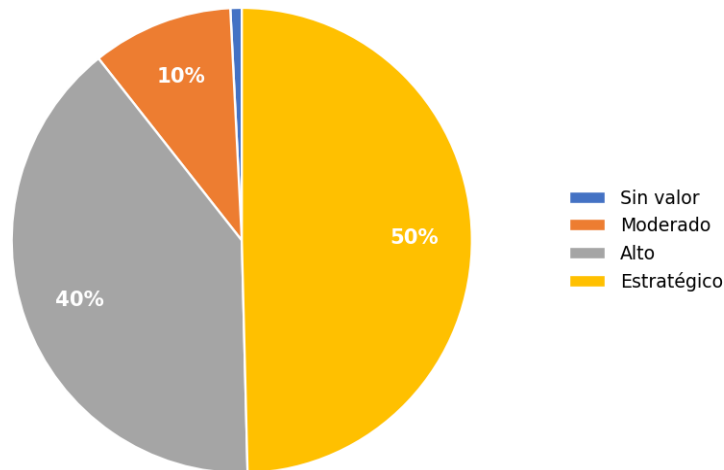


Figura 36. Utilidad percibida de XR para la recopilación de datos sobre defectos de soldadura

Utilidad percibida de XR para la monitorización del aporte térmico en los procesos de soldadura

Conclusión (Figura 37): Los resultados indican un fuerte respaldo al uso de XR para monitorizar el aporte térmico en los procesos de soldadura, con un 48,8% de los encuestados que lo califica como muy valioso y un 34,7% como estratégicamente importante. Solo el 14,9% percibió un valor moderado, mientras que apenas el 1,7% lo consideró sin valor.

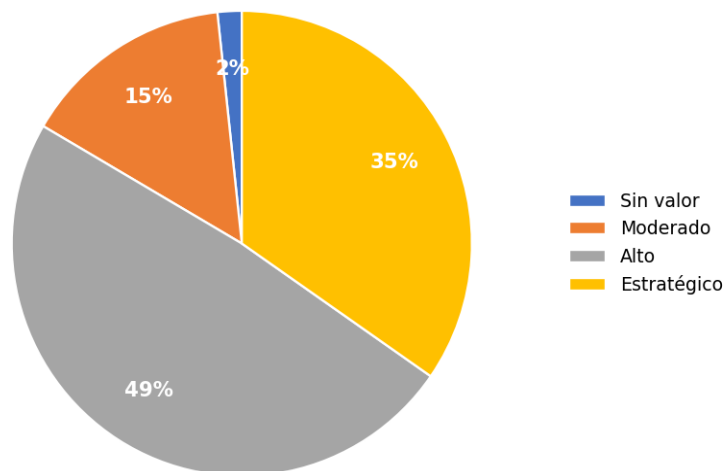


Figura 37. Utilidad percibida de XR para la monitorización del aporte térmico

Utilidad percibida de XR para el diseño de uniones soldadas

Conclusión (Figura 38): Los resultados indican que las tecnologías XR se consideran muy valiosas para el diseño de uniones soldadas, con un 48,8% de los encuestados que califica su valor como Alto y un 32,2% como Estratégico. Solo el 18,2% percibió un valor Moderado, mientras que el 0,8% no percibió valor alguno, lo que demuestra una fuerte confianza en el potencial de XR para apoyar el diseño de uniones soldadas.

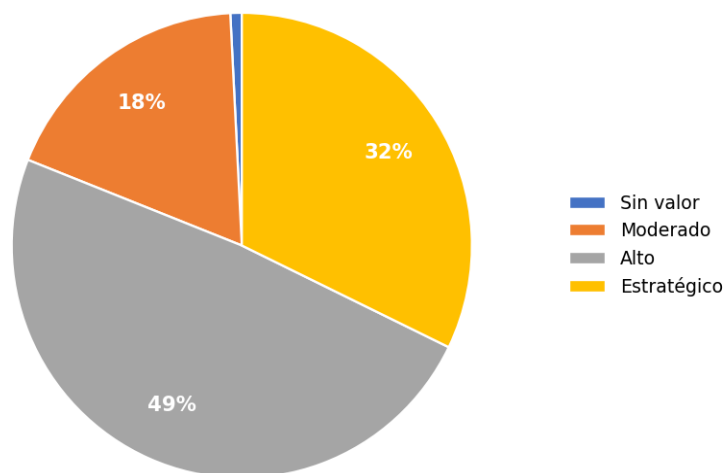


Figura 38. Utilidad percibida de XR para el diseño de uniones soldadas

Comentarios adicionales

Sobre los procesos de soldadura y corte:

— ¡Es una idea muy buena que merece ser implementada!

— Creo que, para que una persona decida si realmente disfrutaría soldando en la práctica, es esencial experimentar la retroalimentación real implicada —como el ruido, el olor, la luz y otras sensaciones físicas—. Por eso la práctica presencial sigue siendo firmemente necesaria en cualquier actividad, ya que ayuda a una persona a determinar si realmente quiere aprender procesos de soldadura específicos, trabajar como soldador, ensamblar componentes y afrontar la complejidad de la profesión según su propia motivación y voluntad de aprender. La soldadura es un proceso especial y uno de los más importantes en la fabricación metálica. Aunque podemos aprender casi cualquier cosa —matemáticas, idiomas, física, seguridad laboral, etc.— con ayuda de la IA y la realidad virtual, las habilidades físicas requieren un enfoque físico; de lo contrario, no podemos entrenar al cerebro para realizar ciertos movimientos con solo observarlos.

— Estas tecnologías son herramientas excelentes para el aprendizaje acelerado, la estandarización y la seguridad, pero no pueden sustituir la experiencia práctica y sensorial que requiere la certificación y el desempeño de un soldador profesional.

— «Como conclusión técnica y pedagógica sobre la integración de las tecnologías XR en la formación IWE (International Welding Engineer), es esencial considerar estas herramientas no como una solución universal o una 'bala de plata', sino como un catalizador de competencias. Los siguientes argumentos y justificaciones técnicas respaldan las valoraciones anteriores, en particular sobre los procesos de soldadura y corte: 1. Justificación proceso por proceso (MMA frente a MIG/MAG frente a TIG). Para el proceso MMA (111): la importancia de XR es crítica para dominar el movimiento tridimensional. El alumno debe realizar dos movimientos simultáneamente: el avance lineal a lo largo de la unión y el avance progresivo del electrodo hacia el baño de fusión a medida que se consume. El simulador es ideal para aislar y dominar esta coordinación fina. Para el proceso MIG/MAG (135): la correlación entre la velocidad de alimentación del hilo y el voltaje del arco determina el modo de transferencia (cortocircuito, spray, globular). XR permite visualizar gráficamente la ventana operativa (WPS) en la que estas variables funcionan de forma óptima, dando al futuro ingeniero una comprensión intuitiva de la estabilidad del arco. Para el proceso TIG (141): aunque su utilidad es moderada debido a la complejidad táctil, XR elimina uno de los errores más costosos de los principiantes: tocar el electrodo de tungsteno con el baño de fusión o la varilla de aporte, una acción que en la práctica real contamina inmediatamente la soldadura y exige detenerse para reafilear el electrodo. 2. Procesos de corte (oxicorte, plasma, láser): aunque el enfoque suele centrarse en la soldadura, la formación IWE también incluye las tecnologías de corte térmico. En este caso, la simulación VR/AR es extremadamente útil para el oxicorte: proporciona una comprensión visual de la llama de precalentamiento (neutra, carburante u oxidante) y del control de la distancia entre la boquilla y la chapa para evitar el retroceso de llama, que constituye un importante riesgo de seguridad en la práctica real. En el corte por plasma, mantener el ángulo correcto de la antorcha permite lograr un corte perpendicular sin formación excesiva de escoria. 3. El argumento económico y de sostenibilidad desde la perspectiva de un responsable de programa IWE: más allá de la velocidad de aprendizaje, los argumentos ecológicos y financieros son irrefutables. Una hora de soldadura virtual supone: cero emisiones de humos y gases de soldadura (reduciendo los costes de ventilación y filtración del taller); cero consumo de gases de protección caros (argón, mezclas de helio) y de metales de aporte (aceros de alta aleación, aluminio); cero residuos (probetas cortadas y soldadas solo para desecharse como chatarra). Reflexión final: las tecnologías potenciadas por IA desplazan la carga de la formación desde el área del 'ensayo y error físico' —donde los alumnos desperdician materiales para entender un concepto— hacia el área del 'análisis cognitivo preliminar'. Cuando el alumno finalmente entra en el taller real, ya no es un principiante confuso, sino un operador informado que utiliza la cabina de soldadura únicamente para calibrar la sensación física que la tecnología aún no puede replicar.»

Aportar información técnica específica sobre el comportamiento de los materiales, especialmente en relación con las normas ISO

— Las tecnologías XR/IA pueden mejorar la formación en ingeniería de soldadura ayudando a los alumnos a comprender los fenómenos metalúrgicos, los parámetros de soldadura y los requisitos ISO mediante simulación y visualización. No obstante, deben utilizarse como herramientas educativas complementarias, no

como sustitutos de los ensayos reales y la experiencia práctica.

— Las tecnologías VR/AR e IA son herramientas valiosas para la formación y el análisis preliminar, pero no pueden sustituir los ensayos reales ni la experiencia técnica exigida por las normas ISO. Deben utilizarse como herramientas de apoyo a la decisión, no como sustitutos de los procesos de cualificación y verificación.

Cómo puede VR/AR/IA optimizar el diseño de estructuras soldadas

— Simulación de uniones soldadas en condiciones extremas, como huelgo estrecho, desalineación, huelgo amplio, etc.

— VR/AR e IA pueden optimizar el diseño de estructuras soldadas al permitir la identificación temprana de limitaciones, la visualización de las condiciones de acceso y las secuencias de soldadura, y la reducción de distorsiones mediante simulaciones, recomendaciones basadas en datos, formación y acceso a bases de datos.

