UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

EXTENSIÓN LA MANÁ

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECÁNICA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

IMPLEMENTACIÓN DE UNA ESTACIÓN DE TRABAJO PARA ANÁLISIS DE CALIDAD DE SOLDADURA SMAW Y GMAW EN ENTORNO DE FORMACIÓN TÉCNICA

Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del Título de Ingeniero Electromecánico

Autores:

Toscano Franco Darlyn Ismael

Pico Millingalli Jordy Alexander

TUTOR:

PhD. Morales Tamayo Yoandrys

LA MANÁ – ECUADOR

AGOSTO 2026

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Pico Millingalli Jordy Alexander, con cédula de ciudadanía No. 0504542499, Toscano Franco Darlyn Ismael, con cédula de ciudadanía No. 1250623590 declaramos ser autores del presente **PROYECTO DE INVESTIGACIÓN: "IMPLEMENTACIÓN DE UNA ESTACIÓN DE TRABAJO PARA ANÁLISIS DE CALIDAD DE SOLDADURA SMAW Y GMAW EN ENTORNO DE FORMACIÓN TÉCNICA"**, siendo el PhD. Yoandrys Morales Tamayo., Tutor del presente trabajo; y eximimos expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certificamos que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de nuestra exclusiva responsabilidad.

La Maná, agosto 18 del 2026



Pico Millingalli Jordy Alexander
C.C: 0504542499



Toscano Franco Darlyn Ismael
C.C: 1250623590

CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte **PICO MILLINGALLI JORDY ALEXANDER**, identificado con cédula de ciudadanía No. **0504542499** de estado civil soltero, a quien en lo sucesivo se denominará **EL CEDENTE**; y, de otra parte, la Doctora Idalia Eleonora Pacheco Tigselema, en calidad de Rectora, y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez, Barrio El Ejido, Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA. - EL CEDENTE es una persona natural estudiante de la carrera de Electromecánica, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado **"IMPLEMENTACIÓN DE UNA ESTACIÓN DE TRABAJO PARA ANÁLISIS DE CALIDAD DE SOLDADURA SMAW Y GMAW EN ENTORNO DE FORMACIÓN TÉCNICA"**, la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad; y, las características que a continuación se detallan:

Historial Académico

Inicio de la carrera: Octubre 2022 - Marzo 2023

Finalización de la carrera: Abril 2026 – Agosto 2026

Aprobación en Consejo Directivo: 19 de agosto del 2026

Tutor: PhD. Yoandys Morales Tamayo

Tema: **"IMPLEMENTACIÓN DE UNA ESTACIÓN DE TRABAJO PARA ANÁLISIS DE CALIDAD DE SOLDADURA SMAW Y GMAW EN ENTORNO DE FORMACIÓN TÉCNICA"**

CLÁUSULA SEGUNDA. - LA CESIONARIA es una persona jurídica de derecho público creada por ley, cuya actividad principal está encaminada a la educación superior formando profesionales de tercer y cuarto nivel normada por la legislación ecuatoriana la misma que establece como requisito obligatorio para publicación de trabajos de investigación de grado en su repositorio institucional, hacerlo en formato digital de la presente investigación.

CLÁUSULA TERCERA. - Por el presente contrato, **EL CEDENTE** autoriza a **LA CESIONARIA** a explotar el trabajo de grado en forma exclusiva dentro del territorio de la República del Ecuador.

CLÁUSULA CUARTA. - OBJETO DEL CONTRATO: Por el presente contrato **EL CEDENTE**, transfiere definitivamente a **LA CESIONARIA** y en forma exclusiva los siguientes derechos patrimoniales; pudiendo a partir de la firma del contrato, realizar, autorizar o prohibir:

a) La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.
b) La publicación del trabajo de grado.

c) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.
d) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.
e) Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.

CLÁUSULA QUINTA. - El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que **LA CESIONARIA** no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido **EL CEDENTE** declara que no existe obligación pendiente a su favor.

CLÁUSULA SEXTA. - El presente contrato tendrá una duración indefinida, contados a partir de la firma del presente instrumento por ambas partes.

CLÁUSULA SÉPTIMA. - CLÁUSULA DE EXCLUSIVIDAD. - Por medio del presente contrato, se cede en favor de **LA CESIONARIA** el derecho a explotar la obra en forma exclusiva, dentro del marco establecido en la cláusula cuarta, lo que implica que ninguna otra persona incluyendo **EL CEDENTE** podrá utilizarla.

CLÁUSULA OCTAVA. - LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS. - LA CESIONARIA podrá licenciar la investigación a terceras personas siempre que cuente con el consentimiento de **EL CEDENTE** en forma escrita.

CLÁUSULA NOVENA. - El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en la cláusula cuarta, constituirá causal de resolución del presente contrato. En consecuencia, la resolución se producirá de pleno derecho cuando una de las partes comunique, por carta notarial, a la otra que quiere valerse de esta cláusula.

CLÁUSULA DÉCIMA. - En todo lo no previsto por las partes en el presente contrato, ambas se someten a lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, Código Civil y demás del sistema jurídico que resulten aplicables.

CLÁUSULA UNDÉCIMA. - Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como de obligatorio cumplimiento y ejecución para las partes y, en su caso, para la sociedad. El costo de tasas judiciales por tal concepto será cubierto por parte del estudiante que lo solicitare.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, a los 19 días del mes de agosto del 2026.



Pico Millingalli Jordy Alexander
EL CEDENTE

Dra. Idalia Pacheco Tigselema, Ph.D.
LA CESIONARIA

CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte **TOSCANO FRANCO DARLYN ISMAEL**, identificado con cédula de ciudadanía No. **1250623590** de estado civil soltero, a quien en lo sucesivo se denominará **EL CEDENTE**; y, de otra parte, la Doctora Idalia Eleonora Pacheco Tigselema, en calidad de Rectora, y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez, Barrio El Ejido, Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA. – EL CEDENTE es una persona natural estudiante de la carrera de Electromecánica, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado **"IMPLEMENTACIÓN DE UNA ESTACIÓN DE TRABAJO PARA ANÁLISIS DE CALIDAD DE SOLDADURA SMAW Y GMAW EN ENTORNO DE FORMACIÓN TÉCNICA"**, la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad; y, las características que a continuación se detallan:

Historial Académico

Inicio de la carrera: Octubre 2022 - Marzo 2023

Finalización de la carrera: Abril 2026 – Agosto 2026

Aprobación en Consejo Directivo: 19 de agosto del 2026

Tutor: PhD. Yoandrys Morales Tamayo

Tema: **"IMPLEMENTACIÓN DE UNA ESTACIÓN DE TRABAJO PARA ANÁLISIS DE CALIDAD DE SOLDADURA SMAW Y GMAW EN ENTORNO DE FORMACIÓN TÉCNICA"**

CLÁUSULA SEGUNDA. - LA CESIONARIA es una persona jurídica de derecho público creada por ley, cuya actividad principal está encaminada a la educación superior formando profesionales de tercer y cuarto nivel normada por la legislación ecuatoriana la misma que establece como requisito obligatorio para publicación de trabajos de investigación de grado en su repositorio institucional, hacerlo en formato digital de la presente investigación.

CLÁUSULA TERCERA. - Por el presente contrato, **EL CEDENTE** autoriza a **LA CESIONARIA** a explotar el trabajo de grado en forma exclusiva dentro del territorio de la República del Ecuador.

CLÁUSULA CUARTA. - OBJETO DEL CONTRATO: Por el presente contrato **EL CEDENTE**, transfiere definitivamente a **LA CESIONARIA** y en forma exclusiva los siguientes derechos patrimoniales; pudiendo a partir de la firma del contrato, realizar, autorizar o prohibir:

f) La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.
g) La publicación del trabajo de grado.

h) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.
i) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.
j) Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.

CLÁUSULA QUINTA. - El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que **LA CESIONARIA** no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido **EL CEDENTE** declara que no existe obligación pendiente a su favor.

CLÁUSULA SEXTA. - El presente contrato tendrá una duración indefinida, contados a partir de la firma del presente instrumento por ambas partes.

CLÁUSULA SÉPTIMA. - CLÁUSULA DE EXCLUSIVIDAD. - Por medio del presente contrato, se cede en favor de **LA CESIONARIA** el derecho a explotar la obra en forma exclusiva, dentro del marco establecido en la cláusula cuarta, lo que implica que ninguna otra persona incluyendo **EL CEDENTE** podrá utilizarla.

CLÁUSULA OCTAVA. - LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS. - LA CESIONARIA podrá licenciar la investigación a terceras personas siempre que cuente con el consentimiento de **EL CEDENTE** en forma escrita.

CLÁUSULA NOVENA. - El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en la cláusula cuarta, constituirá causal de resolución del presente contrato. En consecuencia, la resolución se producirá de pleno derecho cuando una de las partes comunique, por carta notarial, a la otra que quiere valerse de esta cláusula.

CLÁUSULA DÉCIMA. - En todo lo no previsto por las partes en el presente contrato, ambas se someten a lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, Código Civil y demás del sistema jurídico que resulten aplicables.

CLÁUSULA UNDÉCIMA. - Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como de obligatorio cumplimiento y ejecución para las partes y, en su caso, para la sociedad. El costo de tasas judiciales por tal concepto será cubierto por parte del estudiante que lo solicitare.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, a los 18 días del mes de agosto del 2026.



Toscano Franco Darlyn Ismael
EL CEDENTE

Dra. Idalia Pacheco Tigselema, Ph.D.
LA CESIONARIA

AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tutor del Proyecto de Investigación sobre el título:

"IMPLEMENTACIÓN DE UNA ESTACIÓN DE TRABAJO PARA ANÁLISIS DE CALIDAD DE SOLDADURA SMAW Y GMAW EN ENTORNO DE FORMACIÓN TÉCNICA", de Pico Millingalli Jordy Alexander; Toscano Franco Darlyn Ismael, de la carrera de Electromecánica, considero que dicho Informe Investigativo es merecedor del aval de aprobación al cumplir las normas técnicas, traducción y formatos previstos, así como también ha incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la pre-defensa.

La Maná, 19 agosto del 2026

PhD. Yoandrys Morales Tamayo
C.C.: 1756958797
TUTOR

AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación, de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná, carrera de Ingeniería Electromecánica; por cuanto, los postulantes: Pico Millingalli Jordy Alexander, y Toscano Franco Darlyn Ismael con el título de Proyecto de Investigación: **"IMPLEMENTACIÓN DE UNA ESTACIÓN DE TRABAJO PARA ANÁLISIS DE CALIDAD DE SOLDADURA SMAW Y GMAW EN ENTORNO DE FORMACIÓN TÉCNICA"**, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúnen los méritos suficientes para ser sometidos al acto de sustentación del proyecto.

La Maná, 19 de agosto del 2026

Para constancia firma:

Ing. Bautista Romero Milton Andrés, MSc
C.C.: 0503886483
LECTOR 1 (PRESIDENTE)

Ing. Romero Bedon Freddy Rodrigo, MSc
C.C. 0503499642
LECTOR 2 (MIEMBRO)

Ing. Corrales Bonilla Jonathan Israel, MSc
C.C.: 0503145518
LECTOR 3 (MIEMBRO)

AGRADECIMIENTO

Al culminar esta importante etapa de mi vida, agradezco principalmente a Dios, por brindarme salud fortaleza y sabiduría para superar cada obstáculo y permitirme alcanzar una de mis metas más importantes.

A mis queridos padres, Luis Oswaldo Toscano Quevedo y Dora Cumandá Franco Chiriboga, les agradezco por su amor, apoyo, confianza y por enseñarme con su ejemplo a ser una persona responsable, perseverante y respetuosa, este logro también es de ustedes.

A mis hermanos, gracias por su apoyo, sus consejos y palabras de motivación, que me impulsaron a seguir adelante y nunca rendirme.

A mi prestigiosa institución y docentes gracias por brindarme la oportunidad de formarme profesionalmente y por compartir sus conocimientos y experiencias contribuyendo a mi crecimiento académico y personal.

Finalmente agradezco a mis amigos y compañeros por todos los momentos compartido, las experiencias y aprendizajes que hicieron de esta etapa un recuerdo inolvidable gracias por convertirse en una familia y formar parte de este importante logro en mi vida.

Darlyn

AGRADECIMIENTO

Al culminar esta importante etapa de mi vida, agradezco primeramente a Dios por brindarme salud, fortaleza y sabiduría para seguir adelante y alcanzar cada una de mis metas.

A mis queridos padres Verónica Millingalli y Pablo Pico, gracias por su amor, sacrificio y apoyo incondicional, este logro es también de ustedes a mis hermanos Viviana Pico y Josué Pico y a mis familiares María Paula, Custodio Millingalli, por sus consejos, cariño y palabras de motivación durante este camino.

De manera especial, agradezco a Sofia Chicaiza por su amor, comprensión, apoyo y por ser mi compañera durante esta etapa.

A la universidad técnica de Cotopaxi, Extensión La Maná y a la carrera de Ingeniería en Electromecánica, por brindarme la oportunidad de formarme profesionalmente mi sincero agradecimiento a los ingenieros Paul pazuña, Alex Paredes, Yoandrys Morales, William Hidalg, Rodrigo Romero, Jhonatan Corrales y Milton Bautista, por compartir sus conocimientos y experiencia

Jordy

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación se lo dedico con mucho amor a mi padre Luis Oswaldo Toscano Quevedo y mi querida madre Dora Cumandá Franco Chiriboga quienes siempre me enseñaron buenos consejos, ayuda moral y económica que fueron muy útil para llevar a cabo mis estudios universitarios.

A mi hermana, tíos y más familiares quienes siempre están pendientes de lo que me sucede y estoy haciendo este trabajo donde ustedes son parte, los amo a todos gracias por el aprecio.

Darlyn

DEDICATORIA

Películas de trabajo con mucho cariño a mis padres Verónica minga y Pablo pico por estar siempre a mi lado por sus consejos su esfuerzo y por apoyarme en cada paso de en cada paso de este camino gracias por enseñarme a seguir adelante y no rendirme cuando las cosas se ponen difíciles.

A mis hermanos Viviana y Josué y a mis familiares María Paula custodio y libertinaje por su cariño por estar pendientes de mí y por acompañarme durante esta etapa tan importante de mi vida.

También quiero dedicar este logro a Sofía Chicaiza por su cariño paciencia comprensión y por compartir conmigo tantos momentos durante este camino.

A todos ustedes gracias por ser parte de este logro y por acompañarme hasta llegar a esta meta.

Jordy

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

TÍTULO: "IMPLEMENTACIÓN DE UNA ESTACIÓN DE TRABAJO PARA ANÁLISIS DE CALIDAD DE SOLDADURA SMAW Y GMAW EN ENTORNO DE FORMACIÓN TÉCNICA",

Autores:

Toscano Franco Darlyn Ismael

Pico Millingalli Jordy Alexander

RESUMEN

El presente proyecto implementó una estación de trabajo especializada en la Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná, la cual se diseñó para el análisis integral de calidad de procesos de soldadura SMAW y GMAW. La infraestructura cuenta con áreas diferenciadas para soldadura, inspección y almacenamiento, integrando sistemas de seguridad como ventilación forzada de 1200 m^3/h y una red de puesta a tierra con resistencia $\leq 10\Omega$, cumpliendo con las normativas OSHA 29 CFR 1910.252 y RETIE. Como resultado del desarrollo metodológico, se crearon herramientas didácticas fundamentales: un Manual de Operación Estandarizado (SOP), una matriz de criterios de aceptación y rechazo alineada a las normas internacionales AWS D1.1:2025 y ASME Sección IX:2025, y un catálogo visual de 11 discontinuidades con registros reales de probetas fabricadas en la estación. Estos instrumentos permitieron transformar la enseñanza de la soldadura de un enfoque empírico a uno sistemático y evaluable. Los resultados de la evaluación del impacto educativo mediante pruebas pretest y postest demostraron una efectividad excepcional, como la mejora en el desempeño total: (puntuaciones de los estudiantes incrementó de 7.60 a 17.20 (sobre 20), lo que representó un aumento del 126.3%). En la identificación de defectos (Dimensión 1), la media paso de 3.60 a 8.50 (incremento del 136.1%), facilitada por el uso de galga tipo BRIDGE CAMs de soldadura, lupas industriales y tintas penetrantes. En el control de parámetros operativos (Dimensión 2), el rendimiento de 4.0 a 8.70 (incremento del 117.5%), evidenciando un mayor dominio en el ajuste de voltaje, amperaje y velocidad de avance. El análisis inferencial validó estos resultados con un nivel de confianza del 95% y un p-valor < 0.001, indicando que la mejora es estadísticamente significativa. Además, se calculó un tamaño del efecto de d de Cohen de 17.45, valor extremadamente alto que confirma que la estación de trabajo tuvo una repercusión práctica sustancial en el aprendizaje. En conclusión, el proyecto demostró que la inversión en infraestructura estructurada y normativa prepara de manera efectiva a los estudiantes para los estándares de calidad exigidos por la industria metalmecánica.

