



Propuesta de guía de formación para la certificación de personal de Nivel I en el método de ultrasonido industrial mediante el uso del equipo Olympus EPOCH 1000i series

Naranjo Guamán, Evelyn Maribel y Peña Granda, Dennys Dayan

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería y Mecánica

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título Ingeniero Mecánico

Ing. MSc. Naranjo Guatemala, Carlos Rodrigo

31 de agosto del 2021



Urkund Analysis Result

Analysed Document: TESIS_NARANJO_PEÑA_URKUND.pdf (D111759375)
Submitted: 8/27/2021 6:11:00 PM
Submitted By: vaerazo@utn.edu.ec
Significance: 2 %

Sources included in the report:

<https://docplayer.es/83756763-Departamento-de-ciencias-de-la-energia-y-mecanica.html>
<https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/6392/SanchezSarmientoJulieCarolina2012.pdf?sequence=1>
<https://docplayer.es/55635769-Universidad-tecnica-de-manabi-facultad-de-ciencias-matematicas-fisicas-y-quimica-escuela-de-ingenieria-mecanica-trabajo-de-titulacion.html>
<https://docplayer.es/85222023-Escuela-politecnica-del-ejercito.html>

Instances where selected sources appear:

6

Firma:



Ing. Naranjo Guatemala, Carlos Rodrigo, MSc.

DIRECTOR



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, **“Propuesta de guía de formación para la certificación de personal de Nivel I en el método de ultrasonido industrial mediante el uso del equipo Olympus EPOCH 1000i series”** fue realizado por los señores **Naranjo Guamán, Evelyn Maribel y Peña Granda, Dennys Dayan** el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 30 de agosto del 2021

Firma:



Ing. Naranjo Guatemala, Carlos Rodrigo, MSc.
Director

C. C: 1707087084



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Nosotros, **Naranjo Guamán, Evelyn Maribel y Peña Granda, Dennys Dayan**, con cédulas de ciudadanía n°172299500-6 y n°171855506-1, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“Propuesta de guía de formación para la certificación de personal de Nivel I en el método de ultrasonido industrial mediante el uso del equipo Olympus EPOCH 1000i series”** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 30 de agosto del 2021

Firmas

Naranjo Guamán, Evelyn Maribel

C.C.: 172299500-6

Peña Granda, Dennys Dayan

C.C.: 171855506-1



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA**

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Nosotros **Naranjo Guamán, Evelyn Maribel y Peña Granda, Dennys Dayan**, con cédulas de ciudadanía n°1722995006 y n°1718555061, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **“Propuesta de guía de formación para la certificación de personal de Nivel I en el método de ultrasonido industrial mediante el uso del equipo Olympus EPOCH 1000i series”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Sangolquí, 30 de agosto del 2021

Firmas

Naranjo Guamán, Evelyn Maribel

C.C.: 1722995006-1

Peña Granda, Dennys Dayan

C.C.: 171855506-1

Dedicatoria

A mis queridos padres María y Alberto, por su amor, paciencia, esfuerzo arduo y apoyo incondicional en todo momento ya que me han permitido llegar a cumplir un sueño más, son mi ejemplo a seguir, los amo.

A mis hermanos, David y Kevin, por animarme siempre e impulsarme a nunca rendirme durante todos estos años, gracias por ser los mejores.

A mi querido Abuelito Francisco, que desde el cielo me cuida, por creer siempre mí, sus consejos guían mi vida y me hacen seguir adelante siempre.

A mi querida Abuelita Dolores, por brindarme su amor y cada uno de sus consejos que me han guiado y cuidado siempre.

A toda mi familia, por su apoyo y colaboración, Rosa, Blanca, Eusebio, Irene, Diego, Mishell, Jessica y Dolores, siempre los tengo presente.

Evelyn M. Naranjo G.

Dedico este trabajo a mis padres Piedad y Marcos, por el gran apoyo que me han dado a lo largo de mi vida, por el cariño incondicional que siempre me han dado y por todo el sacrificio que han hecho para que yo pueda cumplir con mis metas. Los amo con toda mi vida.

A mi abuelita Manuelita y a mi tía Carmelita por todo el amor que siempre me han tenido.

A mi familia, por siempre estar presente, prestándome su apoyo y guía.

Dennys D. Peña G.

Agradecimiento

Agradezco a Dios que me ha guiado y fortalecido en todo momento para llegar a culminar con éxito este proyecto.

A mis padres María y Alberto, quienes me han apoyado y guiado en todo momento con sus consejos, paciencia y valores inculcados, gracias por todo su amor y gran corazón hacia mí que me han motivado siempre para alcanzar cada sueño.