— La aplicación combinada de la Realidad Virtual (VR) para la evaluación ergonómica, el análisis de accesibilidad y la visualización geométrica a escala real; la Realidad Aumentada (AR) para la guía de ejecución en tiempo real y la prevención de errores; y la Inteligencia Artificial (IA) para el análisis metalúrgico predictivo, la optimización estructural y la toma de decisiones inteligente, transforma de manera fundamental el rol del Ingeniero Internacional de Soldadura (IWE). En lugar de actuar únicamente como diseñador de uniones soldadas, el IWE se convierte en un gestor del ciclo de vida de las estructuras soldadas, capaz de garantizar el cumplimiento de las normas internacionales, mejorar el rendimiento estructural y la seguridad, reducir los defectos de fabricación y la distorsión, y lograr una optimización económica sustancial a lo largo de todo el proceso de diseño, fabricación y mantenimiento.

3.1.8. Comentarios finales del cuestionario de ingenieros

- ¡Es una idea muy buena que merece ser implementada!
- Estoy disponible para colaborar en la optimización de los métodos de enseñanza y en el trabajo con VR e IA.
- Creo que todo IWE debería tener una visión global de los proyectos en los que participa y mantener flexibilidad en su relación con el capataz de soldadura y los soldadores.
- Debería darse mayor importancia a la preparación de WPS, expedientes de cualificación, expedientes de aprobación y al aprendizaje de las variables esenciales. Además de saber calcular la temperatura de precalentamiento y realizar otros cálculos técnicos, un ingeniero de soldadura también debería saber preparar un expediente de cualificación, un expediente de renovación de autorización y un expediente de cualificación de procedimiento de soldadura. Actualmente, el curso/examen se basa principalmente en la memorización mecánica de información. La formación práctica es esencial, y la tecnología VR podría apoyar de forma significativa el proceso de aprendizaje.
- La integración de XR en la cualificación I/EWE mejora la calidad de la formación al simular las condiciones de acceso, las secuencias de soldadura y los riesgos asociados, ofreciendo a la vez un entorno seguro y controlado para el análisis técnico, la evaluación de competencias y la comprensión de los fenómenos térmicos sin consumo de recursos logísticos, materiales ni energía.
- Realicé formación en TWI, y cuentan con una formación ONLINE muy bien estructurada que ayuda al alumno a aprender mejor y más rápido.
- La implementación combinada de VR, AR, IA, gemelos digitales, simulaciones predictivas y análisis de datos inteligente transforma de manera fundamental la educación y el rol profesional del Ingeniero Internacional/Europeo de Soldadura. En lugar de actuar únicamente como especialista responsable de los procedimientos de soldadura y la documentación, el IWE/EWE moderno se convierte en un gestor digital del ciclo de vida de las estructuras soldadas, capaz de integrar la optimización del diseño, la simulación de procesos, el aseguramiento de la calidad, la trazabilidad, el mantenimiento predictivo y la gestión de riesgos en un flujo de trabajo digital unificado.
- En lugar de actuar únicamente como especialista responsable de los procedimientos de soldadura y la documentación, el IWE/EWE moderno se convierte en un gestor digital del ciclo de vida de las estructuras soldadas, capaz de integrar la optimización del diseño, la simulación de procesos, el aseguramiento de la calidad, la trazabilidad, el mantenimiento predictivo y la gestión de riesgos en un flujo de trabajo digital unificado.
- Al alinear las tecnologías digitales avanzadas con las normas internacionales —incluidas ISO 14731, ISO 3834, ISO 15614-1, ISO 13920, ISO 9606, EN 1090, Eurocódigo 3 y las directrices de formación IIW/IAB—, los futuros ingenieros de soldadura estarán mejor preparados para mejorar el rendimiento estructural, aumentar la seguridad, reducir los costes de producción, acelerar los procesos de cualificación y apoyar la transformación digital de la industria de la soldadura en el marco de la Industria 4.0 y más allá.
- Creo que la aplicación de AR/VR/MR puede que aún esté en fase de introducción, pero es importante buscar las áreas adecuadas.
- Me pondré en contacto para saber si existe alguna posibilidad de colaborar con el proyecto del consorcio.
- Si un soldador no se ha quemado ni se ha ahogado con el humo, no es un soldador de verdad.
- Los simuladores pueden integrarse en el currículo IWE/IWT/IWS, pero solo como método docente complementario, no como sustituto de los requisitos obligatorios establecidos en la IAB-252r5.
- Se recomienda una combinación de actividades tradicionales/prácticas y el nuevo sistema de cualificación IWE/IWT.
- La integración de XR será esencial para la formación de los ingenieros de soldadura, ya que permite la validación de la accesibilidad, la optimización de WPS/WPQR y el control digital de la calidad en tiempo real. A corto plazo, XR acelera el aprendizaje; a medio plazo, estandarizará la evaluación de competencias; y a largo

plazo, conectará la formación con los requisitos ISO y los flujos de trabajo digitales de la fábrica.

3.2. Resultados de la encuesta a partes interesadas de la industria

Edad de los encuestados

Conclusión (Figura 39): Los encuestados se distribuyeron de forma equilibrada por edad, con un 51,2% mayor de 40 años y un 48,8% menor de 40 años, lo que garantiza una representación equilibrada tanto de profesionales experimentados como más jóvenes.

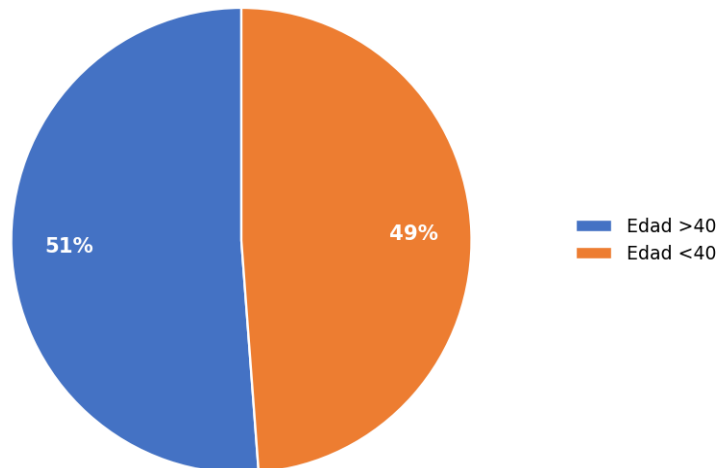


Figura 39. Edad de los encuestados

Experiencia en soldadura

Conclusión (Figura 40): Los encuestados presentaban un nivel de experiencia en soldadura bien equilibrado, con un 49% que tenía entre 5 y 20 años de experiencia, mientras que el 25,5% tenía más de 20 años y el 25,5% tenía menos de 5 años, lo que garantiza representación en distintos niveles de experiencia.

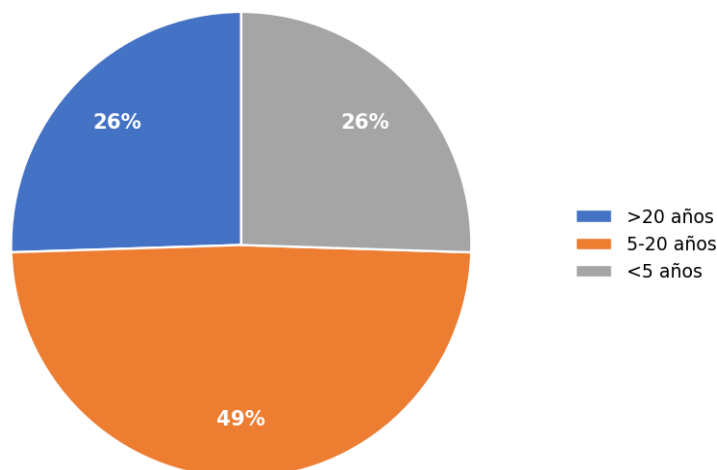


Figura 40. Experiencia en soldadura

Puesto actual

Conclusión (Figura 41): Los encuestados representan una amplia gama de roles profesionales, con Ingenieros (46,5%) e Ingenieros de Soldadura (14,0%) como la mayor parte de la muestra. Esta distribución indica que la encuesta refleja principalmente las perspectivas de profesionales técnicos, incorporando también aportaciones de puestos directivos y académicos.

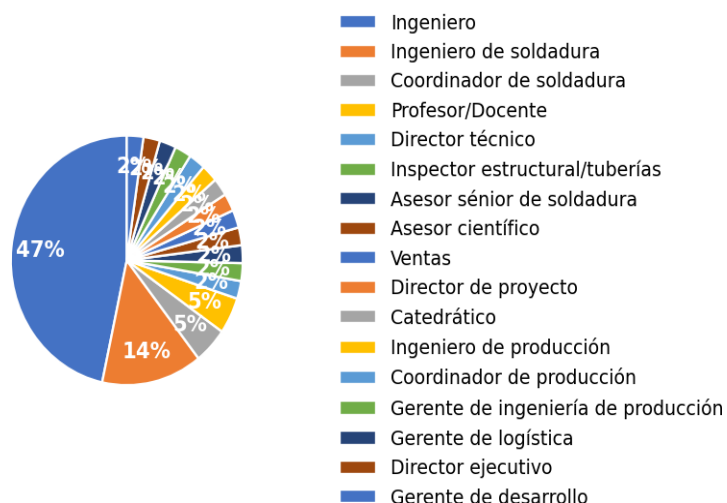


Figura 41. Puesto actual

Experiencia previa con VR/AR/IA

Conclusión (Figura 42): Los resultados muestran que la mayoría de los encuestados (75,0%) no tenía experiencia previa con las tecnologías VR/AR/IA, lo que indica que estas tecnologías siguen siendo relativamente nuevas para la mayoría de los participantes.