Palabras claves: SMAW, GMAW, Normativas AWS y ASME, formación técnica, estación de trabajo, calidad.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI

FACULTY OF ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES

TITLE: "IMPLEMENTATION OF A WORKSTATION FOR SMAW AND GMAW WELD QUALITY ANALYSIS IN A TECHNICAL TRAINING ENVIRONMENT".

Authors:

Toscano Franco Darlyn Ismael

Pico Millingalli Jordy Alexander

ABSTRACT

This project implemented a specialized workstation at the Cotopaxi Technical University, La Maná Extension, designed for the comprehensive quality analysis of SMAW and GMAW welding processes. The infrastructure includes separate areas for welding, inspection, and storage, integrating safety systems such as a 1200 m^3/h forced ventilation system and a grounding network with a resistance $\leq 10\,\Omega$, complying with OSHA 29 CFR 1910.252 and RETIE regulations. As a result of the methodological development, fundamental educational tools were created: a Standard Operating Procedure (SOP), an acceptance and rejection criteria matrix aligned with the international standards AWS D1.1:2025 and ASME Section IX:2025, and a visual catalog of 12 discontinuities with actual records from test specimens manufactured at the station. These tools transformed welding instruction from an empirical approach to a systematic and evaluable one. The results of the educational impact assessment, using pre-tests and post-tests, demonstrated exceptional effectiveness, including improvements in overall performance (student scores increased from 7.60 to 17.20, representing a 126.3% increase). Defect identification (Dimension 1) showed a 136.1% improvement, facilitated by the use of welding gauges, industrial magnifying glasses, and penetrant testing. Finally, control of operating parameters (Dimension 2) improved by 117.5%, demonstrating greater mastery in adjusting voltage, amperage, and travel speed. Inferential analysis validated these results with a 95% confidence level and a p-value < 0.001, indicating that the improvement is statistically significant. Furthermore, a Cohen's d effect size of 17.45 was calculated, an extremely high value that confirms the workstation had a substantial practical impact on learning. In conclusion, the project demonstrated that investment in structured and regulatory infrastructure effectively prepares students for the quality standards demanded by the metalworking industry.

Keywords: SMAW, GMAW, AWS and ASME standards, technical training, workstation, quality.

INDICE GENERAL

1. INFORMACIÓN GENERAL 1
2. INTRODUCCIÓN 2
3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO 3
4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO 4
5. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN: 5
5.1 Planteamiento del problema 5
5.2 Formulación del problema 5
5.3. Delimitación espacial 6
5.4. Delimitación temporal 6
5.5. Delimitación conceptual 6
6. OBJETIVOS 6
6.1 Objetivo General 6
6.2 Objetivos específicos 6
7. ACTIVIDADES Y SISTEMAS DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS 7
8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA 9
8.1 Procesos de soldadura SMAW y GMAW 9
8.1.1 Soldadura SMAW (Shielded Metal Arc Welding) 9
8.1.2. Soldadura GMAW (Gas Metal Arc Welding) 10
8.2 Parámetros de soldadura y su influencia en la calidad 12
8.3 Defectos comunes en soldadura SMAW y GMAW 13
8.4. Normas Internacionales para la evaluación de la calidad de soldadura 15
8.5. Equipos e instrumentos para el análisis de soldadura 17
8.5.1. Selección de equipos para la estación de trabajo 17
8.6 Como de la estación de trabajo 19

8.6.1 Relación entre el diseño físico y el Manual de Operación Estandarizado (SOP) 20
8.6.2. Componentes y distribución de una estación de trabajo 21
8.6.3 Equipos de protección personal 21
8.6.4. Beneficios de las estaciones de trabajo en la formación técnica 22
9. Metodología 23
9.1 Enfoque y tipo de Investigación 23
9.2 Procedimiento metodológico pasa a paso 23
9.3 Técnicas e instrumentos de recolección de Datos 27
9.3.1 Observación directa 27
9.3.2 Medición eléctrica y ambiental 27
9.3.3 Análisis documental 27
9.3.4 Evaluación práctica (Preteste y Postest) 28
9.4 Diseño experimental 29
9.4.1 Población y muestra 29
9.4.2 Procedimiento de aplicación 29
9.5 Análisis estadístico 30
9.6 Consideraciones éticas 31
10. Resultados del diseño y construcción de la estación de trabajo 31
10.1 Distribución física y componentes estructurales 31
10.1.2 Selección de equipos e instrumentos 32
10.1.3 Sistemas de seguridad y ventilación 33
10.2 Resultados del desarrollo de protocolos y criterios de calidad 34
10.2.1 Manual de Operación Estandarizado (SOP) 34
10.2.2 Matriz de Criterios de Aceptación y Rechazo 35
10.2.3 Catálogo visual de discontinuidades 36
10.3 Resultados de la evaluación del impacto educativo 37

10.3.1 Matriz de datos primarios (Preteste vs Postest) 37
10.3.2 Análisis inferencial (Validación de hipótesis) 39
11. Discusión general 41
11.1 Efectividad de la estación de trabajo 41
11.2 Aplicabilidad de las normativas AWS D1.1 y ASME IX 43
11.3. Identificación de defectos y control de parámetros 44
12. Conclusiones 45
13. Recomendaciones 46
14. Referencias Bibliográficas 47

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Actividades y sistema de tareas en relación a los objetivos planteados. 7
Tabla 2. Comparaciones entre los procesos SMAW y GMAW 12
Tabla 3. Parámetros de soldadura y sus efectos..... 12
Tabla 4. Defectos comunes en soldadura SMAW y GMAW..... 13
Tabla 5. Comparación de ocurrencia de defectos entre SMAW y GMAW..... 14
Tabla 6. Normas internacionales para soldadura 15
Tabla 7. Elementos fundamentales de la inspección según AWS D1.1 16
Tabla 8. Equipos e instrumentos para estación de soldadura..... 17
Tabla 9. Criterios de selección de equipos e instrumentos para la estación de trabajo 18
Tabla 10. Componentes de una estación de trabajo..... 21
Tabla 11. Equipos de protección personal (EPP)..... 21
Tabla 12. Evaluación del desempeño práctico..... 28
Tabla 13. Equipos y especificaciones 33
Tabla 14. Matriz de criterio de aceptación y rechazo 35
Tabla 15. Puntuaciones individuales que obtuvieron los estudiantes en el pretest y postest para las dimensiones evaluadas D1 y D2. 37
Tabla 16. Resultados de la Prueba de Shapiro-Wilk..... 39
Tabla 17. Prueba de t de Student..... 40
Tabla 18 Tabla resumen de todos los defectos del catálogo de continuidades..... 56
Tabla 19 Procedimientos..... 59
Tabla 20 Ficha Técnica N°1: Soldadura GMAW Invesor 410-MIG (250A)..... 60
Tabla 21. Ficha Técnica N°2: Soldadura SMAW Lincoln AC225..... 60
Tabla 22. Ficha Técnica N°3: Soldadura SMAW Lincoln AC225..... 60
Tabla 23. Ficha Técnica N°4: Calibrador Vernier 61
Tabla 24. Ficha Técnica N°5: Lupa industrial con iluminación LED 61
Tabla 25. Ficha Técnica N°6: Kit de líquidos penetrantes (ASTM E165) 61
Tabla 26. Rúbrica de Evaluación para PRETEST y POSTEST 63

INDICE DE FIGURAS

Figura. 1 Soldadura SMAW 10
Figura. 2 Soldadura GMAW básico 11
Figura. 3 Comparación de las medias en el Pretest y Postest de las dimensiones de identificación de defectos (D1) y control de parámetros (D2) 38
Figura. 4 Vista tridimensional ensamblada de la estación de trabajo 51
Figura. 5 Plano Distribución arquitectónica de la estación 52
Figura. 6D-02 Socavación (Undercut) 53
Figura. 7D-01 Porosidad 53
Figura. 8 D-04 Falta de penetración (Incomplete Penetration) 53
Figura. 9D-03 Falta de fusión (Lack of Fusion) 53
Figura. 10D-06 Grieta (Craking) 54
Figura. 11D-05 Inclusión de escoria (Slag Inclusion) 54
Figura. 12D-08 Refuerzo excesivo (Excessive Reinforcement) 54
Figura. 13D-07 Solapamiento (Overlap) 54
Figura. 14D-09 Perfil Inadecuado (Improper Profile) 55
Figura. 15D-10 Salpicadura (Spatter) 55
Figura. 16D-11 Filete subdimensionado (Undersized Fillet Weld) 55

1. INFORMACIÓN GENERAL

Título del Proyecto:	"Implementación de una estación de trabajo para análisis de calidad de soldadura SMAW y GMAW en entorno de formación técnica"
Fecha de inicio:	Abril del 2026
Fecha de finalización:	Agosto del 2026
Lugar de ejecución:	Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná
Facultad que auspicia:	Extensión La Maná
Carrera que auspicia:	Ciencias de la ingeniería y aplicadas CIYA
Equipo de trabajo:	Toscano Franco Darlyn Ismael Pico Millingalli Jordy Alexander
Tutor:	PhD. Yoandrys Morales
Área de conocimiento:	Ingeniería, Industria y Construcción
Línea de investigación:	Procesos Industriales
Sub línea de investigación:	Diseño, construcción y mantenimiento de proyectos electromecánicos.

2. INTRODUCCIÓN

La soldadura es uno de los métodos de producción muy críticos en las industrias eléctrica, metalmecánica y de manufactura, cuestión que está dada por permitir la unión permanente de materiales metálicos cuando se aplica calor de calor, presión o ambas, con o sin material de contribución. Los procesos de soldaduras como los denominados por arco eléctrico, como SMAW (Shield Metal Arc Welding) y GMAW (Gas Metal Arc Welding) se utilizan con mucha frecuencia en la construcción de estructuras metálicas, tuberías, equipos industriales y componentes mecánicos, por la versatilidad, eficiencia y capacidad que poseen para causar uniones de alta resistencia [23]. Aunque se destaca que, la calidad de estas uniones soldadas dependerá en gran medida del control de los diferentes parámetros como la corriente, voltaje, velocidad de avance y la habilidad de la persona que realice la soldadura [29].

En el espacio de la enseñanza técnica docente, la soldadura se describe como tradicionalmente empírica, esto se basa en la práctica repetitiva sin un sistema que permita evaluar de forma objetiva la calidad del cordón de la soldadura, ni tampoco analizar los indicadores técnicos que influyen en su desempeño [25]. Tal situación limita el desarrollo de competencias técnicas avanzadas en el alumnado, los cuales necesitan no solo la habilidad práctica, sino además los conocimientos referentes a las normas de calidad, control de los diferentes procesos y evaluación de defectos, cuestiones primordiales para su desempeño como futuros profesionales.

Así, en la Universidad Técnica de Cotopaxi, y concretamente en la extensión La Maná, a través de la carrera de Ingeniería Electromecánica, se identificó la obligación de fortalecer la infraestructura del laboratorio de soldadura para brindar una formación más integral y alineada con las exigencias del sector industrial [25],[29]. Así, la instrumentación de una estación de trabajo para el análisis de la calidad de la soldadura en los procesos SMAW y GMAW responderían a esta necesidad, lo que permitirá a los estudiantes realizar prácticas controladas, así como evaluar la calidad de sus uniones y entender la relación entre los indicadores de soldadura y las propiedades finales de la unión [23].

El presente proyecto posee como objetivo instrumentar una estación de trabajo equipada con máquinas de soldadura, instrumentos de medición, equipos de seguridad y herramientas de inspección, lo que permitirá la realización de prácticas de soldadura, además del análisis correspondiente del sistema de calidad de las uniones [29]. En este sentido, se establecen procedimientos operativos los cuales se basan en normas internacionales como AWS D1.1 y ASME

Sección IX, las cuales proporcionan criterios estandarizados de aceptación y rechazo de soldaduras, además de guías de laboratorio que faciliten el aprendizaje de los estudiantes [1], [2].

3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

La soldadura se destacada como uno de los procesos vitales en la industria metalmecánica, eléctrica y de manufactura, por lo que su correcta enseñanza en los entornos de formación técnica resulta fundamental para garantizar la preparación de profesionales competentes. Sin embargo, en muchos laboratorios universitarios el aprendizaje de la soldadura se realiza de manera empírica, sin un sistema estructurado que permita evaluar la calidad del cordón de soldadura ni analizar los parámetros técnicos que influyen en su desempeño.

En este contexto, la implementación de una estación de trabajo para análisis de calidad de soldadura SMAW y GMAW en un entorno de formación técnica se justifica como una propuesta innovadora que permitirá mejorar la enseñanza práctica, fortalecer la investigación aplicada y elevar el nivel de formación de los estudiantes que cursan Electromecánica. Esta investigación aportará una infraestructura técnica especializada que permitirá realizar ensayos de calidad, análisis de defectos y evaluación de parámetros operativos, alineando la formación académica con las exigencias del sector industrial.

La importancia de este proyecto reside en que la soldadura es uno de los procesos de fabricación más críticos en la industria; la presencia de discontinuidades como falta de fusión, penetración incompleta, inclusiones de desechos o porosidad, afectan considerablemente la vida útil de las estructuras, lo que puede provocar fallas desastrosas y perdidas económicas grandes, Así, la instrumentación de esta estación permitirá a los estudiantes apreciar como las diferentes variables de control como: voltaje, amperaje y velocidad de avance, impacta directamente en la calidad del producto de la soldadura, aspecto vital para un buen control de la calidad en la industria a de forma general.

El proyecto también permitirá resolver una necesidad institucional, al dotar a la universidad de un espacio técnico estructurado para prácticas de soldadura, contribuyendo a la modernización de los laboratorios y al fortalecimiento de la enseñanza experimental. Además, facilitará la elaboración de proyectos y programas orientados a la gestión de auspicios externos, mediante la demostración de capacidades técnicas que pueden ser de interés para empresas del sector metalmecánico, organismos de cooperación y entidades gubernamentales.

Asimismo, los resultados del proyecto podrán ser contextualizados y aplicados en programas de capacitación técnica, transferencia de tecnología y vinculación con la sociedad, beneficiando tanto a estudiantes como a sectores productivos de la región. La implementación de la estación de trabajo permitirá establecer relaciones con otros centros de investigación, universidades y organismos de desarrollo, fomentando la cooperación académica y el proceso de trabajois conjuntos en el área de procesos de manufactura y soldadura.

Finalmente, el impacto esperado del proyecto se refleja en la mejoría del proceso de enseñanza–aprendizaje, la generación de conocimiento técnico aplicado, el fortalecimiento de la infraestructura universitaria y la formación de profesionales con competencias técnicas certificables en soldadura, contribuyendo al desarrollo industrial y tecnológico del país.

4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

Beneficiarios directos:

- **Estudiantes del 1er ciclo:** Quienes cursan *Complementos Mecánicos*, provee las bases sobre elementos mecánicos que conformarán la estructura física de la estación de trabajo.
- **Estudiantes del 2do ciclo:** Quienes cursan *Mecánica de los Cuerpos Deformables,* Clave para analizar cómo las tensiones térmicas de la soldadura afectan la estructura del material.
- **Estudiante del 5to ciclo:** quienes cursan *Mecanismos* Análisis de movimiento, grados de libertad y cinemática de la estación.
- **Estudiante del 6to ciclo:** Quienes cursan *Diseño de Máquinas*, provee cálculo de resistencia y selección de materiales para esos mecanismos.

Beneficiaros indirectos:

- **Docentes de la carrera de electromecánica**: Quienes mejoraran con sus acciones el proceso de enseñanza-aprendizaje mediante la utilización de la estación de trabajo como herramienta pedagógica.
- **Universidad Técnica de Cotopaxi**: La institución fortalecerá sus laboratorios y su capacidad de formación técnica, lo que permitirá mejorar su posicionamiento académico.
- **Empresas del sector metalmecánico**: constaran con profesionales mejor preparados en el control de la calidad de soldadura, lo que reducirá los costos de capacitación y mejorará la calidad de sus productos.
- **Comunidad académica y científica**: Los resultados del proyecto se utilizarán como base para futuras investigaciones en procesos de manufactura, materiales y control de la calidad.

Aproximadamente 300 estudiantes de la Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná, 15 docentes y 10 empresas de la región, así como investigadores de otras carreras.

5. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN:

5.1 Planteamiento del problema

La falta de una estación de trabajo especializada para el análisis integral de calidad en los de procesos de soldadura por arco de metal protegido (SMAW) y por arco de metal y gas (GMAW) limita el afianzamiento de conocimientos prácticos sobre la integridad de uniones soldadas. En la actualidad, aunque la malla curricular de la carrera de Electromecánica contempla asignaturas críticas como Tecnologías de la Construcción Mecánica y Diseño de Máquinas, existe una brecha entre la teoría y la ejecución técnica controlada.