A mis hermanos David y Kevin, ustedes mi principal tesoro gracias por siempre estar conmigo, por cada abrazo y palabra de aliento para culminar este proyecto.

A mis abuelitos sus consejos y bendición guiarán mi vida.

A toda mi familia, tíos, tías y primas gracias por sus consejos y apoyo que han sido fundamentales para mi persona.

A mis amigos que han sido parte de esta etapa universitaria, gracias por su cariño y apoyo en todo momento.

A mi tutor académico Ing. Carlos Naranjo e Ing. Patricio Quezada por habernos brindado la oportunidad de desarrollar el presente proyecto y guiado con sus conocimientos.

A los Ing. Marco Aucancela y Ing. Walter Taco por apoyarnos con el desarrollo técnico y logístico de este proyecto. De igual forma gracias totales a la empresa Santa Bárbara EP (SBEP) por apoyarnos en llevar a cabo el proyecto.

A mi compañero Dennys Peña, gracias por ser un buen amigo y demostrar responsabilidad con la elaboración del este proyecto.

Evelyn M. Naranjo G.

Agradezco primeramente a Dios, por darme la sabiduría y la tenacidad para la culminación de esta etapa de mi vida y por sus infinitas bendiciones.

A mis papas Piedad y Marcos, por su constante apoyo y amor que me permitieron siempre salir adelante, por su paciencia, perseverancia y por ser mi fuerza para no dejarme vencer.

A mi familia, en especial a mis hermanos Israel y Danilo; y a mis cuñadas Diana y Emily, por siempre estar presentes con sus consejos, apoyo, cariño y ánimos.

A mi tutor, el ingeniero Carlos Naranjo e ingeniero Patricio Quezada, por darme la oportunidad y la confianza de realizar este proyecto, en conjunto de sus valiosos aportes y guías.

A los ingenieros, Marco Aucancela y Walter Taco, por su compromiso y el apoyo brindado a lo largo del desarrollo del presente proyecto.

A mis amigos, por todos los buenos momentos y gratas experiencias a lo largo de mi vida estudiantil, en especial a Alejandro Arroyo, por ser como uno más de mis hermanos.

A mi novia Gabriela, por su gran apoyo, cariño y ánimos en los momentos difíciles que siempre me dio.

A mi compañera Evelyn Naranjo, por demostrar ser una excelente persona, una buena amiga y el esfuerzo puesto en el desarrollo de este proyecto.

Dennys D. Peña G.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

| | |
|-----------------------------------|----|
| RESULTADOS URKUND..... | 2 |
| CERTIFICACIÓN..... | 3 |
| RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA | 4 |
| AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN | 5 |
| DEDICATORIA..... | 6 |
| AGRADECIMIENTO | 7 |
| RESUMEN..... | 19 |
| ABSTRACT | 20 |
| CAPÍTULO I GENERALIDADES..... | 21 |
| Introducción..... | 21 |
| Definición del Problema | 21 |
| Antecedentes | 22 |
| Justificación e Importancia..... | 23 |
| Área de Influencia | 24 |
| Objetivos..... | 24 |
| Objetivo General..... | 24 |
| Objetivos Específicos | 24 |
| Alcance del Proyecto..... | 25 |
| Técnico..... | 25 |
| Tiempo..... | 25 |
| Económico | 25 |
| Equipamiento e Instrumentos | 26 |
| Etapas del Proyecto | 26 |

| | |
|---|----|
| | 10 |
| Primera Etapa: Fundamentación Teórica del Método de Ultrasonido..... | 26 |
| Segunda Etapa: Calibración del equipo EPOCH 1000i Series. | 26 |
| Tercera Etapa: Diseño del plan de formación en el método de ultrasonido para nivel I: | 27 |
| Cuarta Etapa: Evento de Capacitación. | 28 |
| Quinta Etapa: Elaboración de recomendaciones. | 28 |
| CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO..... | 29 |
| Formación, Cualificación y Certificación del Personal de END | 29 |
| Formación de END | 29 |
| Cualificación..... | 29 |
| Certificación..... | 29 |
| Proceso de Certificación de Personal en END | 29 |
| Práctica Recomendada SNT-TC-1A:2020 | 29 |
| UNE-EN ISO 9712:2012..... | 32 |
| Método de Ultrasonido..... | 35 |
| Ondas sonoras | 36 |
| Descomposición de Ondas Ultrasónicas | 37 |
| Parámetros físicos del sonido | 38 |
| Aplicaciones de la Energía Ultrasónica | 40 |
| Técnicas del Método de Ultrasonido | 40 |
| Características Físicas del EPOCH 1000I SERIES..... | 44 |
| Modelo de Evaluación de Capacitación/Formación de Kirkpatrick | 45 |
| Reacción | 45 |
| Aprendizaje..... | 46 |
| Conducta..... | 46 |