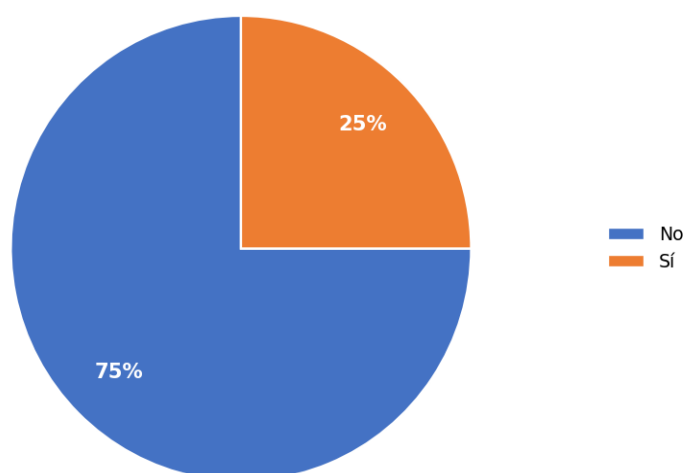


Figura 42. Experiencia previa con VR/AR/IA

3.2.1. Sección A: Perfil

Principal campo de actividad de la empresa

Conclusión (Figura 43): Los encuestados representaban una amplia gama de sectores industriales, con las construcciones metálicas como el mayor grupo (40,8%), seguidas de otras industrias (20,4%), energía/petróleo y gas (18,4%), y equipos a presión (10,2%) y transporte/naval (10,2%), lo que garantiza una amplia representación sectorial.

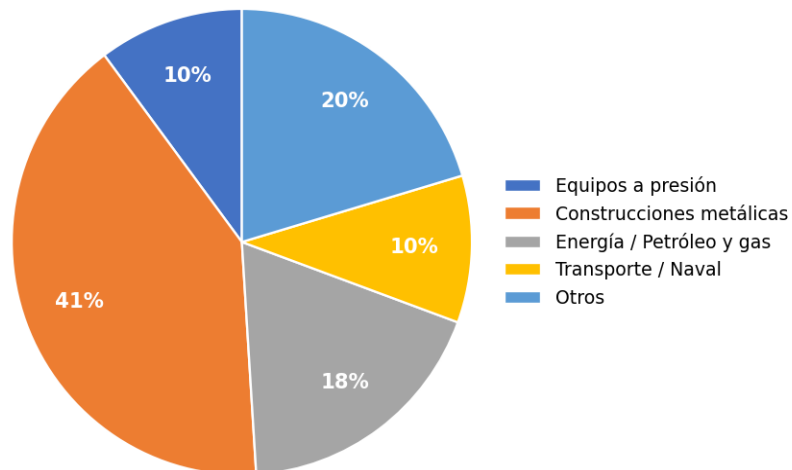


Figura 43. Principal campo de actividad de la empresa

País de residencia:

Conclusión (Figura 44): La encuesta incluyó a participantes de ocho países, con Rumanía (50,0%) y Polonia (36,4%) representando la gran mayoría de los participantes, mientras que Austria, Hungría, Irlanda, Italia, Serbia y Suiza contribuyeron cada uno con un 2,3%, lo que aporta una perspectiva internacional con una fuerte representación de Europa del Este.

Los encuestados procedían principalmente de Rumanía (50%) y Polonia (38%), y el resto de los participantes conformaba una muestra geográficamente diversa.

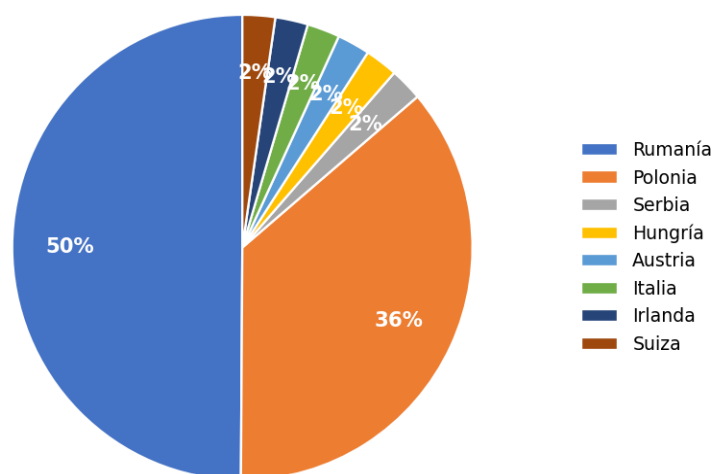


Figura 44. País de residencia de los encuestados

Tamaño de la empresa (número de empleados)

Conclusión (Figura 45): Los encuestados trabajaban en empresas de diversos tamaños, con las grandes empresas (34,1%) como el grupo más representado, seguidas de las medianas (29,5%) y las pequeñas empresas (25,0%), lo que indica una distribución organizativa bien equilibrada.

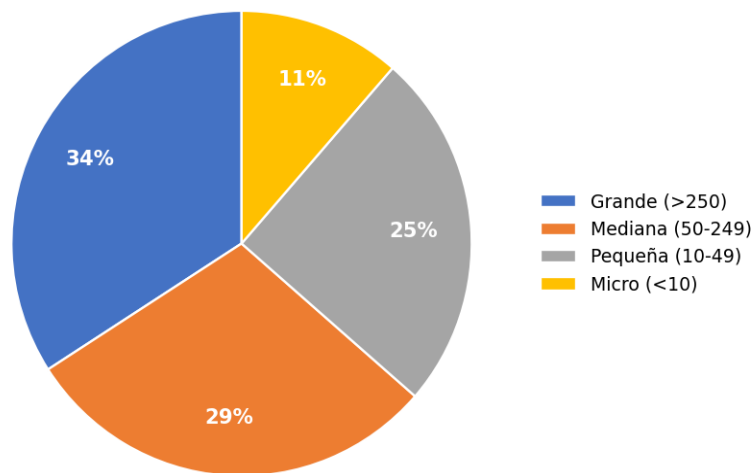


Figura 45. Tamaño de la empresa

Demanda de las empresas de Ingenieros Internacionales de Soldadura (IWE)

Conclusión (Figura 46): Los resultados muestran que el 52,3% de los encuestados ya emplea a Ingenieros Internacionales de Soldadura (IWE), mientras que el 22,7% está formando actualmente a candidatos IWE, lo que significa que el 75,0% de las empresas reconoce la necesidad de cualificaciones IWE, mientras que el 25,0% no planea actualmente emplear o incorporar profesionales IWE.

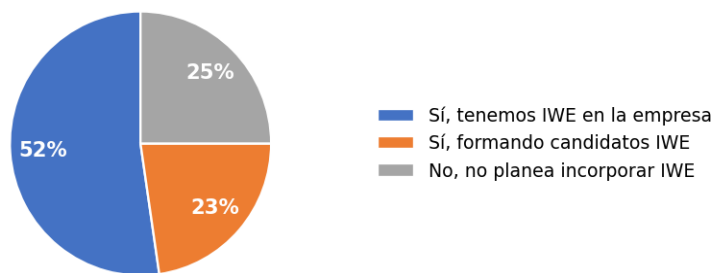


Figura 46. Demanda de las empresas de Ingenieros Internacionales de Soldadura (IWE)

3.2.2. Sección B: Necesidades de competencias

Importancia de la formación continua para el personal de soldadura

Conclusión (Figura 47): Los resultados muestran que la formación continua del personal de soldadura se considera muy importante, con un 93,2% de los encuestados que la califica como muy importante (61,4%) o importante (31,8%), lo que pone de relieve su papel clave en la práctica de la industria.

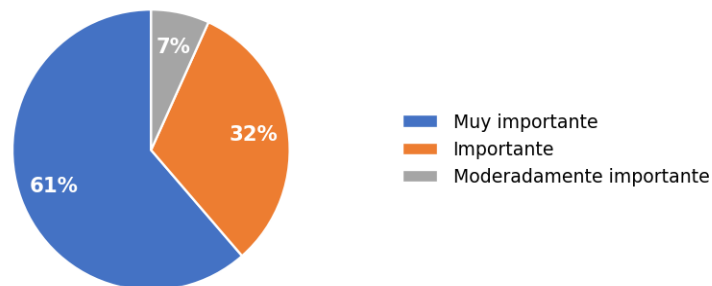


Figura 47. Importancia de la formación continua para el personal de soldadura

Principales obstáculos para la formación del personal

Conclusión (Figura 48): Los resultados indican que las principales barreras para la formación del personal son los costes elevados (44,6%) y las paradas de producción (33,8%), mientras que el acceso limitado a centros de formación (9,2%), la disponibilidad de equipos (6,2%), los riesgos de la formación práctica (3,1%), la escasez de mano de obra (1,5%) y la falta de candidatos interesados (1,5%) se reportan con menor frecuencia.

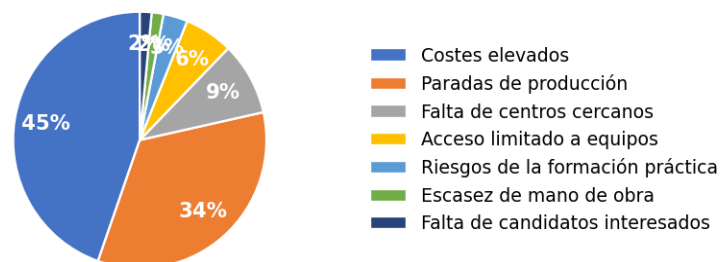


Figura 48. Principales obstáculos para la formación del personal

Áreas de formación más críticas para las empresas

Conclusión (Figura 49): Los resultados indican que las habilidades prácticas del proceso de soldadura (30,6%) se consideran el área de formación más crítica, seguidas de la interpretación de normas y códigos (24,5%), el control de calidad y la inspección (END) (19,4%) y la salud, seguridad y medio ambiente (HSE) (17,3%). El PWHT (7,1%) y el análisis de fallos (1,0%) se identificaron como prioridades formativas menores.