En los laboratorios de la Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná, las prácticas de soldaduras se realizan de manera empírica, no existe un sistema que permita valorar la calidad del cordón ni analizar los indicadores técnicos que influyen en su desempeño. Los estudiantes realizan ejercicios de soldaduras sin una retroalimentación objetiva sobre la calidad de sus uniones, lo que limita la capacidad de identificar defectos y mejorar la técnica. Además, la falta de instrumentos de medición específicos para el análisis de la calidad de la soldadura, como galga tipo BRIDGE CAMs de soldaduras, calibradores, tintas penetrantes y equipos para ensayos no destructivos, impiden la evaluación sistemática de parámetros como la geometría del cordón, la penetración y la presencia de discontinuidades. Cuestión que afecta tanto el aprendizaje de los alumnos, y también la capacidad de la universidad para realizar investigaciones aplicadas y proyectos de vinculación con el sector productivo.

Por ello, se considera imperativo implementar una estación de trabajo que permita no solo la ejecución de cordones de soldadura, sino el análisis sistemático de sus parámetros y defectos, beneficiando de forma real y práctica a los alumnos de la UTC. Esta estación deberá estar equipada con máquinas de soldaduras, instrumentos de medición, equipos de seguridad y materiales de ensayo, así como de procedimientos técnicos y guías de laboratorio para la evaluación de la calidad mediante inspección visual y ensayos básicos.

5.2 Formulación del problema

¿Cómo implementar y validar una estación didáctica de trabajo para soldadura SMAW y GMAW que permita evaluar parámetros básicos de calidad del cordón y fortalecer competencias prácticas en estudiantes de Electromecánica?

5.3. Delimitación espacial

El proyecto se desarrollará en la Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná, específicamente en el laboratorio de la carrera de Ingeniería Electromecánica, que se localiza en el cantón La Maná, provincia de Cotopaxi.

5.4. Delimitación temporal

El proyecto se ejecutó en un período de seis meses comprendido entre octubre de 2025 y marzo de 2026.

5.5. Delimitación conceptual

El proyecto se registra en el área de diseño, construcción y mantenimiento de elementos, prototipos y sistemas electromecánicos, específicamente en la línea de procesos industriales y desarrollo de tecnologías y procesos de fabricación.

6. OBJETIVOS

6.1 Objetivo General

Instrumentar una estación de trabajo para el análisis de calidad de soldadura en los procesos SMAW y GMAW, evaluando la integridad de las uniones mediante la estandarización de parámetros técnicos y el control de discontinuidades en un entorno de formación técnica.

6.2 Objetivos específicos

- Construir una estación de trabajo, seleccionando y justificando los equipos de soldaduras, instrumentos de medición, sistemas de seguridad y herramientas de inspección necesarias para los procesos SMAW y GMAW, basados en las normativas internacionales AWS D1.1 y ASME Sección IX.
- Desarrollar un protocolo de operación y análisis de calidad, estableciendo procedimientos para la inspección visual y dimensional de cordones de soldadura.
- Evaluar el impacto de la estación de trabajo en el proceso de aprendizaje, y medir la mejoría en el desempeño técnico de los estudiantes mediante un diseño pre-experimental con pruebas pretest y postest.

7. ACTIVIDADES Y SISTEMAS DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS

Tabla 1. Actividades y sistema de tareas en relación a los objetivos planteados.

Objetivos	Actividades	Resultados	Descripción
Construir una estación de trabajo, seleccionando y justificando los equipos de soldaduras, instrumentos de medición, sistemas de seguridad y herramientas de inspección necesarias para los procesos SMAW y GMAW, basados en las normas universales AWS D1.1 y ASME Sección IX.	1.1Revisión bibliográfica y normativa sobre equipos y materiales para soldadura SMAW y GMAW.	Recopilación de las especificaciones técnicas del equipamiento, electrodos, gases y metales de aporte requeridos.	Búsqueda y análisis documental en normas AWS D1.1 (Cláusula 6: Inspección), ASME Sección IX (Artículo I y II), catálogos técnicos de fabricantes de equipos (Miler, Linconln Electric, ESAB y literatura especializada (NFPA 51B, OSHA). Elaboración de fichas técnicas comparativas.
	1.2 Diseño de la distribución física de la estación	Planos de distribución en planta y elevación	Definición de áreas de soldaduras, inspección, almacenamiento y seguridad mediante el modelado en Revit 2027 [33], obteniendo planos 2D y 3D
	1.3 Construcción e instalación de la estación en el laboratorio	Estación operativa con equipos, ventilación y seguridad instalados.	Adquisición de materiales. Construcción de mesas. Instalaciones eléctricas, extractor de humos, señalización y EPP. Pruebas de funcionamiento
Desarrollar un protocolo de operación y análisis de calidad, estableciendo procedimientos para la	2.1 Definición de criterios de aceptación y rechazo para discontinuidades.	Matriz de criterios de aceptación y rechazo (Tabla 14)	Se analizaron las cláusulas 6 y 7 de AWS D1.1:2025 y la Sección QW de ASME IX:2025. SE elaboró una tabla resumen con los límites de aceptación para cada discontinuidad, diferenciado entre soldaduras de filete, CJP y PJP, y considerando cargas estáticas vs cíclicas.

inspección visual y dimensional de cordones de soldadura	2.2 Elaboración de procedimientos de inspección visual, dimensional y Ensayos no destructivos (END) básicos	Manual de Operación Estandarizado (SOP) de 8 pasos y protocolos de inspección con formatos de registro.	Se desarrollará el SOP con pasos secuenciales: colocación de EPP, verificación de la estación, preparación de probeta, selección de parámetros, ejecución de soldadura, enfriamiento y limpieza, inspección y registro y limpieza final. Se definirán procedimientos pata END con líquidos penetrantes (ASTM E165).
	2.3 Redacción de guías de laboratorio para estudiantes.	Catálogo visual con 11 discontinuidades. (D-01 a D-11) con fotografías reales de probetas fabricadas en la estación).	Elaboración de guías secuenciales con: objetivos, fundamentos, materiales, procedimientos, formatos de registro y criterios de evaluación. Adaptadas a los niveles de los estudiantes
Evaluar el impacto de la estación de trabajo en el proceso de aprendizaje, midiendo la mejora en el desempeño técnico de los estudiantes en la identificación de defectos y el control de parámetros operativos, mediante un diseño pre-experimental con pruebas pretest y postest.	3.1 Diseño y validación de instrumentos de evaluación	Cuestionarios validados	Diseño de cuestionario de percepción
	3.2 Aplicación de pretest y prácticas guiadas en la estación.	Datos de línea base (pretest) y registros de desempeño durante las prácticas guiadas	Evaluación práctica inicial de habilidades. Sesiones supervisadas con operación de equipos, inspecciones y uso de END. Registros de observaciones.
	3.3 Aplicación de postest y análisis estadístico de resultados	Matriz de datos primarios (pretest y postest) con análisis descriptivo e inferencial, y conclusiones	Reevaluación práctica con la misma rúbrica. Aplicación de cuestionario de percepción. Análisis estadístico y elaboración de gráficos comparativos, conclusiones y recomendaciones.

Fuente: *Elaboración propia*

8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA

8.1 Procesos de soldadura SMAW y GMAW

La soldadura por arco eléctrico se conoce como la unión de materiales mediante la generación de un arco eléctrico entre un electrodo y la pieza de trabajo, lo que funde el metal base y, en su caso, el de aporte [24] Así, la literatura refiere los procesos SMAW y GMAW son los más utilizados en la industria por su versatilidad y eficiencia [25].

Es necesario señalar que entre los procesos de soldadura por arco eléctrico más utilizado a nivel mundial se encuentra el SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) y el GMAW (*Gas Metal Arc Welding)*. Ambos métodos generan un arco eléctrico que funde el material base y el material de aporte, lo que forma una unión metalúrgica resistente [25].

8.1.1 Soldadura SMAW (Shielded Metal Arc Welding)

Este proceso que también se conoce como soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido, es uno de los métodos más variables y muy utilizado en la industria. En este proceso, el calor necesario para la fusión del material base y del electrodo se genera por un arco eléctrico que se establece entre el electrodo y la pieza de trabajo. El electrodo se compone de un núcleo metálico recubierto por un revestimiento de materiales que, al fundirse, van a generar gases y residuo vítreo no metálico que protegen el baño de fusión de la contaminación atmosférica.

Características principales del proceso SMAW:

- **Versatilidad**: Puede emplearse en diferentes posiciones (plana, horizontal, vertical y sobre cabeza).
- **Simplicidad**. El equipo que se necesita para este fin es relativamente sencillo y económico, no necesita gases ni otros equipos auxiliares.
- **Portabilidad**: Los equipos de soldadura SMAW son fáciles de transportar, lo que hace fácil su empleo en campo y en trabajos de mantenimiento.
- **Capacidad para superficies contaminadas:** Este proceso puede manejar superficies con óxido, pintura o humedad mejor que en otros procesos.

Limitaciones del proceso SMAW:

- **Baja productividad:** La necesidad de reemplazar los electrodos continuamente (longitud limitada) reducción de la productividad en comparación con procesos de alimentación continua.
- **Generación de la escoria:** La escoria que se forma durante el proceso se debe remover posterior a cada pasada, esto incrementa el tiempo de operación.
- **Calidad dependiente del soldador:** La calidad de la soldadura depende casi totalmente de la habilidad y experiencia que tenga el soldador.
- **Menor eficiencia en aplicaciones de alta producción:** Si se trata de grandes volúmenes de producción, el SMAW resulta menos eficiente que el GMAW.



Figura. 1 Soldadura SMAW

Fuente: [3]

8.1.2. Soldadura GMAW (Gas Metal Arc Welding)

El proceso GMAW, el cual se conoce como soldadura MIG/MAG (Metal Inert Gas/Metal Active Gas), es un proceso de soldadura por arco eléctrico en el cual se emplea un electrodo continuo de alambre gas protector que se suministra desde una fuente externa. Este arco se forma entre el alambre y la pieza de trabajo, fundiendo ambos materiales y formando la unión.

Características principales del proceso GMAW:

- **Alta productividad**: La alimentación continua del electrodo permite altas velocidades de deposición y la reducción de tiempos de soldaduras.

- **Calidad consistente**: El uso de gas protector y la naturaleza semiautomática o automática del proceso permiten obtener soldaduras de alta calidad con menor dependencia de la habilidad del soldador.
- **Menor generación de escoria**: El proceso produce menos escoria que el SMAW, reduciendo el tiempo de limpieza entre pasadas
- **Versatilidad de materiales**: Se puede emplear para una amplia gama de materiales, que incluye aceros al carbono, aceros inoxidables, aluminio y otras aleaciones.

Limitaciones del proceso GMAW:

- **Equipo más complejo:** Necesita una fuente de alimentación, alimentador de alambre, cilindro de gas, regulador de flujo y pistola de soldadura, lo que aumenta el costo y la complejidad
- **Sensibilidad a corrientes de aire**: La protección del gas se puede afectar por corriente de aire, lo que limita su uso en exteriores o en condiciones de viento.
- **Costos operativos adicionales:** El gas protector y el combustible representan costos adicionales en comparación con el método anterior (SMAW).
- **Menor tolerancia a superficies contaminadas:** El GMAW necesita superficies más limpias que el SMAW para obtener resultados óptimos.

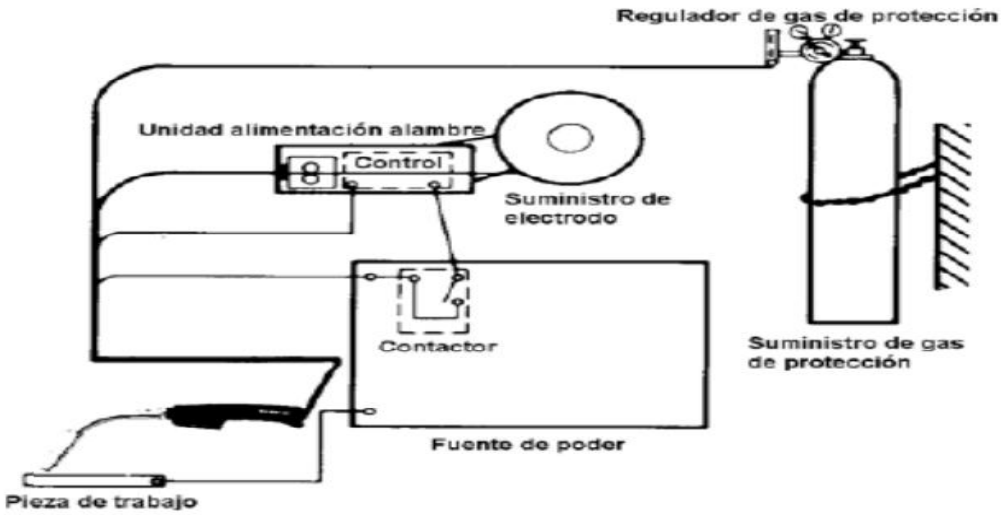

Figura. 2 Soldadura GMAW básico
Fuente: [4]

Tabla 2. Comparaciones entre los procesos SMAW y GMAW

Características	Métodos	
	SMAW	**GMAW**
Electrodo	Varilla revestida (discontinua)	Alambre continuo
Protección	Escoria y gases del revestimiento	Gas protector externo (CO_2 o mezclas)
Productividad	Baja a media	Alta
Calidad	Depende del soldador	Consistente y reproducible
Posiciones	Todas	Todas
Costo de Equipo	Bajo	Moderado a alto
Generación de escoria	Alta	Baja
Uso en exteriores	Adecuado	Limitado (viento)
Tolerancia a contaminación	Alta	Baja
Aplicaciones típicas	Mantenimiento, construcción, tuberías	Manufactura, automotriz, robótica

Fuente: *[3], [29]*

8.2 Parámetros de soldadura y su influencia en la calidad

La calidad de una soldadura se relaciona de forma directa con los indicadores de soldadura que se emplean durante el proceso. Los principales parámetros o indicadores van a incluir la corriente de soldadura, el voltaje de arco, la velocidad de avance y el canal de gas (en GMAW). Estos parámetros se deben controlar de forma cuidadosa para que se garantice la integridad de la unión y se eviten defectos [10], [25], [24].

Tabla 3. Parámetros de soldadura y sus efectos

Parámetro	Efecto de un valor excesivo	Efecto de un valor óptimo	Efecto de un valor insuficiente
Corriente (amperaje)	Penetración profunda quemado del electrodo, socavado, salpicadura.	Penetración adecuada, cordón uniforme, buena fusión.	Falta de penetración, cordón estrecho, unión débil, arco inestable.
Voltaje de arco	Arco más largo, cordón más ancho, menor penetración, mayor salpicadura	Arco estable, cordón con buena forma, penetración adecuada	Arco corto, cordón estrecho, mayor penetración, posibilidad de cortocircuito
Voltaje de Avance	Menor tiempo de calor, disminuye la penetración, cordón angosto, posible falta de fusión	Cordón uniforme, buena penetración y acabado	Mayor aporte de calor, cordón ancho, posible sobrecalentamiento y distorsión
Gas Protector (GMAW)	Turbulencia que puede introducir contaminación	Protección adecuada del balo de fusión	Falta de protección, porosidad, inclusiones

Fuente: *[4],[23]*

La interrelación entre estos parámetros determina la aparición o prevención de los defectos en la soldadura. El control inadecuado de la corriente, el voltaje o la velocidad de avance puede llevar a discontinuidades que comprometan la integridad estructural de la unión. En este sentido, es fundamental conocer los defectos más comunes en los procesos SMAW y GMAW, sus causas y los métodos para prevenirlos, tal como se trata en el siguiente acápite

8.3 Defectos comunes en soldadura SMAW y GMAW

Los defectos en las soldaduras se manifiestan como discontinuidades que afectan la calidad y la firmeza de la unión. La mayoría de los defectos de soldadura se deben a factores como control inadecuado de temperatura, limpieza deficiente, la gestión incorrecta del hidrógeno y una incorrecta selección de los parámetros de soldadura [24].