| | |
|---|----|
| | 11 |
| Impacto..... | 46 |
| CAPÍTULO III DISEÑO DE PLAN DE FORMACIÓN EN ULTRASONIDO | 47 |
| IAEA-TECDOC-628/REV. 3 | 47 |
| Análisis de La Guía Temática IAEA-TECDOC-628/REV. 3 del Nivel I..... | 47 |
| Conocimientos generales..... | 48 |
| Terminología, Principios Físicos y Fundamentos del Ultrasonido | 48 |
| Técnicas de Ensayo y sus Limitaciones..... | 48 |
| Equipos y Accesorios..... | 49 |
| Calibración del Sistema de Ensayo..... | 49 |
| Aplicaciones Específicas..... | 51 |
| Códigos, Estándares, Especificaciones y Procedimientos | 51 |
| Registro y Evaluación de Resultados..... | 51 |
| Protocolo de Aplicación del IAEA-TECDOC-628/REV. 3 para la Capacitación | 51 |
| Estructuración del Contenido | 51 |
| Estructuración de la Evaluación | 71 |
| Requisitos del Curso de Capacitación..... | 78 |
| Material didáctico..... | 78 |
| Equipos y herramientas | 79 |
| Documentos Técnicos..... | 80 |
| Evaluaciones | 81 |
| Personal..... | 81 |
| Modalidad del Curso de Capacitación..... | 82 |
| Plataformas..... | 82 |
| Instalaciones..... | 83 |