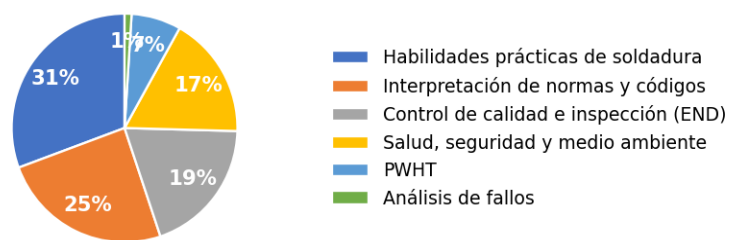


Figura 49. Áreas de formación más críticas para las empresas

3.2.3. Sección C: Percepción de VR/AR

Familiaridad con el uso de VR/AR en la formación

Conclusión (Figura 50): Los resultados indican que la concienciación sobre VR/AR en la formación es limitada, ya que solo el 13,6% de los encuestados declaró estar familiarizado, mientras que el 50,0% lo estaba solo parcialmente y el 36,4% no tenía ninguna familiaridad con estas tecnologías.

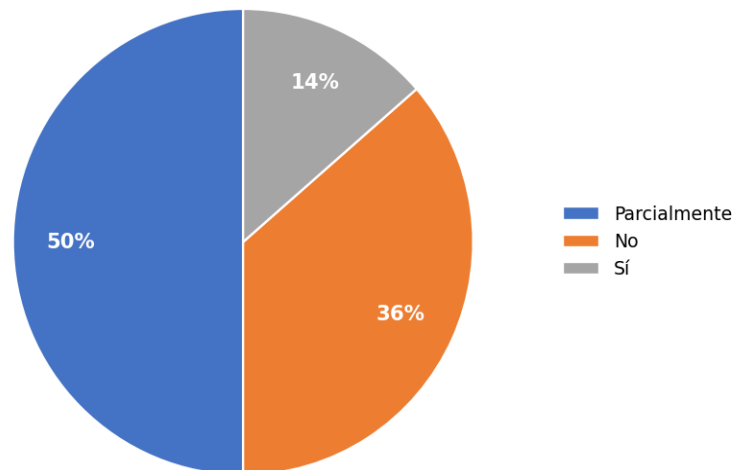


Figura 50. Familiaridad con el uso de VR/AR en la formación

Beneficios percibidos de las tecnologías VR/AR para la formación de ingenieros de soldadura

Conclusión (Figura 51): Los resultados indican una percepción muy positiva de las tecnologías VR/AR, con un 79,5% de los encuestados que califica sus beneficios potenciales para la formación de ingenieros de soldadura como altos o muy altos, lo que demuestra una amplia confianza en su valor para la educación y el desarrollo de competencias.

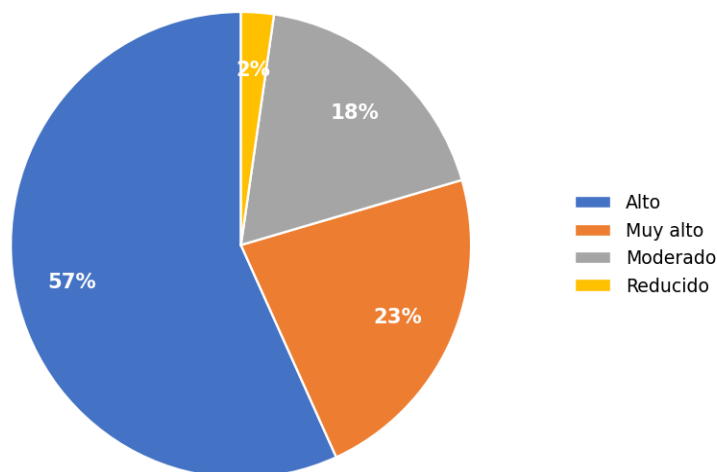


Figura 51. Beneficios percibidos de las tecnologías VR/AR para la formación de ingenieros de soldadura

Áreas en las que las tecnologías VR/AR son más útiles en la formación de ingenieros de soldadura

Conclusión (Figura 52): Los resultados indican que los encuestados ven el mayor potencial de las tecnologías VR/AR/IA en los procesos de soldadura (26,6%) y el análisis de defectos (23,8%), seguidos de la seguridad y la prevención de riesgos (16,1%), el diseño de estructuras soldadas (12,6%) y la planificación de la fabricación (11,9%). Se asignaron prioridades más bajas al PWHT (8,4%) y a la formación en habilidades manuales (0,7%).

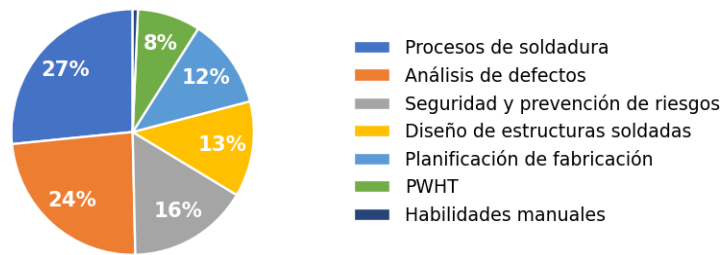


Figura 52. Áreas en las que las tecnologías VR/AR son más útiles en la formación de ingenieros de soldadura

3.2.4. Sección D: Interés e implicación

Interés en un curso IWE modernizado que utilice tecnologías VR/AR/IA

Conclusión (Figura 53): Los resultados indican un alto nivel de aceptación, con un 97,7% de los encuestados que considera posible (50,0%) o viable (47,7%) la implementación de tecnologías VR/AR, mientras que solo el 2,3% expresó una opinión negativa.

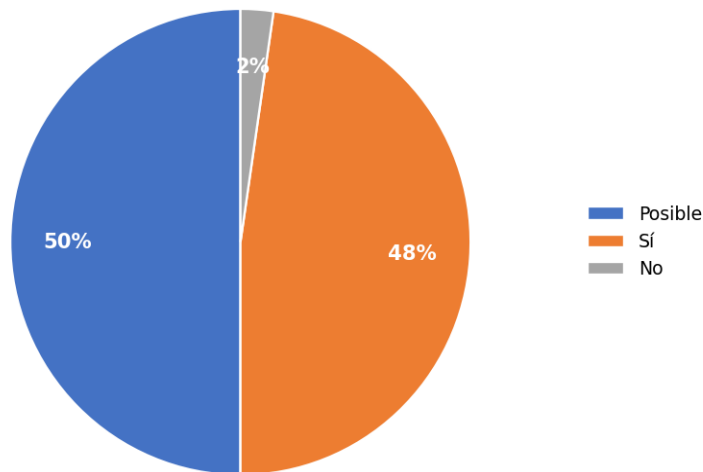


Figura 53. Interés en un curso IWE modernizado que utilice tecnologías VR/AR/IA

Tipo de implicación preferido

Conclusión (Figura 54): Los resultados indican que la mayoría de las empresas mostró al menos cierto interés en la iniciativa, con un 43,2% que solicitó únicamente información y un 31,8% dispuesto a enviar alumnos, mientras que una proporción menor mostró interés en una colaboración de proyecto (18,2%) o en pruebas piloto (6,8%).

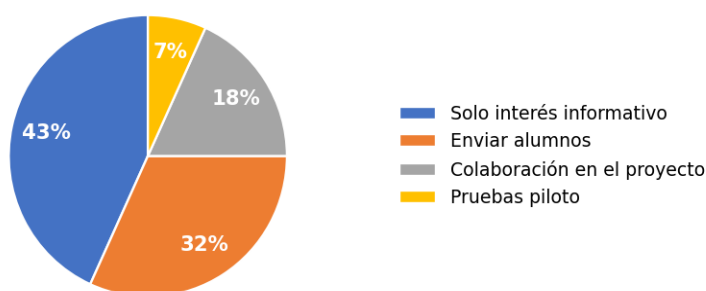


Figura 54. Tipo de implicación preferido

Utilidad percibida de la simulación AR/VR para la formación práctica en soldadura (MMA/MIG-MAG/TIG, posición de soldadura y control del baño)

Conclusión (Figura 55): Los resultados demuestran una percepción muy positiva de la simulación AR/VR, con un 86,4% de los encuestados que califica su utilidad como alta o muy alta, lo que pone de relieve su importante potencial para la formación práctica en soldadura.

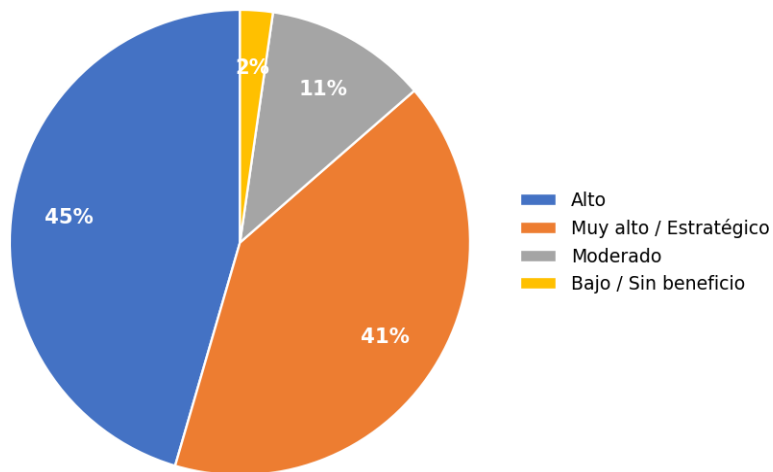


Figura 55. Utilidad percibida de la simulación AR/VR para la formación práctica en soldadura

Impacto percibido de AR/VR en la formación sobre el ajuste de parámetros de soldadura (corriente/voltaje/gas) en equipos reales

Conclusión (Figura 56): Los resultados revelan una fuerte confianza en el valor de AR/VR para la formación en el ajuste de parámetros de soldadura, con un 93,2% de los encuestados que califica su impacto como alto o muy alto, lo que indica un amplio respaldo a la integración de estas tecnologías en la educación práctica de soldadura.