Tabla 4. Defectos comunes en soldadura SMAW y GMAW

Defecto	Descripción	Causas Principales	Métodos de detección
Porosidad	Cavidades gaseosas atrapadas en el metal de soldadura. Reducen la sección resistente.	Contaminación (aceite, humedad), gas protector inadecuado.	Inspección visual, líquidos penetrantes, radiografía, ultrasonidos.
Falta de penetración	El metal de soldadura no alcanza la raíz de la unión. Crítico en uniones a tope.	Corriente baja, velocidad alta, preparación inadecuada, espacio reducido.	Inspección visual (bordes), ultrasonidos, radiografía, ensayos destructivos
Inclusión de Escoria	Partículas de escoria atrapadas en el metal de soldadura (típico del SMAW).	Limpieza suficiente entre pasadas, corriente baja, técnica incorrecta.	Inspección visual (superficiales), radiografía, ultrasonidos (internas).
Socavado (Undercut)	Surco en la unión entre el cordón y el material base. Reduce la sección resistente.	Corriente alta, arco largo, velocidad inadecuada, ángulo incorrecto.	Inspección visual, medición con galga tipo BRIDGE CAMs.
Grietas (Cracks)	Rotura en el metal de soldadura o en la parte que se afecta por el Calor (ZAC). Defecto más grave	Tensiones térmicas, enfriamiento rápido, baja soldabilidad del material.	Inspección visual, líquidos penetrantes, partículas magnéticas, ultrasonidos
Salpicaduras (Spatter)	Gotas de metal fundido adheridas a la superficie. Afecta el acabado.	Corriente/voltajes altos, arco largo, gas inadecuado, técnica incorrecta.	Inspección visual
Fusión Incompleta	Carencia de fusión entre capas o entre el cordón y el material base.	Corriente baja, velocidad alta, preparación inadecuada.	Ultrasonidos, radiografía, ensayos destructivos

Fuente: *[7],[24]*

La tabla que aparecen a continuación recoge de forma precisa una comparación de incidencia de los defectos entre los dos métodos de SMAE y GMAW

Así, se muestra en la siguiente tabla una comparación entre los dos métodos de soldaduras en lo que a ocurrencias de defectos presentan (SMAW y GMAW).

Tabla 5. Comparación de ocurrencia de defectos entre SMAW y GMAW

Defecto	**Ocurrencia en SMAW**	**Ocurrencia en GMAW**	**Justificación**
Porosidad	Media (12-15%)	Baja a media (8-10%)	SMAW es más sensible a la humedad del revestimiento; GMAW posee protección gaseosa más controlable [25]
Falta de penetración	Media (10-12%)	Baja (7-8%)	GMAW tiene mejor control de parámetros por alimentación continua; SMAW depende más de la habilidad del soldador [3].
Inclusión de escoria	Alta (10-15%)	Muy baja (2-5%)	SMAW genera escoria abundante; GMAW produce poca ninguna
Socavado	Media (8-10%)	Media (6-8%)	Ambos procesos pueden sufrir socavado; GMAW ofrece mejor control del arco
Grietas	Baja (3-5%)	Muy baja (1-3%)	SMAW permite mejor control de hidrógeno con electrodos de bajo hidrógeno; GMAW tiene menor aporte de hidrógeno [24].
Salpicaduras	Baja (5-8%)	Media (8-12%)	GMAW puede generar más salpicaduras si los parámetros no están optimizados; SMAW tiene menor tendencia

***Fuente**: [10],[11],[25]*

La ocurrencia de defectos en soldaduras SMAW y GMAW se atañe directamente a el cumplimiento de los procedimientos establecidos, la adecuada preparación de los materiales, la correcta selección de parámetros y la habilidad del soldador. En estos dos procesos, la instrumentación de un sistema estructurado de inspección y control de la calidad, permitirá reducir de forma significativa la

ocurrencia de defectos, mejorar la calidad de las uniones y desarrollar competencias técnicas en los estudiantes de Ingeniería Electromecánica [11], [24].

La identificación y prevención de estos defectos no es un proceso arbitrario, sino que se rige por criterios estandarizados establecidos en normativas internacionales. Estas normas proporcionan los límites de aceptación y rechazo para cada tipo de discontinuidad, lo que garantiza la seguridad y confiabilidad de las estructuras soldadas.

8.4. Normas Internacionales para la evaluación de la calidad de soldadura

Para que se garantice la calidad de las uniones soldadas, se establecieron normas internacionales que definen los requisitos de diseño, fabricación, inspección y aceptación de soldaduras. Las que más se emplean en la industria incluyen a la AWS D1.1 (Structural Welding Code- Steel) y la ASME Sección IX (Wekding and Brazing Qualifications).

Tabla 6. Normas internacionales para soldadura

Norma	Organismo	Alcance	Aplicación en el Proyecto
AWS D1.1/D1.1M:2025	American Welding Society	Código de soldadura estructural. Establece requisitos para diseño, fabricación, inspección y aceptación de soldaduras en acero [1]	Principal norma para definir la aceptación de soldaduras (Cláusula 6-Inspección).
ASME Sección IX	American Society of Mechanical Engineers	Requerimientos para la valoración de procedimientos de soldadura (WPS) y soldadores (WPQ) para equipos a presión y calderas [2].	Guía para estructurar el protocolo de calificación de los estudiantes y procedimientos

Fuente: *[1],[2]*

La norma AWS D1.1, al ser el código de referencia para estructuras de acero, dedica una parte sustancial de su contenido a establecer los requisitos de inspección y control de calidad. Para que los estudiantes y docentes puedan aplicar esta normativa de manera práctica en la estación de trabajo, de tal modo es fundamental sintetizar sus elementos más relevantes en un formato accesible y didáctico. Así, la siguiente tabla resume los diez elementos fundamentales de la inspección según AWS D1.1.

Tabla 7. Elementos fundamentales de la inspección según AWS D1.1

Elemento	Descripción	Referencia en AWS D1.1	Aplicación en el proyecto
1.Inspección Visual (VT)	Requisito mínimo para todas las soldaduras. Observación directa de superficie para identificar defectos superficiales y verificar la geometría	Cláusula 6.9	Base de todas las evaluaciones prácticas.
2.Criterios de aceptación	Límites máximos para defectos superficiales: socavado, porosidad, grietas, tamaño insuficiente del cordón.	Criterios de aceptación de discontinuidades	Herramienta principal para determinar aceptación/rechazo.
3.Discontinuidades superficiales	Defectos visibles: grietas, socavado, porosidad superficial, mordeduras, falta de fusión.	Clausula 6.9.1	Identificación visual obligatoria
4. Discontinuidades internas	Defectos no visibles: porosidad interna, inclusiones de escoria, falta de penetración, falta de fusión interna	Cláusula 6.10 -6.13	Requieren END para detección
5.Ensayos no destructivos (END)	Métodos sin daño a la pieza: líquidos penetrantes (PT), partículas magnéticas (MT), ultrasonido (UT).	Cláusula 6.10-6.13	Se implementa PT y MT como métodos básicos.
6.Límites de aceptación para END	Criterios específicos para cada método END: tamaño máximo de discontinuidades y distancias entre ellas.	Tabla 6.1(para PT y MT) y Figuras 6.1, 6.2, 6.3 (para UT y RT). En las normas	Los estudiantes aplican estos límites al interpretar los resultados.
7.Procedimientos de inspección	El WPS debe especificar requisitos de inspección aplicables (métodos y criterios)	Cláusula 4	Se desarrolla protocolo de inspección complementario al WPS
8. Calificación del personal	El personal que realiza inspección visual y END debe estar calificado	Cláusula 6.3	Docentes y técnicos debe estar capacitados para supervisar prácticas
9.Registro de inspección	Mantener registros documentados de todas las inspecciones realizadas	Cláusula 6.15	Formatos estandarizados para observaciones
10.Reparación de soldaduras	Procedimientos para reparar soldaduras que no cumplen criterios de aceptación	Cláusula 5	Enseñanza de conceptos básicos de reparación

Fuente: *[1],[6]*

Leyenda:VT=Visual Testing; PT=Penetrant Testing; MT=Magnetic Testing; UT=Ultrasonic Testing; RT=Radiographic Testing; WPS= Welding Procedure Specification

8.5. Equipos e instrumentos para el análisis de soldadura

La elección apropiada de estos equipos e instrumentos es primordial para que se garantice lo preciso de las mediciones que se realicen y lo confiable de los resultados en el análisis de la calidad [10], [24].

Los equipos de soldadura forman la base de la estación de trabajo, ya que estos permiten el cumplimiento de las prácticas de soldadura. Así, para el proceso SMAW, se emplea una fuente de alimentación de corriente alterna (CA) o corriente continua (CC) que va a suministrar la corriente que se necesita para mantener el arco entre el electrodo y la pieza. Para el proceso GMAW el equipo se constituye de una fuente de alimentación, un alimentador de alambre, un cilindro de gas protector y una pistola de soldadura [3].

Tabla 8. Equipos e instrumentos para estación de soldadura

Categoría	Equipo/instrumento	Función	Justificación del uso
Soldadura	Fuente de poder SMAW (CC/CA)	Suministrar corriente para el proceso SMAW.	Se selecciona una fuente inversora por su eficiencia y control.
	Fuente de poder GMAW (CC) + alimentador	Suministra corriente y alambre de forma continua para el proceso GMAW.	Esencial para el proceso semiautomático/automático.
Inspección visual y Dimensional	Galga tipo BRIDGE CAM de soldadura (Tipo V, K y D)	Medir ángulo de bisel, garganta de filete, altura de refuerzo, desalineación	Fundamental para verificar la geometría contra los criterios de AWS D1.1 [3].
Ensayos no destructivos	Kit de líquidos penetrantes	Detectar defectos abiertos a la supoerficie (grietas, porosidad superficial)	Método sencillo y económico [20]
	Kit de partículas magnéticas	Detectar defectos superficiales y subsuperficiales en materiales ferromagnéticos	Método sensible para aceros al carbono [14],[16]

***Fuente**: [8],[9],[13],[15],[17]*

8.5.1. Selección de equipos para la estación de trabajo

La selección de los equipos e instrumentos para la estación de trabajo de análisis de calidad de soldadura debe considerar los siguientes criterios [3], [10], [21]. 1) Compatibilidad con los procesos SMAW y GMAW, 2) Cumplimientos de normativas internacionales, 3) Disponibilidad en el mercado local, 4) Costo, 5) Facilidad de uso y mantenimiento (Tabla 9).

Tabla 9. Criterios de selección de equipos e instrumentos para la estación de trabajo

Criterio de selección	Descripción	Consideraciones prácticas
Compatibilidad con SMAW y GMAW	Los equipos deben ser adecuados para ambos procesos de soldaduras	Se recomiendan fuentes de poder con conmutación entre modos SMAW/GMAW, o equipos independientes para cada proceso
Cumplimiento de normativas	Los equipos deben cumplir con AWS D1.1 y ASME Sección IX	Instrumentos calibrados y certificados para garantizar precisión en las mediciones
Disponibilidad local	Priorizar equipos disponibles en el mercado ecuatoriano	Facilita adquisición, mantenimiento y reemplazo; reduce el costo de importación
Costo	Equilibrio entre calidad y presupuesto	Invertir en equipos de calidad que ofrezcan durabilidad y precisión; evitar equipos de baja calidad que comprometan resultados
Facilidad de uso	Equipos fáciles de operar por estudiantes y docentes	Interfaces intuitivas, manuales claros, requisitos de mantenimiento razonables

Fuente: *[1],[2],[3]*

De forma general la selección adecuada de equipos e instrumentos para la estación de trabajo de análisis de calidad de soldadura es vital para que sea efectiva la precisión de las mediciones y lo confiable de los resultados. La combinación de equipos de soldadura de calidad, instrumentos de medición perfectamente calibrados y equipos de ensayo no destructivos, permite realizar una evaluación integral de la calidad de las uniones, abarcando desde la verificación de parámetros operativos hasta la detección de defectos [24].

Así, en el contexto de la enseñanza técnica, la disponibilidad de estos equipos permite a los estudiantes desarrollar competencias en control de la calidad de soldadura, familiarizándose con los métodos de inspección utilizados en la industria y comprendiendo la importancia de cada uno de ellos en la garantía de la integridad estructural de las uniones [3]. La experiencia práctica con equipos de END como ultrasonidos y radiografía perfecciona la formación teórico-práctica y prepara al alumnado para la certificación según las normas internacionales [21].

En este sentido, la integración de estos equipos en la estación de trabajo, junto con procedimientos operativos estandarizados y guías de laboratorio, proporciona un ambiente de aprendizaje estructurando, el cual complementa la práctica empírica con la evaluación objetiva, y así mejorar significativamente la calidad de la formación en procesos de soldadura [3], [14]. Así, la calibración y el mantenimiento regular de los instrumentos son esenciales para garantizar la confiabilidad de los resultados a lo largo del tiempo [20].

La selección y disposición adecuada de estos equipos e instrumentos en un espacio físico estructurado es lo que define una estación de trabajo funcional. Más allá de los componentes individuales, la integración de todos los elementos en un entorno seguro, ergonómico y eficiente, permitirá a os estudiantes desarrollar competencias técnicas de manera efectiva. Así, en el siguiente acápite se aborda como debe ser el diseño de una estación de trabajo

8.6 Como de la estación de trabajo

En medios de formación técnica, las estaciones de trabajo permiten integrar equipos de soldaduras, sistemas de ventilación, sitios de inspección, almacenamiento y circulación, con el objetivo de garantizar seguridad, ergonomía y control de procesos. La instrumentación de estaciones de trabajo estructuradas responde a la necesidad de proporcionar a los estudiantes un ambiente controlado que va a simular las condiciones reales de la industria, lo que mejoraría de forma significativa la calidad del aprendizaje [3].

El diseño de la estación de trabajo para análisis de calidad de soldadura SMAW y GMAW se debe fundamentar en métodos de diseño que se centre en el beneficiario, que integre criterios de seguridad industrial, ergonomía, eficiencia operativa y cumplimiento formativo. Para esto se debe seguir los siguientes pasos metodológicos

1. Análisis de requerimientos funcionales: Se definen las cuatro áreas imprescindibles (soldadura SMAW, soldadura GMAW, inspección y almacenamiento) a partir del flujo de trabajo típico en procesos de soldadura: preparación-ejecución-enfriamiento-inspección-registro. Este flujo se alinea con las recomendaciones de la norma OSHA 29 CFR 1910.252 para la organización de talleres de soldadura [18].
2. Dimensionamiento basado en estándares de ergonomía y espacio: Se aplican los criterios de la norma UNE-EN ISO 11064 (Diseño de centros de control) y de la UNE-EN 1005-4 (movimientos y posturas de trabajo), que recomiendan un área mínima de 2.0 x 2.0 m por

estación de soldadura para garantizar el alcance y la movilidad del operador. Además, se establece una separación de ≥ 1.5 m entre estaciones para evitar interferencias y permitir el paso seguro, según lo que estipula la NFPA 51B para soldadura [18].

3. Selección de alturas de mesas y equipos: la altura de las mesas de soldadura (0.85 m) y de inspección (0.90 m) se definen con base en los percentiles antropométricos de la población ecuatoriana (estatura media 1.65 m), siguiendo la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN-ISO 9241 para puestos de trabajo. Estas alturas permiten una postura natural del operador, reduciendo la fatiga y el riesgo de lesiones muculoesqueléticas
4. Criterios de seguridad y ventilación: el sistema de extracción forzada se dimensionó a partir del volumen del taller (141.75m^3) y las ocho renovaciones por hora exigidas por la OSHA 29 CFR 1910-252(c) [18], lo que arrojó un caudal de 1.200 m^3/h. La velocidad de transporte en los conductos debe ser de (10-15m/s) se establece según la guía de ACGIH para sistemas de ventilación industrial [33]. El sistema de puesta a tierra, con una resistencia ≤10Ω, se diseña conforme al RETIE [30] y al NEC Art. 250[31].
5. Iluminación y señalización: la iluminación en el área de inspección (≥500 lux) se fija según la Cláusula 7.23 de AWS D1.1 [1], mientras que la señalización de seguridad (riesgo eléctrico, rayos UV, EPP obligatorio) sigue las directrices del Reglamento de Seguridad y Salud en el Trabajo del Ecuador [18].
6. Validación del diseño mediante simulación BIM: se utiliza el software Autodesk Revit 2027 [34] para modelar la distribución en 3D, lo que permite verificar visualmente los espacios de circulación, la interferencia entre equipos y la accesibilidad a los sistemas de emergencia. Este modelo sirve de base para los planos constructivos.

8.6.1 Relación entre el diseño físico y el Manual de Operación Estandarizado (SOP)

El diseño de la estación no es independiente del Manual de Operación Estandarizado (SOP) que se desarrolla en un proyecto. Por el contrario, ambos elementos se deben concebir de manera integrada: el SOP describe el flujo de trabajo paso a paso (colocación de EPP-verificación de herramientas-soldadura-enfriamiento-inspección-registro), y la distribución física de la estación se debe organizar para minimizar los desplazamientos entre cada una de estas etapas. La mesa de soldadura se ubica adyacente al área de inspección para reducir el tiempo de transporte de las probetas, mientras que el área de almacenamiento (electrodos, gases, consumibles) se sitúa en una posición intermedia para facilitar el abastecimiento sin interrumpir el trabajo.

8.6.2. Componentes y distribución de una estación de trabajo

Una estación de trabajo para soldadura debe incluir los siguientes componentes fundamentales, los cuales se deben organizar para que se garantice la eficiencia del proceso y la seguridad de los operadores [24], (Tabla 10). La distribución que se adopta permite un flujo de trabajo lógico, seguro y eficiente, cumpliendo con los estándares internacionales de seguridad industrial y ergonomía [18].