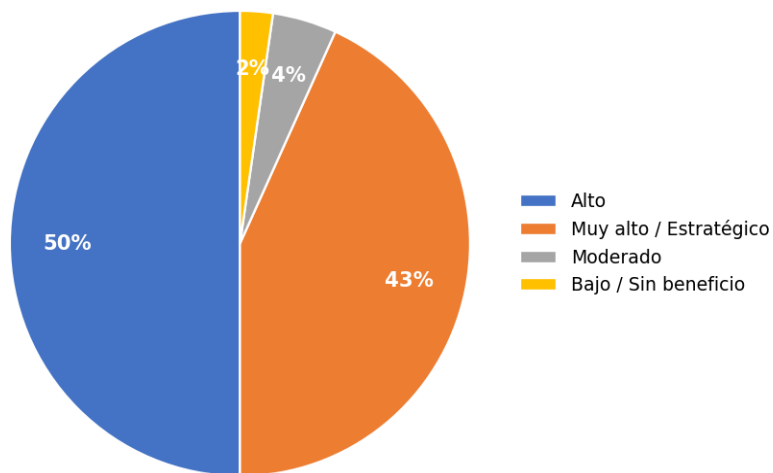


Figura 56. Impacto percibido de AR/VR en la formación sobre el ajuste de parámetros de soldadura

Utilidad percibida de IA/AR/VR para proporcionar retroalimentación inmediata sobre desviaciones (velocidad, ángulo, distancia)

Conclusión (Figura 57): Los resultados indican un respaldo abrumador a la retroalimentación en tiempo real basada en IA/AR/VR, con un 95,5% de los encuestados que califica su utilidad como alta o muy alta, lo que demuestra una fuerte confianza en su capacidad de mejorar el rendimiento de la soldadura mediante la corrección inmediata de desviaciones de velocidad, ángulo y distancia.

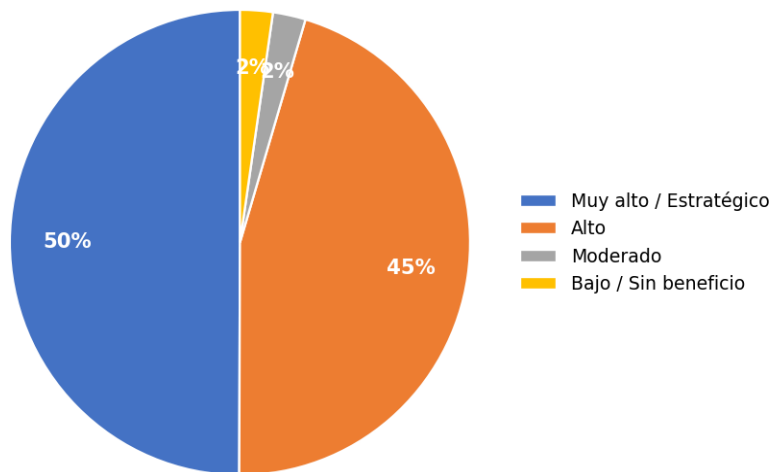


Figura 57. Utilidad percibida de IA/AR/VR para proporcionar retroalimentación en tiempo real durante la formación en soldadura

Utilidad percibida de AR/VR para simular el flujo de fabricación e identificar áreas de riesgo

Conclusión (Figura 58): Los resultados indican que la simulación AR/VR del flujo de fabricación se percibe ampliamente como beneficiosa, con un 52,3% de los encuestados que califica su utilidad como alta y un 13,6% como muy alta, mientras que el 29,5% la consideró moderadamente útil y solo el 4,5% percibió poco o ningún beneficio.

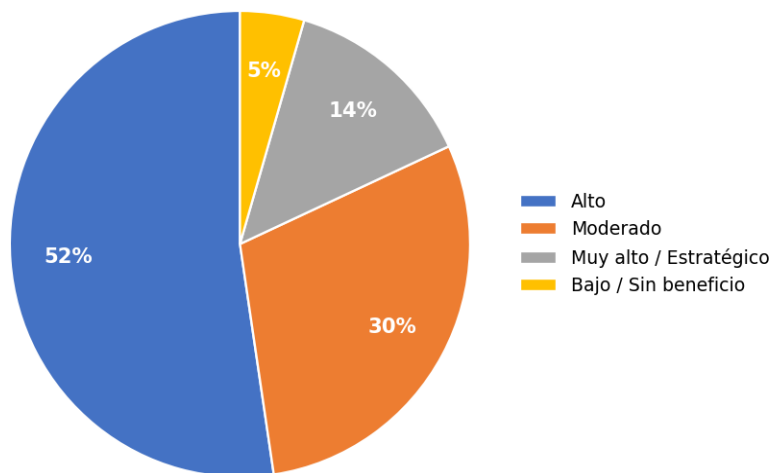


Figura 58. Utilidad percibida de AR/VR para simular el flujo de fabricación e identificar áreas de riesgo

Valor percibido de un modelo AR/VR para comprender la Zona Afectada por el Calor (ZAC) y las tensiones residuales

Conclusión (Figura 59): Los resultados indican que los modelos AR/VR que ilustran la Zona Afectada por el Calor (ZAC) y las tensiones residuales se consideran valiosos para mejorar la comprensión de los fenómenos de soldadura, con un 52,3% de los encuestados que califica su utilidad como alta y un 15,9% como muy alta, mientras que el 25,0% la consideró moderadamente útil y solo el 6,8% percibió poco o ningún beneficio.

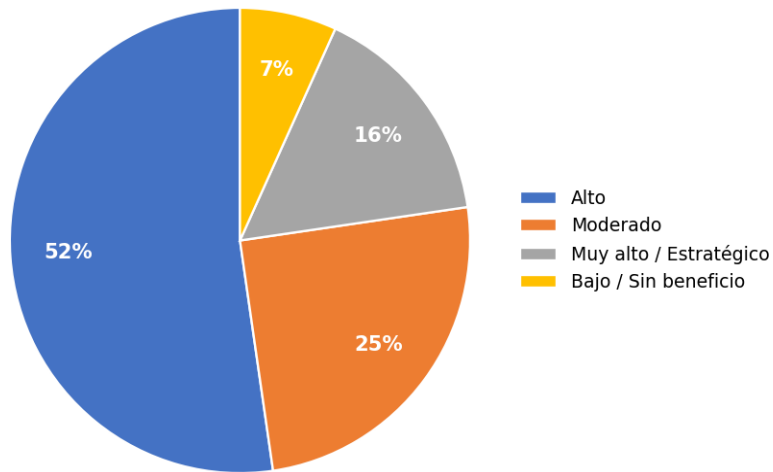


Figura 59. Valor percibido de un modelo AR/VR para comprender la ZAC y las tensiones residuales

Utilidad percibida de VR/AR para comprender la influencia de los materiales de aporte y los gases de protección en la microestructura

Conclusión (Figura 60): Los resultados indican que el 47,7% de los encuestados calificó la utilidad como alta y el 18,2% como muy alta, lo que demuestra un fuerte respaldo a la aplicación. Además, el 27,3% la consideró moderadamente útil, mientras que solo el 6,8% percibió poco o ningún beneficio.

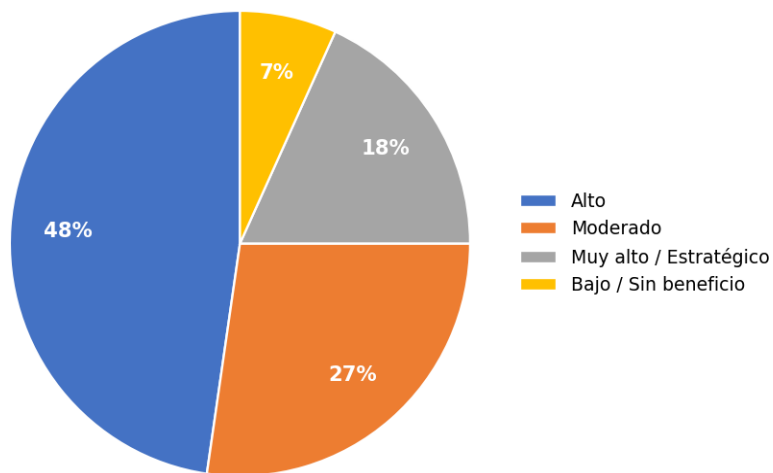


Figura 60. Utilidad percibida de VR/AR para comprender la influencia de los materiales de aporte y los gases de protección en la microestructura

Utilidad percibida de la visualización 3D/VR para mejorar el diseño orientado a la fabricabilidad y reducir la distorsión de soldadura

Conclusión (Figura 61): Los resultados indican que el 36,4% de los encuestados calificó la utilidad como alta y el 22,7% como muy alta, lo que significa que el 59,1% expresó una percepción positiva. Mientras tanto, el 34,1% la consideró moderadamente útil, y solo el 6,8% percibió poco o ningún beneficio.

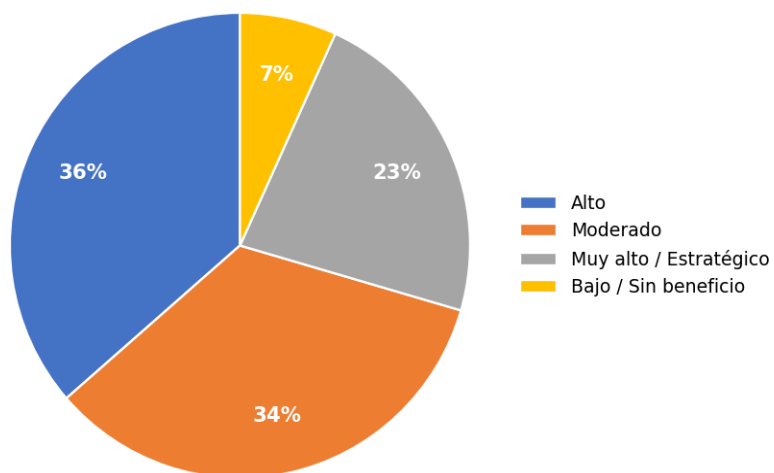


Figura 61. Utilidad percibida de la visualización 3D/VR para mejorar el diseño orientado a la fabricabilidad y reducir la distorsión de soldadura

Importancia percibida de IA/AR/VR para la optimización del diseño basada en datos experimentales

Conclusión (Figura 62): Los resultados indican que las tecnologías IA/AR/VR se consideran muy valiosas para la optimización del diseño basada en datos experimentales, con un 68,2% de los encuestados que califica su importancia como alta o muy alta, lo que pone de relieve su potencial para mejorar las decisiones de diseño en soldadura.

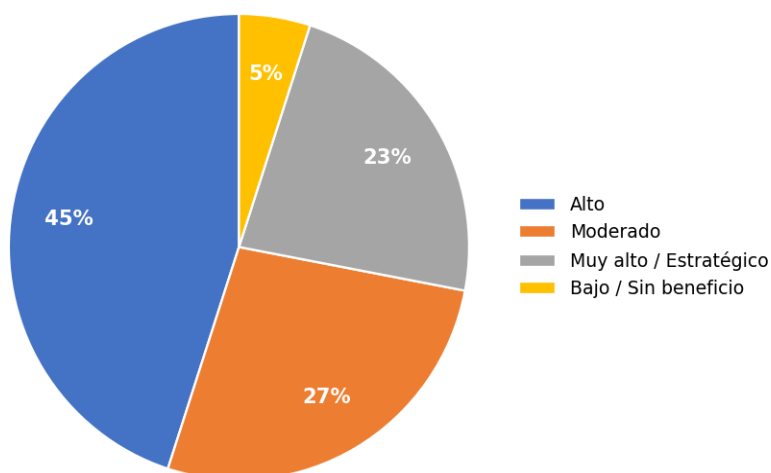


Figura 62. Importancia percibida de IA/AR/VR para la optimización del diseño basada en datos experimentales

Importancia percibida de la simulación VR/AR para mejorar el desarrollo del PQR y el WPS

Conclusión (Figura 63): Los resultados indican que la simulación VR/AR se percibe como una herramienta importante para mejorar el desarrollo del PQR y el WPS, con un 70,5% de los encuestados que califica su importancia como alta o muy alta, lo que refleja un fuerte respaldo a su integración en el desarrollo de procedimientos de soldadura.

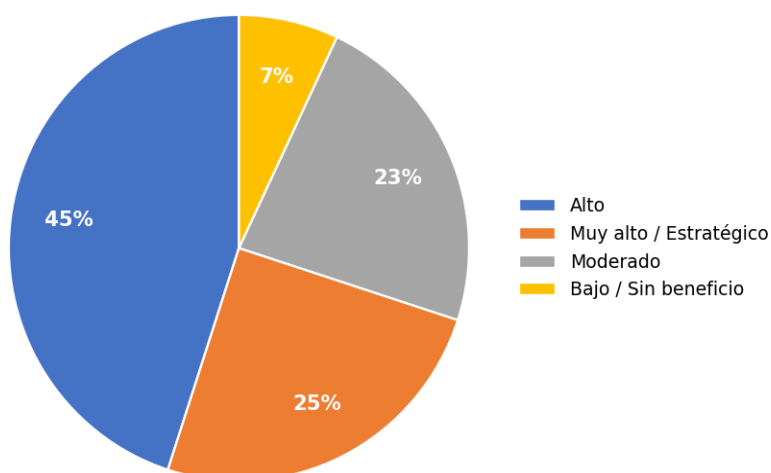


Figura 63. Importancia percibida de la simulación VR/AR para mejorar el desarrollo del PQR y el WPS

Utilidad percibida de las herramientas VR/AR que proporcionan información sobre defectos en tiempo real durante la soldadura

Conclusión (Figura 64): Los resultados muestran un fuerte respaldo a las herramientas VR/AR que proporcionan información sobre defectos en tiempo real durante la soldadura, con un 81,8% de los encuestados que califica su utilidad como alta o muy alta, lo que pone de relieve su valor percibido para mejorar la calidad de la soldadura y reducir los errores de producción.

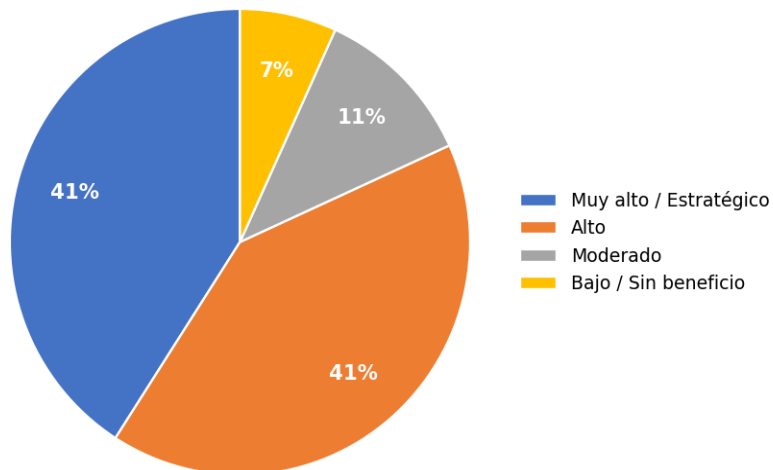


Figura 64. Utilidad percibida de las herramientas VR/AR que proporcionan información sobre defectos en tiempo real durante la soldadura

Importancia percibida de las herramientas digitales para mejorar la trazabilidad de materiales y consumibles conforme a la ISO 14731 y la ISO 3834

Conclusión (Figura 65): Los resultados indican que las herramientas digitales se reconocen ampliamente como valiosas para mejorar la trazabilidad de materiales y consumibles conforme a la ISO 14731 y la ISO 3834, con un 63,6% de los encuestados que califica su importancia como alta o muy alta.

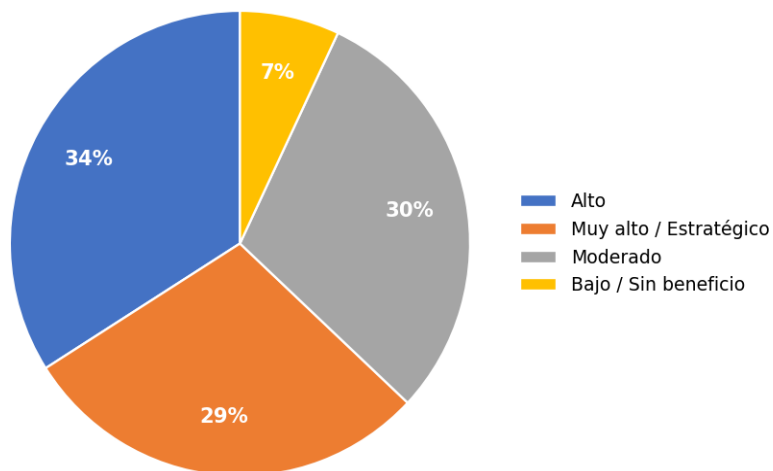


Figura 65. Importancia percibida de las herramientas digitales para mejorar la trazabilidad de materiales y consumibles conforme a la ISO 14731 y la ISO 3834

Indicadores de calidad y seguridad recomendados para la monitorización digital

Conclusión (Figura 66): Los resultados indican que los encuestados priorizan la monitorización digital de las tasas de fallo/reparación (29,9%), el tiempo de ciclo (26,0%), la eficiencia energética (23,6%) y la exposición a humos (20,5%), lo que demuestra un enfoque equilibrado entre el rendimiento de calidad, la eficiencia de producción y la seguridad laboral.

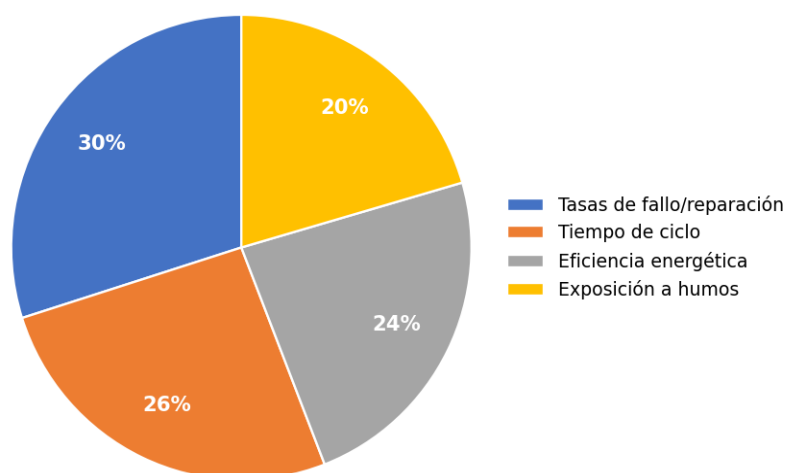


Figura 66. Indicadores de calidad y seguridad recomendados para la monitorización digital

Cumplimiento percibido de la integración de simuladores con los resultados de aprendizaje y los requisitos de evaluación IWE/IWT/IWS (IAB-252r5)

Conclusión (Figura 67): Los resultados indican que la mayoría de los encuestados (56,8%) cree que la integración de simuladores solo cumple parcialmente los requisitos IWE/IWT/IWS y aún requiere validación mediante formación física en taller, mientras que el 20,5% la considera totalmente conforme con las normas internacionales y el 22,7% permanece incierto sobre su alineación con el marco IAB-252r5.

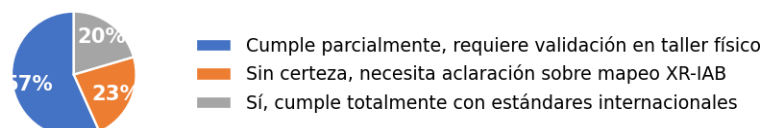


Figura 67. Cumplimiento percibido de la integración de simuladores con los resultados de aprendizaje y los requisitos de evaluación IWE/IWT/IWS (IAB-252r5)

Comentarios finales

«Creo que la aplicación de AR/VR/MR puede que aún esté en fase de introducción, pero es importante buscar las áreas adecuadas.»

«Me pondré en contacto para saber si existe alguna posibilidad de colaborar con el proyecto del consorcio.»

«Si un soldador no se ha quemado ni se ha ahogado con el humo, no es un soldador de verdad.»

«Los simuladores pueden integrarse en el currículo IWE/IWT/IWS, pero solo como método docente complementario, no como sustituto de los requisitos obligatorios establecidos en la IAB-252r5.»