Tabla 10. Componentes de una estación de trabajo

Área	Componentes	Requisitos y especificaciones
Área de soldadura	Mesa metálica, máquinas de soldadura, portalectrodos/pistola	Acero, toma de tierra. Equipos: conmutables entre SMAW y GMAW o dedicados
Área de inspección	Mesa de inspección, instrumentos de medición (galga tipo BRIDGE CAMs)	iluminación LED>500 lux
Área de almacenamiento	Estantes para electrodos, gases, consumibles	Ventilación adecuada, separación de materiales
Sistema de iluminación	Lámparas LED industriales	500 lux en el área de trabajo
Equipos de seguridad	Caretas, guantes, mandiles, extintores, zapatos	Caretas con filtros de oscurecimiento automático (10-13 DIN). Extintor ABC.
Señalización	Advertencia de radiación UV, riesgo de incendio, EPP obligatorio	Cumplimiento de la normativa de seguridad industrial [29].

Fuente: *[14]y [18]*

8.6.3 Equipos de protección personal

El EPP se debe seleccionar teniendo en cuentas los requerimientos de la norma OSHA 29 CFR 1910.252 [18] y del Manual del Soldador de CESOL [29], lo que debe garantizar la protección del operador frente a radiaciones UV/IR, salpicaduras de metal fundido, calor y humos tóxico.

Tabla 11. Equipos de protección personal (EPP)

EPP	Función	Especificaciones
Cascos para soldar	Protección ocular y facial contra radiaciones UV/IR y salpicaduras [3]	Filtro de oscurecimiento automático (10-13 DIN)
Guantes de cuero	Protección de manos contra calor y chispas [20]	Cuero de vaca o cabra resistente al calor
Mandil de cuero	Protección del torso y extremidades [29]	Cuero resistente al calor y chispas
Zapatos de seguridad	Protección de pies contra caídas de objetos y calor [29]	Punta de acero, suela antideslizante
Protección respiratoria	Protección contra humos y gases [14]	Mascarilla con filtro para partículas y gases

Fuente: [18] y [29]

8.6.4. Beneficios de las estaciones de trabajo en la formación técnica

La instrumentación de estaciones de trabajo estructuradas para soldaduras en ambientes de formación técnica ofrece múltiples beneficios que favorecen la mejora de la enseñanza y desarrollo de competencias [3]. Diversas experiencias a nivel internacional demuestran que la inversión en infraestructura y la con la industria son elementos vitales para el triunfo de estos programas. Por ejemplo, el programa de soldadura del Unintah Basin Tecnical College (UBTech), en colaboración con Miller Electric, logró un crecimiento significativo y el éxito de sus estudiantes mediante el uso de tecnologías de entrenamiento avanzadas [21]. De manera similar, CWB Welding Foundation en Canadá demostró que las inversiones estratégicas en educación para soldadura generan un impacto positivo en la formación de profesionales calificados, fortaleciendo la industria a nivel nacional [22].

Beneficios de las estaciones:

Mejora del aprendizaje: las estaciones de trabajo proporcionan un ambiente controlado donde los estudiantes pueden practicar de manera segura, recibiendo retroalimentación inmediata sobre la calidad de sus soldaduras. Esto va a facilitar la identificación y la corrección de los errores, lo que acelerará el proceso de aprendizaje [29].

Desarrollo de competencias técnicas: la manipulación de equipos de soldaduras profesionales e instrumentos de medición preparará a los estudiantes para el entorno laboral, desarrollando competencias en el control de la calidad, inspección de soldaduras y aplicación de normas internacionales [14].

Seguridad: un ambiente que se estructure con sistemas de extracción de humos, EPP adecuados y señalamiento claro, reducirá de forma significativa los riesgos asociados a la soldadura, protegiendo la salud de los alumnos y de las personas directas a la docencia [20].

Repetibilidad y estandarización: la estandarización de los procedimientos y la disponibilidad de los instrumentos de medición permiten evaluar de forma objetiva las soldaduras, lo que garantiza la repetibilidad de los resultados y la consistencia en la formación [21].

Investigación y vinculación: la estación de trabajo debe servir para la formación de los estudiantes, pero además constituye una base para futuros proyectos de investigación, vinculación con la sociedad y cooperación con empresas del sector metalmecánico, lo que contribuirá al desarrollo de la industria y la tecnología del territorio [29].

9. Metodología

9.1 Enfoque y tipo de Investigación

La presente investigación se enmarcó en un enfoque mixto (cualitativo-cuantitativo), de tipo aplicado y proyectista, con nivel descriptivo y propositivo. Se orientó a un diseño integral de una estación de trabajo para análisis de soldadura en los procesos SMAW y GMAW, el cual contempló la estructura física y los sistemas electromecánicos asociados (ventilación forzada, iluminación, tomacorrientes y puesta a tierra), además el desarrollo de protocolos operativos estandarizados, instrumentos de inspección y criterios de aceptación/rechazo basados en normativas internacionales AWS D1.1 y ASME Sección IX

El proyecto se enfocó en dos etapas: (a) investigación documental para la revisión de normativas, catálogos técnicos y literatura especializada; (b) investigación de campo para el levantamiento de datos de taller, mediciones eléctricas y ambientales, y entrevistas a soldadores expertos; y (c) investigación experimental mediante un diseño pre-experimental con pruebas pretest y postest para evaluar el impacto de la estación en el aprendizaje de los estudiantes.

9.2 Procedimiento metodológico pasa a paso

Para garantizar la trazabilidad del proyecto, se estableció un procedimiento metodológico que se estructuró en 12 pasos secuenciales, que abarcaron desde el diagnóstico inicial hasta la evaluación del impacto educativo. Cada uno de estos pasos se diseñó para generar un entregable completo que permita describir con claridad los resultados del capítulo 10.

Paso 1: Diagnóstico y levantamiento de datos del taller

Objetivo: Caracterizar el espacio físico, la red eléctrica y las condiciones ambientales existentes en el laboratorio de soldadura de la UTC Extensión La Maná.

Actividades:

1. Medición del área disponible (5 m x 4 m) con cinta métrica.
2. Verificación de la red eléctrica (voltaje, continuidad, capacidad de carga) con multímetro.
3. Medición de niveles de iluminación con luxómetro en tres momentos del día.
4. Registro fotográfico de paredes, puertas, obstáculos y puntos de extracción de humos.

Paso 2. Revisión de documento y normativas

Objetivo: Establecer el marco técnico-legal para diseñar, construir y operar la estación.

Actividades:

1. Búsqueda y análisis de normas AWS D1.1:2025[1], ASME Sección IX: 2025[2], OSHA 29 CFR 1910.252 [18], RETIE [30], NEC 2023[31] y ACGIH [33]
2. Revisión de catálogos técnicos de los fabricantes (Miller, Lincoln Electric, ESAB) para la selección de los equipos.
3. Consulta de Libro de diseño mecánico [34] y [35] para poder dimensionar los elementos estructurales.

Paso 3: Diseño arquitectónico y distribución en la planta

Objetivo: definir la disposición física de la estación con base en criterios de ergonomía y flujo del trabajo.

Actividades:

1. Definir las cuatro áreas funcionales (SMAW, GMAW, inspección, almacenamiento) según lo que establecen las normas ASME Sección IX y AWS D1.1:2025
2. Modelado en Autodesk Revit 2027 [34] para generar vistas 3D y planos 2D con cotas y señalización
3. Verificación de distancias mínimas (≥1.5 m entre estaciones) y accesos a sistemas de emergencia.

Entregable: Los planos constructivos (Anexo 1)

Paso 4: Selección y justificación de los equipos e instrumentos

Objetivo: Elegir los equipos de soldadura, medición e inspección más apropiados para los procesos de SMAW y GMAW.

Actividades:

1. Elaboración de ficha técnicas comparativas para fuentes de poder SMAW (Lincoln AC225) y GMAW (Inversor 410-MIG).
2. Selección de los instrumentos de medición (galga tipo BRIDGE CAMs de soldadura tipo V/K/D).
3. Selección de los Kits de END (líquidos penetrantes ASTM E165, partículas magnéticas ASTM E709).

Entregable. Tabla 13 con equipos y justificación normativa.

Paso 5: Instalaciones de la estructura física

Objetivo: Materializar el diseño en el taller, garantizando la integridad de la estructura y la seguridad.

Actividades:

1. Instalación del sistema eléctrico: conductor N°3 X6AWG ALUMINIO, sin breaker general y puesta a tierra desde la caja de Ruiz que va directo a los tomacorrientes de las soldadoras, uso común y luces.

Entregable: Estación montada y operativa (Anexo 1).

Paso 6: Calibración y pruebas de funcionamiento

Objetivo: Verificar que todos los equipos e instrumentos operen dentro de las especificaciones técnicas.

Actividades:

1. Galga tipo BRIDGE CAMs y Pie de rey

Ajustes de parámetros de soldadura (corriente, voltaje, velocidad de avance) para diferentes espesores de acero ASTM A36

2. Prueba de continuidad de la puesta a tierra
3. Registro de valores de calibración en formatos estandarizados.

Entregables: Acta de calibración y puesta en servicio.

Paso 7: Desarrollo del Manual de Operaciones Estandarizado (SOP)

Objetivo: establecer un protocolo claro y secuencial para el uso de la estación, desde la preparación hasta la inspección final.

Actividades:

1. Definición de los ocho pasos del SOP (colocación de EPD-verificación de herramientas-soldadura-enfriamiento-inspección-registro-limpieza).
2. Redacción de instrucciones claras para cada paso, con imágenes de referencia
3. Validación del SOP mediante pruebas pilotos con dos estudiantes voluntarios.

Entregable: SOP impreso y digital (incorporado en la sección 10.2.1)

Paso 8: Elaboración de la matriz de criterios de aceptación y rechazo

Objetivo: Traducir los requisitos de AWS D1.1:2025 y ASME IX:2025 a una herramienta práctica para la evaluación visual y dimensional de soldaduras.

Actividades:

1. Extracción de límites der aceptación para cada una de las discontinuidades (porosidad, falta de penetración, inclusión de escoria, socavada, grietas, etc.) de las cláusulas 6 y 7 de AWS D1.1
2. Organización de los criterios en una tabla que relacione la discontinuidad, la norma AWS, la norma ASME y el resultado (aceptación/rechazo).
3. Validación de la matriz con un inspector de soldadura certificado (CWI).

Entregable: Tabla 14 (Matriz de criterios).

Paso 9: Construcción del catálogo visual de discontinuidades

Objetivo: Establecer un recurso didáctico que permita a los estudiantes identificar visualmente los defectos más comunes.

Actividades:

1. Fabricación de probetas con defectos intencionales en la estación (variando corriente, voltaje y velocidad de avance).
2. Fotografía de cada discontinuidad con una cámara de alta resolución, que incluye escala de referencia.
3. Codificación de cada fotografía (D-01 a D-12) con información de procesos (SMAW y GMAW), zona y, cuando es dimensional, el instrumento de medición que se utilizó

Entregable: Catálogo impreso y digital (Anexo 2).

Paso 10: Diseño y validación de instrumentos de evaluación educativa

Objetivo: Desarrollar herramientas para medir el impacto de la estación en el aprendizaje de los estudiantes.

Actividades:

1. Diseño de la rúbrica de evaluación práctica (Tabla 12) con dos dimensiones: identificación de defectos (D1) y control de parámetros operativos (D2).
2. Diseño del cuestionario de conocimientos teóricos (20 preguntas de opción múltiple).
3. Validación de contenido a través del desempeño de tres especialistas en soldadura y pedagogía.

Entregable: Cuestionario validados

Paso 11: Aplicación del pretest, intervención y postest

Objetivo: Evaluar el efecto de la estación en las competencias prácticas de los estudiantes

Actividades:

1. Semana 1 (Pretest): Aplicación del cuestionario teórico (15 min) y evaluación práctica inicial con la rúbrica (soldudura SMAW y GMAW bajo un WPS estandarizado). Registro de puntuaciones.
2. Semanas 2-5 (Intervencción): Cuatro sesiones prácticas supervisadas de 2 horas cada una:
3. Sesión uno: Seguridad y uso de EPP
4. Sesión dos: Control de parámetros operativos (ajuste y medición de avance).
5. Sesión 3: Inspección visual y dimensional con galga tipo BRIDGE CAMs, calibrador y lupa.
6. Sesión 4: Ensayos no destructivos (líquidos penetrantes ASTM E165)
7. Semana 6 (Postest). Reevaluación práctica con la misma rúbrica (diferentes condiciones de soldaduras) y nuevo cuestionario.

Paso 12: Análisis estadístico y elaboración de informes

Actividades:

1. Cálculo de medidas y desviaciones estándares para cada dimensión (pretest vs postest).
2. Prueba de Normalidad de Shapiro-Wilk (Tabla 16) y prueba de t de Student para muestras emparejadas (Tabla 17).
3. Cálculo del tamaño del efecto (d de Cohen) y del intervalo de confianza del 95% para la diferencia media.
4. Elaboración de un gráfico comparativo (Figura 4).
5. Redacción del informe final y preparación de anexos.

Entregable: Informe final, análisis estadístico y material didáctico

9.3 Técnicas e instrumentos de recolección de Datos

9.3.1 Observación directa

Se realizó una inspección visual y dimensional del taller, se registró la ubicación de paredes, puertas, red eléctrica existente y posibles obstáculos. Se empleó una cinta métrica metálica de 10 m (precisión ± 1mm), cámara fotográfica (resolución ≥ 12 MP) y fichas de campo estructuradas con anticipación. Las mediciones se tomaron por triplicado para verificar consistencia, se registró el valor promedio y la desviación.

9.3.2 Medición eléctrica y ambiental

Se utilizó un multímetro digital (Fluke 117) para comprobar el voltaje, la corriente y la continuidad de la red existente, una pinza amperimétrica (Fluke 376) para medición de corriente sin interrupción del circuito, un luxómetro para medir niveles de iluminación en tres momentos del día, así como un telurómetro (Megger DET4TC) para medir la resistencia de puesta a tierra existente. Además, se empleó un Anemómetro para verificar velocidades de aire en los conductos de ventilación. Las mediciones se realizaron según los procedimientos de seguridad que establecen en RETIE [30] y la NEC [31].

9.3.3 Análisis documental

Se revisaron las normas técnicas y estándares, que constituyen el marco legal y técnico del proyecto:

- RTE INEN 040:2009 [1]: para soldadura de estructura de acero.
- AWS D1.1/D1.1M:2025 y AWS D1.3 [1], para diseños de unidades soldadas)

- NTE INEN 1390:2018 [1]: para electrodos de acero al carbono
- ISO 1461: 2022 [36]: para recubrimientos galvanizados
- NFPA 70: NEC 2023 [31]: para diseño eléctrico.
- RETIE [30]: para instalaciones eléctricas del Ecuador
- ASME BPVC Sección IX: 2025 [2]: Calificación de soldadura y soldeo

Se consultaron libros de diseño mecánico [34] y [35] referente al dimensionamiento y la transmisión de potencia.

9.3.4 Evaluación práctica (Preteste y Postest)

Se diseñaron dos instrumentos de evaluación que se alinearon con el objetivo específico tres

1) **Rúbrica de evaluación de desempeño práctico.**

Tabla 12. Evaluación del desempeño práctico

Dimensiones	Criterios evaluados	Puntuación de 0 a 10
Dimensión 1: identificación de defectos	Identificación de porosidad, falta de penetración, inclusión de escoria, socavación y grietas; uso correcto de galga tipo BRIDGE CAMs de soldadura, calibrador Vernier y lupa; interpretación de resultados de ensayo no destructivos (líquido penetrantes); aplicación de criterios de aceptación/rechazo según AWS D1.1 y ASME IX; registro sistemático de observaciones en la hoja de inspección	0 - 10
Dimensión 2: Control de parámetros operativos	Selección adecuada de corriente/voltaje; ajuste de parámetros según WPS; control de velocidad de avance; control de temperatura entre pasadas; selección correcta de electrodo/alambre; ajuste de caudal de gas (GMAW); lectura correcta de instrumentos; verificación de parámetros reales vs, programados	0 - 10

Fuente: *Elaboración propia*

2) **Cuestionario de conocimientos teóricos:**

Se aplica antes y después del uso de la estación, con preguntas sobre normativas AWS D1.1 y ASME IX, defectos comunes, parámetros de soldaduras y procedimientos de inspección.

9.4 Diseño experimental

Se implementó un diseño pre-experimental con pruebas pretest y postest (grupo único, medición antes y después) correspondiente al esquema 01-› X -› 02, donde 01 es la evaluación inicial (pretest) de habilidades en identificación de efectos y control de parámetros; X es la intervención (prácticas guiadas en la estación de trabajo), y 02 es la evaluación final (postest).