«Se recomienda una combinación de actividades tradicionales/prácticas y el nuevo sistema de cualificación IWE/IWT.»

«La integración de XR será esencial para la formación de los ingenieros de soldadura, ya que permite la validación de la accesibilidad, la optimización de WPS/ WPQR y el control digital de la calidad en tiempo real. A corto plazo, XR acelera el aprendizaje; a medio plazo, estandarizará la evaluación de competencias; y a largo plazo, conectará la formación con los requisitos ISO y los flujos de trabajo digitales de la fábrica.»

3.3. Resumen de los resultados de la encuesta

3.3.1. Equilibrio entre formación remota y física, y alcance de XR dentro del currículo de cualificación I/EWE

Este documento resume los resultados de los dos cuestionarios del proyecto VIOLET (Encuesta 1 — Ingenieros de soldadura, n = 121; Encuesta 2 — Empresas industriales, n = 44) en relación con el objetivo inicial de la evaluación: identificar la proporción de formación I/EWE que puede impartirse de forma remota frente a presencial, y el alcance de las herramientas XR (VR/AR/IA) dentro del currículo de cualificación.

3.3.2. Objetivo de este resumen

El objetivo inicial de la evaluación era determinar, a partir de los datos de la encuesta, (a) el porcentaje de formación I/EWE que puede impartirse de forma remota frente a presencial, y (b) el alcance dentro del currículo I/EWE que puede apoyarse con herramientas XR.

Las respuestas se analizaron por área curricular, y se propuso utilizar el número de horas del currículo IWE/EWE, tal como se muestra en la Tabla 1.

Las encuestas contienen datos detallados, pregunta por pregunta, sobre la utilidad percibida de las herramientas XR en todas las áreas principales del currículo I/EWE, además de declaraciones cualitativas explícitas sobre los puntos en los que la formación práctica/presencial debe seguir siendo obligatoria. Este documento utiliza esos datos como el mejor indicador disponible basado en evidencias para el objetivo planteado, e indica claramente cuándo una cifra procede directamente de la encuesta y cuándo es una estimación derivada.

3.3.3. Resumen de encuestados

Encuesta 1 (Ingenieros): 121 encuestados completaron la sección de rol/datos demográficos; 121 completaron la sección de tecnologías digitales. La mayoría eran Ingenieros Internacionales de Soldadura (42,9%) e Ingenieros (33,3%). El 62,0% no tenía experiencia previa con VR/AR/IA en formación; el 75,0% de la submuestra de edad/experiencia declaró no tener experiencia previa con XR.

Encuesta 2 (Empresas industriales): 44 encuestados, principalmente del sector de construcciones metálicas (40,8%), procedentes de Rumanía (50,0%) y Polonia (36,4%). Solo el 13,6% declaró estar familiarizado con VR/AR en formación; el 50,0% estaba parcialmente familiarizado, y el 36,4% no lo estaba en absoluto.

Ambas muestras representan, por tanto, un sector con baja exposición actual a XR pero, como se muestra a continuación, con una elevada disposición declarada a adoptarla.

4. Conclusiones

Los participantes que pueden considerarse expertos para el análisis son:

- 121 encuestados de la categoría de ingenieros de soldadura y especialistas IWE;
- 44 representantes del sector industrial;
- Representación de 11 países entre los encuestados de ingeniería y 8 países entre las empresas industriales;
- Perfiles profesionales diversos, incluyendo profesionales IWE, instructores, examinadores, coordinadores de curso y gestores técnicos.

Nivel de experiencia del panel

El panel puede considerarse muy relevante porque:

- Más del 37% de los encuestados tiene más de 10 años de experiencia profesional;
- El 75% de las empresas participantes emplea o forma a personal IWE;
- Los participantes están directamente implicados en la formación, la coordinación y la implementación de los procesos de soldadura.

Pregunta estratégica

¿En qué medida deben integrarse las tecnologías XR (VR/AR/IA) en la cualificación I/EWE, y qué áreas curriculares deben priorizarse para la digitalización?

Prioridad I (>80%)

1. Retroalimentación en tiempo real sobre los parámetros de soldadura

- El 95,5% de las empresas industriales considera esta funcionalidad muy valiosa.
- El 82,6% de los ingenieros de soldadura la calificó como muy valiosa o esencial.

2. Simulación práctica de los procesos de soldadura MMA/MIG-MAG/TIG

- El 86,4% de las empresas calificó su utilidad como alta o muy alta.
- El 81,5% de los ingenieros de soldadura evaluó las simulaciones como Buenas o Excelentes.

Prioridad II (70–80%)

3. Detección de defectos en tiempo real

- El 81,8% de las empresas respalda el uso de tecnologías XR para la detección de defectos.
- El 94,2% de los ingenieros de soldadura considera esta funcionalidad útil o esencial.

4. Desarrollo del WPS/PQR

- El 70,5% de los encuestados de la industria considera XR valioso para esta actividad.
- El 92,5% de los ingenieros de soldadura considera que las simulaciones son útiles para el desarrollo de Especificaciones del Procedimiento de Soldadura (WPS) y de Registros de Cualificación del Procedimiento (PQR).

Conclusión del análisis

El análisis revela un fuerte **consenso** tanto entre los expertos como entre los representantes de la industria en cuanto a la integración de las tecnologías XR en la cualificación I/EWE, en particular para actividades cognitivas, procedimentales y analíticas como la monitorización de los parámetros de soldadura, la retroalimentación en tiempo real, las simulaciones tecnológicas, el desarrollo de WPS/PQR, el control de calidad y la trazabilidad.

Al mismo tiempo, existe un consenso casi unánime en que la formación práctica y el desarrollo de habilidades psicomotoras deben seguir basándose en la instrucción presencial. Por lo tanto, las tecnologías XR se perciben como un catalizador del aprendizaje, y no como un sustituto de la formación práctica en taller.

El modelo educativo recomendado por el panel de expertos es un **enfoque de aprendizaje combinado (blended learning)**, en el que las tecnologías XR complementan la instrucción tradicional y contribuyen a la modernización del currículo I/EWE.

5. Recomendaciones

5.1. Áreas curriculares con mayor potencial para la impartición remota/basada en XR

La siguiente tabla clasifica las áreas curriculares según el porcentaje de encuestados (encuesta a Empresas Industriales, Sección D) que califica la utilidad de XR como "alta" o "muy alta". Este es el indicador cuantitativo más directo disponible en los datos sobre en qué medida un determinado tema podría desplazarse hacia la impartición remota/XR.

Área curricular	% que la califica alta / muy alta	aplicación para la impartición
Interés general en un curso IWE modernizado basado en VR/AR	87,7%	Fuerte mandato para la integración remota/XR
Retroalimentación en tiempo real sobre desviaciones (velocidad, ángulo, distancia)	95,5%	Muy adecuado para la práctica remota/XR
Ajuste de parámetros en equipos reales (corriente/voltaje/gas)	93,2% (cap. 1.12 — 2 horas)	Muy adecuado para la práctica remota/XR
Información sobre defectos en tiempo real durante la soldadura	81,8% (cap. 4.7 — 3 horas)	Muy adecuado para la práctica remota/XR
Simulación práctica de soldadura (MMA / MIG-MAG / TIG)	86,4% (cap. 1.7 — 3 h; cap. 1.8 — 1 h)	Buena respuesta a XR se recomienda modelo combinado
Beneficio general percibido de VR/AR para la formación IWE	79,5%	Amplio respaldo a componentes remotos/XR
Desarrollo del PQR / WPS	70,5% (cap. 4.2 — 3 horas)	Adecuado para impartición combinada
Comprensión de la ZAC y las tensiones residuales	68,2% (cap. 4.3 — 1 h; 2.5 — 1 h)	Adecuado para impartición combinada
Optimización del diseño (IA/AR/VR)	68,2% (cap. 3.3 — 2 horas)	Adecuado para impartición combinada
Simulación del flujo de fabricación	65,9% (cap. 4.2 — 2 horas)	Adecuado para impartición combinada
Materiales de aporte / microestructura del gas de protección	65,9% (cap. 1.6 — 1 h; 1.19 — 1 h)	Adecuado para impartición combinada
Trazabilidad de materiales (ISO 14731 / ISO 3834)	63,6% (cap. 4.2 — 2 horas)	Adecuado para impartición combinada
Visualización del diseño orientado a la fabricabilidad	59,1% (cap. 3.2 — 2 horas)	Caso moderado, impartición combinada

- **42 horas de todos los módulos, conforme a la norma IAB 252r2-19.**

Las 42 horas se obtienen mediante el siguiente cálculo: 2 horas (capítulo 1.12) + 3 horas (capítulo 4.7) + 3 horas (capítulo 1.7) + 6 horas (capítulo 1.8) + 6 horas (capítulo 1.9) + 3 horas (capítulo 4.2) + 3 horas (capítulo 4.3(1), capítulo 2.5(1), capítulo 2.8(1)) + 2 horas (capítulo 3.3) + 2 horas (capítulo 4.2) + 1 hora (capítulo 1.6) + 7 horas (capítulo 1.19) + 2 horas (capítulo 4.2) + 2 horas (capítulo 3.2) = 42 horas.

Capítulo 1.12 (2 horas): Ajuste de parámetros en equipos reales (corriente/voltaje/gas)

- Procesos de soldadura: soldadura por electroescoria, por fricción; fricción-agitación, unión a tope por arco magnéticamente impelido (MIAB); soldadura por pulso magnético, ultrasónica; por explosión; por difusión; aluminotérmica; de alta frecuencia; por espárragos, por presión en frío.
- Parámetros de soldadura para cada proceso.
- Preparación de la unión: diseño típico de la unión para soldadura, ajuste y limpieza.
- Relación entre los parámetros de soldadura y la configuración de la unión.

Capítulo 1.6 (1 hora): Materiales de aporte / microestructura del gas de protección

- Gases de protección (inertes, activos) y su efecto en las características del arco.
- Manipulación y almacenamiento de gases (visión general).
- Influencia de los parámetros de soldadura en la morfología del cordón.