9.4.1 Población y muestra

La población correspondió a los alumnos que cursa Ingeniería Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi, Extensión La Maná (aproximadamente 300 estudiantes). La muestra se conformó por cinco estudiantes seleccionados mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia, entre aquellos que cursaban asignaturas relacionadas con procesos de manufactura y soldadura en el período académico correspondiente. Los criterios de selección de inclusión fueron: (a) estar matriculado en una asignatura que incluya contenidos de soldadura; (b) disponibilidad para participar en las cuatro sesiones prácticas; y (c) haber firmado el consentimiento informado.

Para el desarrollo de los planos constructivos se utilizó el software de modelo BIM Autodesk Revit 2027 [33], lo que permitió generar vistas 3D del conjunto planos de distribución en planta con sus respectivas cotas y especificaciones técnicas

9.4.2 Procedimiento de aplicación

Fase uno: Pretest (semana 1). 1): Evaluación inicial de conocimientos teóricos mediante un cuestionario de 20 preguntas de opción múltiple (15 minutos). 2): Evaluación práctica inicial: los estudiantes realizaron soldaduras SMAW y una GMAW siguiendo un WPS estandarizado y evaluaron la calidad de sus uniones con los instrumentos de la estación (galga tipo BRIDGE CAMs, calibrador, lupa). Un instructor evaluó el desempeño con la rúbrica diseñada (Tabla 13). 3) Registro de puntuaciones individuales en la matriz de datos primarios.

Fase dos: Intervención (semanas 2- 5)

Los estudiantes participaron en cuatro sesiones prácticas supervisadas (dos horas cada una)

Sesión uno: Introducción a la estación y seguridad. Se explicó el uso del EPP (careta electrónica 10-13 DIN, guantes de cuero, mandil, zapatos de seguridad), las normas de seguridad (OSHA 29 CFR 1910.252) y se realizó una demostración de operaciones de máquinas SMAW y GMAW. Los estudiantes practicaron cordones de prueba.

Sesión dos: Control de parámetros operativos. Los estudiantes ajustaron corriente, voltaje y velocidad de avance, midieron y registraron los parámetros reales con multímetro y pinza amperimétrica, y analizaron su influencia en la calidad del cordón

Sesión tres: Inspección visual y dimensional. Se utilizaron galga tipo BRIDGE CAMs de soldaduras (tipo V, K y D), calibrador Vernier y lupa para medir geometría del cordón (pierna, garganta, refuerzo, socavación), y se aplicaron los criterios de la matriz de aceptación/rechazo.

Sesión cuatro: Ensayos no destructivos básicos. Se aplicó el método de líquidos penetrantes (ASTM E165) en probetas con defectos superficiales, y los estudiantes interpretaron los resultados y registraron sus observaciones en la hoja de inspección.

Fase 3: Postest (semana 6)

- Evaluación final de conocimientos teóricos, se empleó el mismo cuestionario
- Se realizó una evaluación práctica final: los estudiantes realizaron nuevas soldaduras SMAW y GMAW (diferentes condiciones al pretest) y evaluaron su calidad con los instrumentos de medición.
- Se aplicó el cuestionario de percepción
- Se registraron las puntuaciones individuales en la matriz de datos primarios

9.5 Análisis estadístico

Se ejecutó un análisis descriptivo de los datos, calculándose las medias y desviaciones estándar para cada dimensión (pretest vs postes). Se elaboraron gráficos comparativos de las notas promedios.

Se empleó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk ($n<30$) para verificar si los datos de las diferencias postest pretest siguieron una distribución normal. Se aplicó la prueba de t de Student para muestras emparejadas, en caso contrario se realizó la de Wilcoxon con nivel de significación en ambos casos de $\alpha=0.05$. Se calculó el tamaño del efecto para cuantificar la magnitud de la mejora observada. Este es un complemento esencial al contraste de hipótesis, ya que informa sobre la relevancia práctica de los resultados, más allá de si estos son o no estadísticamente significativos [27].

Para el diseño pre-experimental con medidas repetidas (pretest-postest), se utilizó la d de Cohen para muestras emparejadas, definida como d= (media de las diferencias individuales) /(desviación estándar de esas diferencias). Este coeficiente expresa la diferencia media en unidades de desviación estándar, para dilucidar la dimensión del efecto de forma estandarizada. Para su interpretación se utilizaron los criterios de Cohen [27].

Dónde: 0.20 a 0.49, se considera una magnitud pequeña, de 0.50 a 0.79 mediano y ≥0.80 grande. Se consideró que un valor de d≥0.80 indica un efecto grande, lo que evidenció que la intervención (uso de la estación de trabajo) tuvo una repercusión práctica sustancial en el aprendizaje de los estudiantes.

De forma complementaria se calculó el intervalo de confianza del 95% para la diferencia media entre el postest y el pretest utilizando el valor crítico de la distribución de t de Student para un nivel de confianza del 95% y grados de libertad de n-1, además del error estándar de la diferencia. El intervalo de confianza facilita un espacio dentro del cual se espera que se encuentre la verdadera diferencia media en la población, con un 95% de probabilidad. Si este intervalo no contiene el valor cero, se conforma que la mejora es estadísticamente significativa y se refuerza la decisión de rechazar la hipótesis nula. La estadística se realizó con el software SPSS versión 26 para Windows y Microsoft Excel para la elaboración de tablas y gráficos

9.6 Consideraciones éticas

El proyecto se desarrolló bajo los principios éticos de la investigación académica. Todos los estudiantes participantes firmaron un consentimiento que se informó de forma previa, donde se expuso la intención del estudio, los procedimientos, los riesgos (mínimos) y el derecho a separarse en cualquier momento de dicho estudio. Los datos personales se manejaron de manera anónima, asignando códigos numéricos a los participantes. Se le brindó prioridad a la seguridad industrial en todas las fases, lo que garantizó la extracción de humos, iluminación correcta, puesta a tierra y suministro de EPP completo en cumplimiento de la norma OSHA 28 CFR 1910.252 y RETIE.

10. Resultados del diseño y construcción de la estación de trabajo

10.1 Distribución física y componentes estructurales

Se instrumentó una estación de trabajo con cuatro áreas funcionales que se distribuyeron en un espacio total de 20m^2 (7.5 m x 6.0 m): (1) Área de soldadura SMAW (2.5 x 2.0 m), (2) área de soldadura GMAW (2.5 x 2.0 m), (3) Área de inspección (2.5 x 2.0 m) y (4) Área de almacenamiento (2.5 x 1.0 m). La estructura metálica se construyó con parantes de alturas escalonadas (frontales 3.30

m, medios 3.15 m, divisorios 3.09 m y traseros 3.0 m) y mallas electrosoldadas galvanizadas según ISO 1461 (2022). Las mesas de soldaduras (1.5 x 1.0 m) y de inspección (1.0 x 0.8 m) se fabricaron de acero con toma de tierra (Anexo 1).

Los planos constructivos se desarrollaron con el empleo de Revit [33], donde se aprecia la separación física entre las áreas de soldadura SMAW (izquierda) y GMAW (derecha). Esta configuración permite un flujo de trabajo lógico desde la ejecución del cordón hasta su inspección dimensional, lo que minimiza el desplazamiento y riesgos de contaminación cruzada (Anexo 1).

La distribución en planta (vista superior) con cotas y ubicación de equipos, también se generó en Revit (2027). Se aprecia que el área de inspección se sitúa en el centro, con acceso directo a ambas estaciones de soldadura, mientras que el sistema de ventilación forzada se dispuso sobre los puntos de generación de humos para asegurar una captación eficiente. La separación de áreas y la señalización de seguridad responden a los criterios ergonómicos y de seguridad que se exigen por las normas OSHA 29 CFR 1910.252 y RETIE. Estos planos materializan el diseño estructural descrito, lo que validó que la estación cumplió con los requisitos técnicos de espacio, ventilación, iluminación y puesta a tierra, lo que se establecen en el marco normativo del proyecto (Anexo 2).

La disposición que se adoptó permitió un flujo de trabajo lógico: soldadura- enfriamiento- inspección, lo que minimizó desplazamientos y riesgos de contaminación cruzada. Estudios previos demostraron que el rediseño ergonómico de estaciones de soldadura puede reducir el tiempo de entrenamiento hasta en el 40% e incrementar la productividad en 50%. La estructura que se implementó en este trabajo, al separar físicamente las áreas de soldaduras e inspección, contribuye a crear un entorno de aprendizaje posthumano donde confluyen cuerpos, herramientas y conocimiento.

10.1.2 Selección de equipos e instrumentos

Se seleccionaron y adquirieron los siguientes equipos, los cuales se justificaron técnicamente según los descrito por AWS D1.1 y ASME IX. Se realizó un cuadro comparativo de los equipos e instrumentos seleccionados, indicando la función de cada uno, el requerimiento técnico que permite cumplir, y la justificación específica según las cláusulas de AWS D1.1 y ASME IX (Tabla 14).

Tabla 13. Equipos y especificaciones

Equipos	Especificaciones	Justificación normativa
Soldador GMAW inversor 410-MIG (250A)	Corriente: 30-250 A (MIG), 20-200 A (MMA); voltaje en vacío: 76 V DC; Ciclo de trabajo: 60% @ 40°C; Procesos: GMAW (MIG-MAG-FCAW) y SMAW (MMA)	Realiza soldaduras GMAW con control de corriente, tensión y parámetros del proceso. Cumple Cláusulas 6 y 7 de AWS D1.1 y parte QW de ASME IX
Soldadora Lincoln AC225	Corriente: 225 A AC; voltaje: 220 V 1φ; Electrodo: hasta 5/32¨	Ejecuta soldaduras SMAW para fabricación de cupones de prueba. Cumple Cláusulas 6 y 7 de AWS D1.1
Galga tipo BRIDGE CAM de soldadura (Tipo V,K y D)	Medición de ángulo de bisel, garganta de filete, altura de refuerzo, desalineación, socavación	Cláusula 7.23 y 8 de AWS D1.1; apoyo a examen visual en ASME IX
Calibrador Vernier	Rango: 0-150 mm; Precisión: ± 0.02mm	Cláusula 7 de AWS D1.1 verifica espesores y dimensiones de probetas
Líquidos penetrantes	ASTM E165	Método sencillo y económico para detectar defectos abiertos a la superficie

Fuente: *[1],[2]*

10.1.3 Sistemas de seguridad y ventilación

El sistema de ventilación forzada se diseñó teniendo en cuenta el volumen del taller (141.75 m^3) y las recomendaciones que realiza OSHA 29 CFR 1910.252, lo que establece ocho renovaciones por hora (caudal de 1,200 m^3/h). Se instalaron extractores centrífugos de 600m^3/h cada uno, con conductos principales de 200 mm y ramales de 150 mm, lo que aseguró velocidades de transporte entre 10 y 15 m/s ACGIH (2023).

Por su parte, el sistema eléctrico se dimensionó para una demanda total de 14.55kw, con un conductor N° 2 AWG THHN/THWN y protección general de 100 A. Así, el sistema de puesta a tierra, con varilla de cobre de 2.4 m x 5/8, alcanzó una resistencia media de ≤ 10Ω, lo que cumplió con RETIE [30]y NEC Art. 250 [31]. La iluminación en el área de inspección alcanzó 750 lux, lo que superó el mínimo de 500 lux que se requiere para inspección visual según los descrito por AWS D1.1 Cláusula 7.23.

La implementación de estos sistemas de seguridad es consistente con investigaciones que señalaron que los problemas de ventilación en talleres de soldadura incrementaron el riesgo de enfermedades respiratorias y afectan de forma negativa la calidad del aprendizaje [18]. Un sistema de extracción que está bien diseñado, captura los humos en la fuente antes de que estos se dispersen, lo que mantiene un entorno de aprendizaje más seguro y confortable. Esto permite a los estudiantes concentrarse mejor en su trabajo sin la distracción de humos persistentes [15].

Al garantizar condiciones ergonómicas y seguras, la estación contribuye a reducir la duración de las sesiones, aumentando el número de estudiantes formado en el mismo período de tiempo, además de reforzar buenos hábitos de trabajo que los estudiantes mantendrán a lo largo de su carrera profesional [15]. Así, las cabinas de soldaduras y los sistemas de extracción integrados ayudan a asegurar una experiencia de entrenamiento positiva, productiva y segura tanto para estudiantes como profesores.

Un entorno más limpio y seguro, aumenta la asistencia y reduce el ausentismo por enfermedades, ya que los estudiantes que aprenden en talleres con humos, suelen faltar a clases debido a contagios o dolores de cabeza que son causados por la mala calidad del aire [18]. El diseño de ventilación en este trabajo siguió de forma estricta los lineamientos de la norma OSHA 29 CFR 1910.252 (c), que exige sistemas de extracción localizada cuando los niveles de contaminantes superan los límites permisibles de exposición.

10.2 Resultados del desarrollo de protocolos y criterios de calidad

10.2.1 Manual de Operación Estandarizado (SOP)

Se desarrolló un protocolo de operación de ocho pasos que guía al estudiante desde la colocación del EPP hasta el registro final de la inspección. El SOP incluye:

1. Colocación de EPP completo (careta electrónica 10-13 DIN, guantes de cuero, mandil, zapatos de seguridad).
2. Verificación de limpieza de la mesa, iluminación (≥ 500 lux) y herramientas en su sitio.
3. Aseguramiento de que la probeta esté a temperatura ambiente y libre de escoria.
4. Selección del instrumento de medición según el tipo de inspección.
5. Realización de mediciones y registro en la hoja de Inspección Técnica.
6. Aplicación de criterios de aceptación/rechazo según la Matriz de Criterios.
7. Llenado completo de la Hoja de Inspección Técnica.
8. Limpieza de herramientas y orden de la estación.

10.2.2 Matriz de Criterios de Aceptación y Rechazo

A continuación se presenta la matriz completa de criterios de aceptación y rechazo para las discontinuidades más comunes, alineada con AWS D1.1/D1.1M: 2025-AMDD1 y ASME BPVC Sección IX. 2025.

Tabla 14. Matriz de criterio de aceptación y rechazo

Discontinuidad	AWS D1.1:2025	ASME IX:2025	Resultado
Grietas	Cualquier griete es inaceptable	QW-194: no deben existir grietas	Rechazo
Falta de fusión	Debe existir fusión completa entre capas y entre soldadura y metal base	QW-194: fusión completa	Rechazo si se evidencia
Falta de penetración	CJP: penetración completa; PJP: según WPS	QW-194: penetración completa para cupón de desempeño	Según junta
Porosidad: CJP a tope transversal a tracción	No se permite porosidad vermicular visible.	IX no fija límite de diámetro/distribución para producción	Rechazo bajo D1.1
Porosidad: otros Groove/filete	Poros visibles ≥1 mm; suma ≤10 mm en 25 mm; en ≥300 mm, en <300mm, ≤0.06xL	IX no es el criterio de aceptación de producción	Comparar con D1.1
Porosidad en filete	Max. Diámetro 2.5 mm y frecuencia ≤1 poro/100 mm, salvo excepcional específica de rigidizador-web	IX no establece este límite para producción	Comparar con D1.1
Socavación (material <25 mm)	≤ 1 mm; excepción en ≥ 300 mm: hasta 2 mm en acumulado de 50 mm por 300 mm. En < 300 mm, longitud acumulada con profundidad >2 mm no debe superar 0.16xL	IX QW-194, no fija profundidad/longitud numérica	Comparar con D1.1
Socavación, material ≥25 mm	≤2 mm de profundidad	IX no fija límite numérico	Comparar con D1.1
Socavación, miembro primario cíclico	Transversal a tracción:≤0.25 mm; otros casos ≤1 mm, según condición aplicable	IX no fija estos valores	Comparar con D1.1

Filete subdimensionado	S=5 mm:U≤2 mm; S=6 mm: U≤2.5 mm; S≥8mm: U≤3mm. La parte subdimensionada ≤10 % de longitud	IX no establece estos límites dimensionales	Comparar con D1.1
Perfil del cordón	Debe cumplir 7.23 y las tablas/figuras aplicables	IX no proporciona el mismo criterio de perfil	Conforme/no conforme
Cráteres	Deben llenarse para proporcionar el tamaño específico, salvo la excepción de extremos de filetes intermitentes	IX no fija un límite dimensional de cráter	Comparar con D1.1
Inclusiones de escoria	No se determina por VT; si está expuesta debe registrase y evaluarse	IX QW-194 no fija tamaño/distribución por VT	Evaluar con método aplicable

Fuente: *[1]y[2]*

La normativa AWS D1.1:2025 instituye las razones de aceptación visual para soldaduras de filete, CJP y PJP, separadas por cargas estática vs cíclica. La enmienda de 2025 refina los criterios de aceptación y la guía de inspección, esto refuerza la pertinencia de la matriz que se desarrolló.

10.2.3 Catálogo visual de discontinuidades

Se construyó un catálogo de 11 discontinuidades con fotografías reales de probetas fabricadas en la estación, incluyendo: D-01 Porosidad, D-02 Socavación, D-03 falta de fusión, D-04 Falta de penetración, D-05 Inclusión de escoria, D-06 grieta, D-07 Solapamiento, D-08 Refuerzo excesivo, D-09 Perfil inadecuado, D-10 Salpicadura y D-11 Filete subdimensionado. Cada fotografía incluye un código de probeta, proceso (SMAW/GMAW), zona y, cuando es dimensional, el instrumento de medición utilizado. (Anexo 2)

Este catálogo es una herramienta didáctica fundamental, ya que permite a los estudiantes familiarizarse con la apariencia visual de cada discontinuidad antes de enfrentarse a probetas reales. Según refiere la literatura, los defectos son siempre los mismos, independientemente del método de soldadura que se emplee. Así, se destacó que los defectos son siempre los mismos. Por ejemplo, la porosidad es siempre porosidad, sin importar si se produce por SMAW, TIG o MIG. Esta afirmación subrayó que la naturaleza de las continuidades, porosidad, grietas, falta de fusión, falta de penetración, incluso sólidas, es transversal a los diferentes procesos de soldadura por arco [12].

Sin embargo, este mismo autor refirió en el 2010 que, la inclusión de escoria no es posible con MIG y TIG porque el alambre MIG y la varilla TIG no están revestidos, lo que evidencia que, si bien los defectos pueden ser conceptualmente los mismos, su ocurrencia y frecuencia varían en dependencia del proceso: la inclusión de escoria es característica del SMAW (donde existe un revestimiento que genera escoria), mientras que en GMAW no aparece por la ausencia de este revestimiento. Así, se destaca que esta distinción es relevante en al ámbito formativo, pues permite a los estudiantes comprender que la identificación de defectos sigue principios comunes, pero su prevención y control dependen de los parámetros operativos específicos de cada proceso.

Investigaciones aplicadas como la de Avilés [26] analizaron los defectos en probetas de acero soldadas mediante examen visual y tintas penetrantes en los métodos SMAW y GMAW con variación de sus indicadores principales, lo que demostró que esta variación de variables como corriente, voltaje o velocidad de avance produce defectos que, aun perteneciendo a las mismas categorías, responden a causas particulares de cada proceso. Por su parte, The Fabricator [12] informó que una adecuada inspección visual y dimensional, apoyada en instrumentos calibrados y criterios estandarizados, es esencial para la detención temprana de estas discontinuidades. De esta forma, la estación de trabajo instrumentada permite a los estudiantes experimentar con ambos procesos, identificando los defectos comunes y comprendiendo sus causas, lo que fortalece así su capacidad de control de aceptación según las normas internacionales.

10.3 Resultados de la evaluación del impacto educativo

10.3.1 Matriz de datos primarios (Preteste vs Postest)

Las puntuaciones que obtuvieron los estudiantes aparecen reflejadas en la siguiente tabla 15.

Tabla 15. Puntuaciones individuales que obtuvieron los estudiantes en el pretest y postest para las dimensiones evaluadas D1 y D2.

Estudiantes	D1 Pretest	D1 Postest	D2 Pretest	D2 Postest	Total pretest	Total Postest	Diferencia	Mejora%
1	3.5	8.5	4.0	9.0	7.5	17.5	10.0	133.3
2	4.0	9.0	3.0	8.0	7.0	17.0	10.0	142.9
3	2.5	7.5	4.5	8.5	7.0	16.0	9.0	128.6
4	5.0	9.5	5.0	9.5	10.0	19.0	9.0	90.0
5	3.0	8.0	3.5	8.5	6.5	16.5	10.0	153.8
Media	3.60	8.50	4.0	8.70	7.60	17.20	9.60	129.7

Fuente: *Elaboración propia*

Los resultados mostraron una mejoría importante en el cometido de los alumnos después de utilizar la estación de trabajo. En la Dimensión 1 (Identificación de defectos): La media sobrepaso de 3.60 (pretest) a una de 8.5 postest, lo que reflejó un incremento del 136.1% (Figura 6). Para la Dimensión 2 (Control de parámetros operativos). La media fue superior a 4.0 (pretest) y alcanzó 8.70 postest, lo que evidenció un incremento del 117.5%.

Así, en lo referente a la nota total, la media superó 7.60 (pretest) a 17.20 (postest), esto representó un aumento del 126.3%. En la mejora individual todos los estudiantes mejoraron sus puntuaciones, con incrementos que oscilan entre 90.0% (estudiante 4) y 153.8% (estudiante 5), con una mejora media del 129.7%.

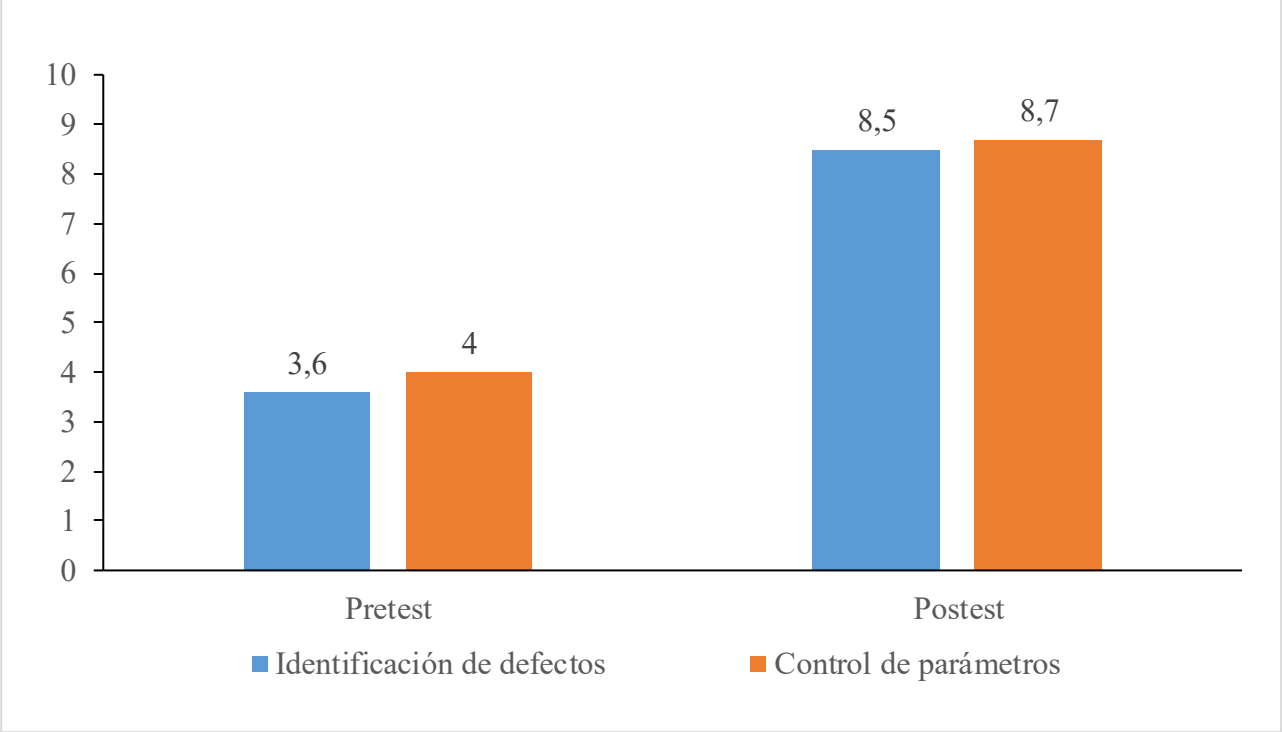

Figura. 3 Comparación de las medias en el Pretest y Postest de las dimensiones de identificación de defectos (D1) y control de parámetros (D2)

Fuente: *Elaboración propia*

Los resultados de este trabajo son similares a los que se mostraron en investigaciones previas, donde se hace alusión que las estaciones de trabajo estructuradas mejoran significativamente el aprendizaje [3], [14]. Así, un estudio en el Hexagonal Welding Cell System reflejó una reducción del tiempo de entrenamiento en el 40%, aumento de la productividad en 50%, y una reducción de las tasas de defectos en 33% [15]. Además, se documentó que, el rediseño de las estaciones de trabajo de soldadura puede duplicar el número de estudiantes formados por sesión [20].

10.3.2 Análisis inferencial (Validación de hipótesis)

Para determinar si la mejora que se observó en el desempeño de los estudiantes después de utilizar la estación de trabajo era estadísticamente significativa, se realizó un análisis inferencial que se basó en un diseño pre-experimental con mediciones repetidas (pretest-postest) en un mismo grupo de estudiantes.

Prueba de normalidad (Shapiro-Wilk)

Previo a la selección de la prueba estadística para muestras emparejadas, se verificó el supuesto de normalidad de las diferencias individuales (Postest- Pretest) en la nota total. Se realizó la prueba de Shapiro-Wilk, la cual se recomienda para muestras pequeñas ($n<30$). Los resultados reflejaron que, el valor de $p=0.389$ es superior al nivel de significación, por lo que no se rechaza la hipótesis de normalidad (Tabla 17). Esto señala que la distribución de las diferencias se acerca lo suficiente a una distribución normal, lo cual justifica el empleo de una prueba paramétrica para muestras emparejadas: la prueba de t de Student para muestras relacionadas. La decisión de utilizar una prueba paramétrica es relevante, ya que este tipo de pruebas poseen mayor potencia estadística que las no paramétricas, siempre que se cumplan los supuestos.

Tabla 16. Resultados de la Prueba de Shapiro-Wilk

Estadístico	Valor	gl	p-valor
W (Shapiro-Wilk)	0.892	4	0.389

Fuente: *Elaboración propia*

Resultados de la prueba de t de Student

Una vez que se verificó el supuesto de normalidad, se procedió a constatar la hipótesis de investigación mediante el empleo de la prueba de t de Student para muestras parejas (Tabla 17). Los resultados mostraron una diferencia media de 9.60 puntos, lo que significó que cada estudiante mejoró su calificación total en 9.60 puntos sobre una escala de 0-20. Esta mejora absoluta representó un incremento porcentual de 129.7% con respecto al pretest. La desviación estándar baja de 0.55 indicó que las mejoras fueron altamente consistentes entre los cinco estudiantes. No hubo casos atípicos de estudiantes que mejoraron muy poco o mucho respecto a sus compañeros; todos los estudiantes mostraron mejoras sustanciales y similares, lo cual refuerza la confiabilidad del resultado.

Tabla 17. Prueba de t de Student

Estadístico	**Valor**
Diferencia media (postest-Pretest)	9.60 puntos
Desviación estándar de la diferencia	0.55 puntos
Erro estándar de la media (EE)	0.246 puntos
Estadístico t	39.10
Grados de libertad **(gl)**	4
p-valor (unilateral)	<0.001

Fuente: *Elaboración propia*

Es importante señalar que el estadístico t=39.10 extremadamente alto reflejó que la diferencia media de 9.60 es muy grande en relación con el error estándar de la diferencia (0.246). Así, un valor t elevado indica que, la señal (la mejora) es mucho mayor que el ruido (la variabilidad de las mediciones), lo que sugiere un efecto fuerte y consistente. Por su parte, la probabilidad de obtener una diferencia media igual o mayor de 9.60 puntos por puro azar, si no existiera ningún efecto de la intervención, es menor de 0.1%. Esto es significativamente inferior al nivel que se estable de (α=0.05).

Más allá de la significancia estadística, es fundamental evaluar la magnitud práctica del efecto, es decir, cuán grande es la mejora en términos estandarizados. Por tal motivo se calculó el tamaño del efecto d de Cohen para muestras emparejadas, el cual reflejó un valor de d=17.45, el cual se considera extremadamente alto. Así, Cohen [27] estableció que d=0.2 representa un efecto pequeño, d=0.5 un efecto mediano y d=0.8 un efecto grande.

Con d=17.45, el tamaño del efecto es extremadamente grande, lo que indicó que la intervención (el uso de la estación de trabajo) no solo produjo una mejora estadísticamente significativa, sino también una mejora de gran magnitud práctica. En términos educativos, esto significa que los alumnos no solo perfeccionaron sus calificaciones, sino que lo hicieron de manera tan sustancial que la diferencia es claramente perceptible y relevante en el contexto de su formación técnica.

Interpretación del intervalo de confianza

Con 95% de confianza, se pudo afirmar que la verdadera mejora promedió en la población de estudiantes (bajo condiciones similares) se encuentran 8.92 y 10.28 puntos (sobre 20): es importante resaltar que todo intervalo de confianza se encuentra por encima de cero, lo que confirmó que la mejora es positiva y significativa en términos prácticos. Además, la amplitud del intervalo es

relativamente estrecha (1.36 puntos), indicando una alta exactitud en la evaluación de la mejora, consistente con la baja variabilidad observada en los datos.

De forma general el análisis inferencial que se realizó demostró que el impacto de la estación de trabajo en el aprendizaje de los estudiantes es estadísticamente significativo, de gran magnitud práctica y altamente consistente. En términos educativos se afirma que:

1. Efectividad comprobada: La estación de trabajo produjo una mejora sustancial y uniforme en las competencias de los estudiantes, tanto en la identificación de defectos como el control de parámetros operativos.
2. Consistencia en el aprendizaje: La baja variabilidad en las mejoras indicó que, la estación fue efectiva para diferentes perfiles de estudiantes, lo cual es deseable en ambientes de formación técnica, donde se busca estandarizar competencias mínimas.
3. Validez de la intervención: Al ser el grupo el mismo antes y después, y controlar factores como la aplicación de las mismas rúbricas y condiciones de evaluación, se atribuye con mejor confianza la mejora a la intervención (empleo de la estación) y no a otras variables extrañas como el tiempo de estudio o la motivación personal.
4. Relevancia práctica: La magnitud del efecto (d=17.45) indicó que la estación de trabajo no solo cumplió si objetivo formativo, sino que lo hizo con un nivel de eficacia extremadamente alto, lo que superó las expectativas típicas en intervenciones educativas.

Lo antes descrito respalda la implementación de estaciones de trabajo estructuradas como una estrategia pedagógica efectiva en la formación de ingenieros electromecánicos, lo que contribuye a disminuir el espacio entre la teoría y la práctica, y prepara a los estudiantes para los estándares de calidad que exige la industria.

11. Discusión general

11.1 Efectividad de la estación de trabajo

Los resultados confirmaron que la implementación de una estación de trabajo estructurada para análisis de calidad de soldadura tiene un impacto positivo y es estadísticamente significativo en el aprendizaje de los estudiantes. La mejora media del 129.7% en el desempeño total es similar a estudios anteriores que notificaron mejoras en el aprendizaje práctico de soldadura cuando se emplean entornos de entrenamientos estructurado [3], [14].

La efectividad de esta estación se puede atribuir a diferentes factores, entre los que destacan: Aprendizaje experimental estructurado, este refleja la combinación de la teoría (normas, criterios de aceptación) con la práctica (soldadura, inspección, medición), esto, permite a los estudiantes adquirir conocimientos técnicos y específicos del diseño de uniones [29]. Así, otros autores señalaron que la elaboración de guías prácticas estructuradas facilita la transición del conocimiento teórico a la aplicación técnica, aspecto que se evidenció en este trabajo con el incremento de las puntuaciones de los estudiantes [25].

El diseño de la estación, con áreas que se diferencias y un flujo de trabajo lógico (soldadura-enfriamiento-inspección), no es un mero capricho arquitectónico, sino que responde a principios de ergonomía cognitiva y seguridad industrial. La separación física entre las zonas de soldadura y la de inspección reduce la contaminación cruzada y permite que los estudiantes asocien cada etapa del proceso con un conjunto específico de herramientas y procedimientos. Estudios previos [15] demostraron que un entorno ordenado y con extracción localizada de humos mejora la concentración y disminuye el tiempo de entrenamiento hasta en 40%. Los resultados de esta tesis respaldan esta afirmación, ya que todos los estudiantes mejoraron de manera consistente (baja desviación estándar de 0.55 en las diferencias), lo que sugiere que el diseño contribución a reducir la variabilidad en el aprendizaje.

Por otra parte, el Manual de Operación Estandarizado (SOP) actúa como un andamiaje cognitivo que guía al estudiante pasa a paso, desde la colocación del EPD hasta el registro de la inspección. Este documento no es simple listado de instrucciones, sino una herramienta de estandarización que internaliza los criterios de calidad exigidos por AWS D1.1 IX [1][2]. Al seguir el SOP, los estudiantes no solo adquieren destreza manual, sino desarrollan una mentalidad de calidad y trazabilidad, competencias altamente valoradas en la industria. La matriz de criterios de aceptación/rechazo, integrada en el SOP, proporciona un marco objetivo que reemplaza la evaluación subjetiva, lo que explica la mejora del 136.1% en la identificación de defectos. Este enfoque sistemático disminuye el espacio entre la formación académica y las exigencias de certificación internacional, lo que prepara a los alumnos para entornos laborales regulados.