Capítulo 1.7 (3 horas): Simulación práctica de soldadura (MMA / MIG-MAG / TIG)

- Efecto del tipo de corriente y la polaridad: CC (+), CC (-) y CA.
- Consumibles: gases de protección, materiales de aporte, electrodos.
- Parámetros de soldadura: corriente, voltaje, velocidad de avance, caudal de gas.
- Preparación de la unión: diseño típico de la unión para soldadura, ajuste y limpieza.
- Técnicas especiales: arco pulsado, soldadura por puntos, keyhole, hilo caliente, orbital, tubo a tubo y tubo a chapa, huelgo estrecho y otras.
- Normas para materiales de aporte y electrodos (al menos para aceros no aleados).
- Aplicaciones de la soldadura, problemas típicos y cómo resolverlos.

Capítulo 1.8 (6 horas): Simulación práctica de soldadura (MMA / MIG-MAG / TIG)

- Efecto del tipo de corriente y la polaridad.
- Modos de transferencia metálica (cortocircuito, globular, spray, pulsado y rotativo), controlados.
- Modos de transferencia y su aplicación.
- Parámetros y ajustes de soldadura: corriente, voltaje, velocidad de avance, caudal de gas, etc.
- Técnicas especiales: soldadura por electro-gas, procesos de alta eficiencia, soldadura por puntos, técnicas de hilo único y múltiple, hilo plano, latonado, control electrónico de estabilidad (arco y alimentación de hilo), etc.
- Relación entre los consumibles y el tipo de modo de transferencia metálica, y sus aplicaciones.
- Consumibles: gases de protección, materiales de aporte (hilos tubulares) y sus combinaciones.
- Aplicaciones de la soldadura, problemas típicos y cómo resolverlos.

Capítulo 1.9 (6 horas): Simulación práctica de soldadura (MMA / MIG-MAG / TIG)

- Parámetros de soldadura: corriente, voltaje, longitud libre del electrodo, etc.
- Preparación de la unión: ajuste, limpieza, posición de soldadura.
- Relación entre el diámetro del electrodo y el rango de corriente, el material de la varilla, la longitud del electrodo y la posición de soldadura.
- Técnicas especiales (soldadura por gravedad, etc.).
- Salud y seguridad específicas del proceso MMA.

Capítulo 1.19 (7 horas): Materiales de aporte / microestructura del gas de protección

- Ejercicios prácticos que muestran el efecto de cada parámetro principal de soldadura en la forma del cordón.
- Los ejercicios deben cubrir: MMA, TIG, MIG/MAG, hilos tubulares, SAW.
- Oxicorte.
- Ejercicios prácticos que muestran el efecto de cada parámetro principal de corte en la superficie cortada.

Capítulo 2.5 (1 hora): Comprensión de la ZAC y las tensiones residuales

- Baño de soldadura, forma del cordón.
- Dilución.
- Estructura del metal de soldadura.
- Efecto de la soldadura multipasada.

Capítulo 2.8 (1 hora): Comprensión de la ZAC y las tensiones residuales

- Tratamiento térmico de las uniones soldadas y las piezas.
- Tratamiento térmico post-soldadura (alivio de tensiones, normalizado, endurecimiento).
- Directrices técnicas para el tratamiento térmico.
- Procedimientos de tratamiento térmico.

Capítulo 3.2 (2 horas): Visualización del diseño orientado a la fabricabilidad

- Tipos de tensiones (tensión normal, tensión cortante).
- Tipos de deformación (deformación axial, deformación por cortante).

Capítulo 3.3 (2 horas): Optimización del diseño (IA/AR/VR)

- Clasificación de las formas de bisel (por tipo de material, espesor, proceso de soldadura, accesibilidad).
- Requisitos de tolerancia (ISO 13920).
- Símbolos de soldadura en los planos, símbolos para las formas de bisel.
- Representación simbólica de las uniones soldadas, latonadas y soldadas por soldeo blando conforme a la ISO 2553.

Capítulo 4.2 (7 horas): Trazabilidad de materiales (ISO 14731 / ISO 3834), desarrollo del PQR / WPS, simulación del flujo de fabricación

- Coordinación de soldadura y personal de inspección; tareas y responsabilidades de cualificación (ISO 14731, ISO 9712, CEN y normas nacionales).
 - Aprobación/cualificación de soldadores y latoneros, y cualificación de procedimientos de soldadura y latonado — introducción/visión general.
 - Aprobación/cualificación de soldadores y latoneros (ISO 9606, CEN y normas nacionales).
 - Especificación del procedimiento de soldadura y latonado — el objetivo, cómo crearla y desarrollarla (ISO 15607 y 15609, CEN y normas nacionales).
 - Cualificación del procedimiento de soldadura y latonado (ISO 15610, 15611, 15612, 15613 y 15614, CEN y normas nacionales).
 - Cualificación del operador de soldadura y latonado (ISO 14732, CEN y normas nacionales).
 - Trazabilidad (identificación de materiales, soldador/operador, procedimientos, certificados).
- **22 horas pueden completarse mediante el componente práctico, es decir, las demostraciones de soldadura.**
 - **Es posible aprovechar las ventajas de los sistemas de formación virtual en soldadura, pero como máximo en el 50% de las horas de formación práctica.**

I.4.1 Para el IWE, el IWT y el IWS

Esta parte no tiene como objetivo proporcionar habilidades prácticas al ingeniero/tecnólogo/especialista en soldadura, sino que el alumno adquiera conocimientos sobre el control de los distintos procesos de soldadura. Los alumnos deben familiarizarse en la medida de lo posible con los problemas y defectos típicos asociados al uso incorrecto de los distintos métodos de soldadura. Durante sus ejercicios, los alumnos son guiados por formadores de soldadura cualificados.

Formación práctica	Horas
Oxicorte y corte por oxígeno	6
MMA	8
TIG	8
MIG/MAG + soldadura con hilo tubular	16

Es posible aprovechar las ventajas de los sistemas de formación virtual en soldadura, pero como máximo en el 50% de las horas de formación práctica.

	Horas
Demostraciones o presentaciones en vídeo de procesos	22
Ranurado (gouging)	
Latonado	
Soldadura por plasma	
Corte por plasma	
Soldadura por arco sumergido	
Soldadura por resistencia	
Soldadura por fricción	
Soldadura por haz de electrones	
Soldadura láser	
Otros procesos	

[Nota en el documento original, en marca de agua diagonal: «se puede implementar esta directriz y otorgar diplomas de la IIV»]

⇒ **Aproximadamente el 15% del curso IWE podría impartirse utilizando herramientas VR/AR en un simulador de soldadura.**

Los resultados correspondientes de la Encuesta 1 (Ingenieros) confirman el mismo patrón: la simulación AR/VR para la práctica de MMA/MIG-MAG/TIG fue calificada como Buena o Excelente por el 81,5% de los encuestados; la formación en ajuste de parámetros fue calificada como una mejora significativa o moderada de la formación por el 90,0%; la retroalimentación en tiempo real sobre desviaciones fue calificada como Muy útil o Esencial por el 82,6%; y la formación en procesos de corte (plasma/oxicorte/láser) fue calificada como Relevante o Muy relevante por el 90,9%.

5.2. Áreas curriculares que requieren impartición física / presencial

Los datos de la encuesta también identifican los puntos en los que la impartición remota/XR se considera explícitamente insuficiente:

- Las habilidades manuales/físicas de soldadura fueron calificadas como el área de menor prioridad para el apoyo de VR/AR por parte de los encuestados de la industria (0,7% de los votos) — la señal cuantitativa más clara del conjunto de datos de que este alcance debe seguir siendo presencial.
- La limitación de XR citada con mayor frecuencia en general fue la «falta de sensación física» (44,8%), seguida del elevado coste de inversión inicial (30,4%).
- El 56,8% de los encuestados de la industria declaró que la integración de simuladores solo cumple parcialmente los requisitos de resultados de aprendizaje IWE/IWT/IWS y aún requiere validación mediante formación física en taller (solo el 20,5% la consideró totalmente conforme).
- Varias respuestas de texto libre enmarcan explícitamente XR como un «catalizador de competencias» y un «método docente complementario, no un sustituto de los requisitos obligatorios establecidos en la IAB-252r5», citando la retroalimentación sensorial (calor, olor, ruido del arco, control táctil) como insustituible para la adquisición de habilidades a nivel de certificación.

5.3. Síntesis: la respuesta más aproximada disponible al objetivo

Alcance cognitivo/analítico/procedimental (parámetros del proceso, interpretación de la retroalimentación en tiempo real, razonamiento de diseño y de calidad, análisis de defectos, desarrollo del PQR/WPS, cumplimiento normativo): calificado de forma consistente entre el 60% y el 98% como adecuado para una impartición remota o combinada apoyada en XR en ambas encuestas.

Alcance manual/psicomotor y crítico para la certificación (ejecución física de la soldadura, manejo de la antorcha, calibración sensorial): calificado como necesitado de impartición presencial, tanto por respuesta directa de la encuesta (0,7% de prioridad para VR/AR) como por el consenso cualitativo de que los requisitos obligatorios de la IAB-252r5 no pueden cumplirse de forma remota.

Si se requiere una única estimación de planificación para el currículo I/EWE modernizado, los datos respaldan tratar el contenido apto para XR/remoto como una cobertura de la mayor parte del currículo teórico, analítico y procedimental, manteniendo el núcleo práctico/de certificación de forma presencial, con XR utilizado allí como capa preparatoria y complementaria — en consonancia con la propia descripción que hacen los encuestados de XR como un «catalizador», no un sustituto.

6. Anexos: cuestionarios de la encuesta

Los resultados detallados de ambos cuestionarios se proporcionan en los documentos adjuntos "Annex 1 AR_VR International Welding Engineer Qualification (Engineer)EN.xls" y "Annex 2 AR_VR International Welding Engineer Qualification (Industry)EN", que contienen las respuestas completas de la encuesta.