Por otra parte, es necesario destacar la retroalimentación inmediata, la cual depende de la disponibilidad de instrumentos de medición y criterios estandarizados, permitiendo a los alumnos reconocer y rectificar errores, lo que acelera el proceso de aprendizaje [3]. Así, se destacó que la retroalimentación objetiva en tiempo real constituye uno de los cimientos del entrenamiento efectivo

en soldadura, debido a que disminuye significativamente el tiempo que se necesita para lograr competencias básicas [20].

En tal sentido, otro factor de vital importancia lo constituye el entorno seguro y controlado. Este se rige por la implementación de sistemas de extracción de humos, una iluminación adecuada y EPP completo, lo que reduce los riesgos asociados a la soldadura, protegiendo la salud de los estudiantes [25]. Así, un entorno más limpio y seguro, como informaron en experiencias similares [18], [15], permite a los alumnos concentrarse en el aprendizaje sin la distracción de riesgos innecesarios, lo cual se reflejó en la mejora de su desempeño.

Lo antes descrito coincide con lo notificado por la Universidad Central del Ecuador [26[,donde la automatización de sistemas de extracción en talleres de soldadura demostró no solo mejorar la seguridad, sino al mismo tiempo incrementó la eficiencia de las prácticas formativas, redujo el ausentismo y mejoró los resultados académicos.

11.2 Aplicabilidad de las normativas AWS D1.1 y ASME IX

En este sentido se resalta que la matriz de criterios de aceptación y rechazo que se desarrolló en este proyecto demostró la aplicabilidad práctica de estas normativas en entornos de formación técnica. La norma AWS D1.1: 2025, con sus criterios de aceptación refinados y guía de inspección [1], brinda un marco sólido para la evaluación de discontinuidades: Así, la norma estable criterios de aceptación visual para soldaduras de filete, CJP y PJP que se incorporaron directamente en la matriz que se desarrolló.

La inclusión de ASME Sección IX como una referencia complementaria fue pertinente, ya que esta norma posee reglas relativas a la calificación de procedimientos de soldadura y soldadores [1]. Aunque ASME IX no establece criterios de aceptación para soldaduras de producción (esto corresponde al código de construcción aplicable), su utilización en la calificación de procedimientos y desempeños de soldadores es vital para la formación técnica. Aspecto que señalaron otros autores [25], al destacar que la comprensión de los requisitos de calificación según ASME IX prepara a los estudiantes para entornos industriales regulados.

La literatura destaca en que el conocimiento de los códigos de soldadura es un diferenciador clave en la formación de ingenieros electromecánicos. Se destacó que la aplicación de criterios estandarizados no solo mejora la calidad de las uniones, sino que desarrolla en los estudiantes una mentalidad de

calidad y responsabilidad técnica, aspectos altamente valorados en la industria metalmecánica del Ecuador [24].

11.3. Identificación de defectos y control de parámetros

Los resultados reflejaron que los estudiantes mejoraron de forma significativa en ambas dimensiones evaluadas. La mayor mejora en la identificación de defectos (136.1%) sugirió que la combinación de herramientas de inspección (galga tipo BRIDGE CAMs, lupa, líquidos penetrantes) y el catálogo visual de discontinuidades fue particularmente efectiva para desarrollar esta competencia. Los trabajos recientes en este sentido confirmaron que, los parámetros de soldadura, incluyendo la corriente de soldadura, el voltaje de soldadura y la velocidad de avance, son los elementos fundamentales que influyen en la calidad de la unión soldada [23]. Así, se demostró que, el voltaje de arco, la corriente de soldadura, la velocidad de alimentación del alambre y la velocidad de avance afectan de forma significativa la calidad de soldadura. La estación que se implementó permitió a los estudiantes controlar y verificar estos parámetros en tiempo real, lo que explica la mejora sustancial en la Dimensión 2 [24].

En tal sentido se informó que, la ocurrencia de defectos como la porosidad, inclusiones de escoria y falta de penetración está directamente vinculada con el control inadecuado de parámetros. En su investigación, estos autores compararon el SMAW y GMAW, y encontraron que el GMAW presentó menor incidencia de inclusiones de escoria (2-5% vs 10-15 en SMAW), pero mayor sensibilidad a la porosidad si el gas protector no se controla de forma adecuada. Estos resultados fortalecen la importancia de que los estudiantes practiquen ambos procesos y aprendan a ajustar los parámetros específicos de cada uno [25].

La literatura que se consultó coincide en que la detección temprana de los efectos mediante inspección visual y dimensional es la primera línea de control de calidad en la industria [3], [14]. Por tanto, el catálogo visual que se desarrolló en este proyecto (D-01 a D-12) se alinea con esta práctica, lo que proporciona a los estudiantes un recurso didáctico que les permite familiarizarse con la apariencia de cada defecto antes de enfrentarse a problemas reales.

De forma general los resultados de esta investigación tienen alcances importantes para la formación técnica en soldadura en el contexto del Ecuador:

- La infraestructura especializada mejora el aprendizaje: la disponibilidad de equipos e instrumentos adecuados, combinados con protocolos estandarizados, aceleran el desarrollo de

competencias técnicas. [25] señaló la necesidad de modernizar los talleres de soldadura en la Universidad Técnica de Cotopaxi, y los resultados de este trabajo confirmaron que dicha inversión impacta directamente en el rendimiento estudiantil.

- La estandarización según normas internacionales es factible: es posible implementar criterios AWS D1.1 y ASME IX en entornos de formación técnica, preparando a los estudiantes para los estándares de la industria. Así, se enfatizaron que la alineación de las prácticas de laboratorio con normativas internacionales es un requisito para la acreditación y el reconocimiento de la carrera [25].
- La evaluación objetiva es clave: el uso de rúbricas y pruebas pretest/postes permitió determinar el avance de los alumnos de forma objetiva, lo que identificó de forma precisa las áreas de mejora. [20]. Se recomendaron la evaluación basada en criterios estandarizados como una práctica óptima en la formación de soldadores.
- La seguridad es fundamental: la implementación de sistemas de ventilación, iluminación y puesta a tierra no solo va a proteger a los estudiantes, sino que además mejora su experiencia de aprendizaje, tal como lo destacó Nederman [15] en colegios técnicos de Australia, donde la mejora de la calidad de aire se correlacionó con mayor asistencia y mejores calificaciones.
- Sostenibilidad del proyecto: la estación que se construyó permanecerá operativa en el laboratorio, lo que permitirá futuras investigaciones, prácticas de estudiantes y proyectos de vinculación con la industria. Esto responde al reclamo de la Universidad Técnica de Cotopaxi por fortalecer sus laboratorios y su capacidad de formación técnica, lo que contribuye de forma directa al desarrollo de la industria y la tecnología del territorio.

En síntesis, la implementación de esta estación de trabajo para análisis de calidad de soldadura SMAW y GMAW manifestó ser un instrumento efectivo para los alumnos de Ingeniería Electromecánica incrementen sus concocimientos, alineando su formación académica con las exigencias del sector industrial y proporcionando un entorno seguro, estructurado y orientado al desarrollo de competencias técnicas certificables.

12. Conclusiones

- La implementación de la estación de trabajo demostró que es técnica y económicamente viable trasladar los estándares AWS D1.1 y ASME Sección IX a un entorno de formación universitaria, mediante equipos de rango medio e instrumentos convencionales. El diseño arquitectónico con áreas diferenciadas para SMAW y GMAW e inspección optimiza el flujo

de trabajo e instaura una cultura de seguridad y orden, lo que constituye un activo permanente y replicable para la universidad.

- La elaboración del Manual de Operación Estandarizado, la matriz de criterios de aceptación/rechazo y el catálogo visual de 11 discontinuidades trasformaron el aprendizaje de la soldadura de un ejercicio empírico a un proceso sistemático y evaluable. Estos instrumentos traducen el lenguaje técnico de las normativas a formatos didácticos accesibles, acortando la distancia entre el estudiante y las exigencias de certificación internacional.
- La evaluación del impacto educativo, mediante un diseño pre-experimental con pretest y postest en una muestra de cinco estudiantes, arrojó mejoras sustanciales y estadísticamente significativas. La puntuación total media aumentó de 7.60 a 17.20 (incremento del 126.3%; $t=39.10$; $gl=4$; $p<0.001$). En la identificación de defectos (D1), la media pasó de 3.60 a 8.50 (mejora del 136.1%), mientas que el control de parámetros operativos (D2) se incrementó de 4 a 8.70 (mejora del 117.5%). El tamaño del efecto, calculado con el d de Cohen, fue de 17.45, lo que confirma una repercusión práctica de magnitud extremadamente grande.
- La estación de trabajo representó un salto cualitativo en la didáctica de la soldadura, al demostrar que un entorno estructurado, seguro y dotado de instrumentos de medición produce avances sustanciales y consistentes en las competencias técnicas de los estudiantes. El proyecto evidenció que la inversión en infraestructura didáctica especializada es una estrategia pedagógica de alto rendimiento, recomendable para otras áreas prácticas de la formación técnica superior.

13. Recomendaciones

- Establecer un programa para mantener la comprobación de los dispositivos e instrumentos de la estación, y evaluar la replicabilidad de este modelo en otros laboratorios de la facultad para estandarizar la formación práctica en procesos de manufactura.
- Implementar de manera transversal el uso del Manual de Operación y la Matriz de Criterios en todas las prácticas de soldadura, así como digitalizar los registros de inspección para construir una base de datos que posibilite el seguimiento del comportamiento estudiantil en toda de la carrera.
- Extender la operación de la estación a otras asignaturas del currículo y ampliar la muestra de estudiantes en futuras investigaciones para consolidar los resultados con análisis estadísticos de mayor alcance.

14. Referencias Bibliográficas

[1] American Welding Society. *AWS D1.1/D1.1M:2025 Structural Welding Code-Steel.* Miami, FL: AWS, 2025. [Online]. Available. https://www.aws.org

[2] American Society of Mechanical Engineers. *ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section IX: Welding, Brazing, and Fusing Qualifications.* New York: ASME, 2025. [Online]. Available https://www.asme.org

[3] A. Arifin, Dissimilar metal welding using Shielded metal arc welding: A Review, *Technology Reports of Kansai University,* vol. 62, no.4, pp1935-1947, 2020 [Online]. Available: https://repository.unsri.ac.id

[4] J.P. Coelho, A. Casarini, E. T. Olivio, M. Braz-César, and J. Ribeiro, Optimization and Influence of GMAW Parameters for Weld Geometrical and Mechanical Properties Using the Taguchi Method and Variance Analysis, *KnE Engineering,* vol.5, no.6, pp781-794, Jun. 2020. doi: 10.18502/keg.v5i6.7097

[5] Effect of welding parameters on mechanical and microstructural properties of GMAW and SMAW mild steel joints, *Ingenta Connect,* 2020. [Online]. Available: https://www.ingentaconnect.com

[6] O. H. Rodríguez Pérez, *Defectos y controles de las uniones soldadas en soldadura manual.* 2020. [Online]. Available: https://play.google.com

[7] ASTM E1417/E1417M-21, Standar Practice for Liquid Penetrant Testing. ASTM International, 2021 [Online]. Available: https://www.astm.com

[8] ASTM E709-21, *Standar Guide for Magnetic Particle Testing.* ASTM International, 2021. [Online]. Available: https://www.astm.com

[9] Infrared in-line monitoring of flaws in steel welded joints: a preliminary approach with SMAW and GMAW processes, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology,* 2023. doi: 10.1007/s00170-023-12044-2

[10] Effect of the welding technique on mechanical properties and metallurgical characteristics of the naval grade high strength low alloy steel joints produced by SMAW and GMAW, *ScienceDirect,* 2022. [Online]. Available https://www.sciencedirect.com

[11] Inspecting the weld to ensure quality, *The Fabricator,* 2025. [Online]. Available: https://www.thefabricator.com

[12] Welding Joint Inspection: Key Steps, *ESAB,* 2022. [Online]. Available: https://www.esab.com

[13] *Structural Welding Quality Handbook*, 2022 Edition. ICC safe, 2022. [Online]. Available: https://shop.iccsafe.org

[14] Nederman, ¨Creating cleaner classroom for welding education in Australia¨, *Nederman Knowledge Center,* 2025. [Online]. Available: https:// www.nederman.com

[15] ¨Non-destructive testing of welds-Magnetic particle testing¨, ISO 17638:2016, 2021. [Online]. Available: https://www.iso.org

[16] ISO 17405:2022, *Non-destructive testing-Ultrasonic testing-Technique of testin claddings produced by welding, rolling and explosion.* ISO, 2022. [Online]. Available: https://www.iso.org

[17] The Ultimate Guide on OSHA Welding Requirements, *Insure Compliance,* 2021. [Online]. Available: https://insurecompliciance.net

[18] Grounding and Arc Welding Safety, *Lincoln Electric.* [Online]. Available: https://www.lincolnelectri.com

[19] NETL and ARC Kick Off Program to Create the Next Generation of Welders, *NETL, 2021.* [Online]. Available: https://www.netl.doe.gov

[20] UBTech Takes Welding Ecucation to the Next Level With Miller, *MillerWelds,* 2021. [Online]. Available: https://www,millerwelds.com

[21] CWB Welding Foundation 2020-2021 Annual Report, *CWB Welding Foundation,* 2021. [Online]. Available: https://www.cwbweldingfoundation.org

[22] D.S Braga, T.A.P.S. Costa and H.A. L. Alemeida, Influencia de la variación de la corriente de sodadura en las características geométricas del cordón de soldadura en acero CA50 utilizando los procesos de electrodo revestido y MIG/MAG, *Research, Society and Development,* vol. 13, no. 8, art. E3413846489, 2024. doi: 10.33448/rsd-v13i8.46489

[23] G. Cueva, Análisis de efectos en soldaduras SMAW y GMAW en la industria metalmecánica, *Revista de Ingeniería y Manufactura,* vol. 15, no. 2, pp 112-128, 2024. Doi: 10.5281/zenodo.11521698

[24] I. Borja and J. Reinoso, Evaluación de técnicas de soldaduras SMAW y GMAW en la producción de frentes de carrocería metálica urbana tipo G8, B.S. tesis, Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador, 2024 [Online]. Available: https://dsapace.ups.edu.ec/handle/123456789/28734

[25] J.A. Armijos Aguilar, Automatización, control de extracción para mejorar la seguridad y eficiencia de las prácticas ennel taller de soldadura de la Carrera de Pedagogía Técnica de Metatrónica, B.S. tesis, Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador, 2025. [Online]. Available: https://www.dspace.uce.edu.ec

[26] M.A. Avilés-Miño, Análisis de la defectología en probetas de acero soldadas, utilizando inspección visual y el método de tintas penetrantes en los procesos SMAW y GMAW con variación de sus parámetros principales, B.S. tesis, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, 2021. [Online]. Available: https://core.ac.uk/Works/29193955

[27] J. Cohen, *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences,* 2nd ed. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 1988. Doi: 10.434/9780203771587

[28] API RP 577, *Welding Processes, Inspection, and Metallurgy, 3rd ed.* API, 2020. [Online]. Available: https://www.api.org

[29] CESAL, *Manual del Soldador,* 27th ed. Madrid: Asociación Española de Soldadura y Tecnología de Unión, 2020. [Online]. Available: https://www.itcsoldadura.org

[30] Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, *Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE).* Quito, Ecuador, 2015. [Online]. Available: https://www.regulacionelectrica.gob.ec

[31] National Fire Protection Association, *NFPA 70: National Electrical Code (NEC),* 2023. [Online]. Available: https://www.nfpa.org

[32] ACGIH, *Industrial Ventilation: A Manual of Recommended Practice for Design,* 30th ed. Cincinnati, OH: ACGIH, 2023. [Online]. Available: https://www.acgilh.org

[33] Autodesk, *Revit 2027* [Software de modelado BIM]. San Rafael, CA: Autodesk: https://www.autodesk.com/products/revit

[34] R.G. Budynas and J.K. Nisbett *Shigleys Mechanical Engineering Design,* 11 th ed. New York, NY, USA: McGraw-Hill Education, 2021. [Online]. Available: https://www.mheducation.com

[35] R.L. Norton, *Diseño de Maquinaria: Síntesis y Análisis de Máquinas y Mecanismos,* 6th ed. Ciudad de México, México: McGraw-Hill Interamericana, 2020. [Online]. Available: www.mheducation.com

[36] International Organization for Standardization, *ISO* 1461: 2022, Hot dip galvanized coating on fabricated iron and steel Articles-Specifications and test methods, ¨ISO, Geneva, Switzerland, Aug. 2022. doi: 10.3403/30423662