| | |
|--|------------|
| Alcance del Curso de Capacitación..... | 83 |
| Objetivos del Curso de Capacitación | 83 |
| Organización de la Capacitación | 84 |
| Administración del programa de capacitación..... | 84 |
| Índice del Contenido de Manual de Capacitación | 85 |
| Secuencia Planteada para el Desarrollo del Evento de Capacitación | 90 |
| Formas de Evaluación de Capacitación | 90 |
| CAPÍTULO IV ANÁLISIS DE RESULTADOS..... | 92 |
| Resultado de experimentación de ensayo para capacitación. | 92 |
| Probetas de Entrenamiento..... | 92 |
| Probetas de Prueba Práctica..... | 105 |
| Análisis de Resultados de Capacitación..... | 106 |
| Evento de Capacitación | 106 |
| Resultados de la Evaluación de Reacción..... | 115 |
| Resultados de la Evaluación de Aprendizaje | 133 |
| Análisis de Normativa Local (INEN-ISO/TR 25107) | 136 |
| Recomendaciones para implementación del centro de capacitación con Normativa Local (INEN-ISO/TR 25107) en la técnica de ultrasonido. | 136 |
| Propuesta para el Centro de Capacitación | 139 |
| CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 146 |
| Conclusiones | 146 |
| Recomendaciones | 147 |
| ANEXOS..... | 149 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 150 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|-----------|
| Tabla 1. Horas de formación y entrenamiento para Nivel I en Ultrasonido | 47 |
| Tabla 2. Discontinuidades de Soldadura – Tabla B.1 | 55 |
| Tabla 3. Proceso de Soldadura utilizada para las probetas de entrenamiento | 61 |
| Tabla 4. Códigos de informe interdependiente 2 RT | 62 |
| Tabla 5. Identificación de las probetas de entrenamiento | 63 |
| Tabla 6. Tabulación de resultados de la verificación de medidas del bloque de calibración de 5 niveles de espesor..... | 66 |
| Tabla 7. Tabulación de resultados de la verificación de medidas del bloque IIW Tipo I..... | 68 |
| Tabla 8. Tabulación de resultados de la verificación de medidas del bloque de calibración de 5 niveles de espesor..... | 70 |
| Tabla 9. Codificación de las probetas para examen práctico | 75 |
| Tabla 10. Códigos de informe interdependiente RT | 75 |
| Tabla 11. de identificación de las probetas de examen práctico..... | 76 |
| Tabla 12. Responsabilidades y nivel de formación del personal de capacitación | 85 |
| <i>Tabla 13. Resultados de la probeta de entrenamiento UT01-18X</i> | <i>92</i> |
| Tabla 14. Resultados de la probeta de entrenamiento UT02-18X..... | 95 |
| Tabla 15. Resultados de la probeta de entrenamiento UT03-18X..... | 96 |
| Tabla 16. Resultados de la probeta de entrenamiento UT04-26X..... | 98 |
| Tabla 17. Resultados de la probeta de entrenamiento UT05-12V | 100 |
| Tabla 18. Resultados de la probeta de entrenamiento PIPE-01 | 102 |
| Tabla 19. Resultados de la probeta de entrenamiento PIPE02 | 104 |
| Tabla 20. Escala de Likert. | 115 |
| Tabla 21. Resultados de las Evaluaciones de los Instructores | 115 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 22. Resultados de las Evaluaciones de los Contenidos | 120 |
| Tabla 23. Resultados de las Evaluaciones del Material de Apoyo | 125 |
| Tabla 24. Resultados de las Evaluaciones de la logística | 129 |
| Tabla 25. Resultados de la evaluación genera..... | 133 |
| Tabla 26. Resultados de la evaluación específica | 134 |
| Tabla 27. Resultados de la evaluación específica | 135 |
| Tabla 28. Comparativa entre el contenido del IAEA TECDOC y la ISO/TR 25107 | 136 |
| Tabla 29. Comparativa de la duración de la formación en base a las temáticas presentadas.... | 138 |
| Tabla 30. Responsabilidades del comité de capacitación..... | 139 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. a) La pieza no presenta defectos en su estructura. b) Presencia de defectos internos en un material..... | 36 |
| Figura 2. Reflexión y refracción de ondas | 37 |
| Figura 3. Propagación de ondas | 38 |
| Figura 4. Longitud de Onda | 39 |
| Figura 5. Aplicaciones de la energía ultrasónica..... | 40 |
| Figura 6. Principio de inspección de la técnica pulso-eco a) Sin defectos. b) Defectos grandes .. | 41 |
| Figura 7. Técnica de transmisión..... | 42 |
| Figura 8. Visualización de los defectos según su tamaño. a) Sin defectos. b) Pequeños defectos. c) Defectos grandes..... | 42 |
| Figura 9. Resonancia de las ondas inducidas para un espesor dado | 43 |
| Figura 10. Olympus EPOCH 1000i Series | 45 |
| Figura 11. Bloque de calibración ASTM E164 IIW Tipo I | 50 |
| Figura 12. Bloque de calibración de 5 niveles de espesor | 50 |
| Figura 13. Estructuración del contenido | 52 |
| Figura 14. Proceso de elaboración de las probetas de entrenamiento | 55 |
| Figura 15. Criterios de aceptación según ASTM E797-15 | 66 |
| Figura 16. Medidas tomadas del bloque de calibración de 5 niveles de espesor | 67 |
| Figura 17. Verificación del reflector de 0.06" con galgas cilíndricas..... | 68 |
| Figura 18. Bloque IIW Tipo I montado en el equipo de medición de coordenadas del laboratorio de metrología..... | 69 |
| Figura 19. Criterios de aceptación según ASTM E164-13 | 69 |
| Figura 20. Medidas tomadas del bloque de calibración de 5 niveles de espesor | 71 |

| | |
|--|-----|
| Figura 21. Esquema de desarrollo de las evaluaciones | 72 |
| Figura 22. Esquema del Proceso desarrollado para las probetas de examen práctico | 74 |
| Figura 23. Estructura organizacional del curso de capacitación | 84 |
| Figura 24. Esquema de desarrollo del evento de capacitación | 90 |
| Figura 25. Soldadura de la placa de entrenamiento UT01-18X | 93 |
| Figura 26. Placa de entrenamiento UT01-18X..... | 93 |
| Figura 27. Placa de entrenamiento UT01-18X..... | 94 |
| Figura 28. Placa de entrenamiento UT01-18X..... | 94 |
| Figura 29. Soldadura de la placa de entrenamiento UT02-18X | 95 |
| Figura 30. Placa de entrenamiento UT02-18X..... | 96 |
| Figura 31. Soldadura de la placa de entrenamiento UT03-18X | 97 |
| Figura 32. Placa de entrenamiento UT03-18X..... | 97 |
| Figura 33. Placa de entrenamiento UT04-26X..... | 99 |
| Figura 34. Placa de entrenamiento UT05-12V | 100 |
| Figura 35. Soldadura de la placa de entrenamiento UT05-12V | 101 |
| Figura 36. Tubería de entrenamiento PIPE01..... | 102 |
| Figura 37. Tubería de entrenamiento PIPE01..... | 103 |
| Figura 38. Tubería de entrenamiento PIPE02..... | 104 |
| Figura 39. Tubería de entrenamiento PIPE02..... | 105 |
| Figura 40. Evento de capacitación, día 1 | 106 |
| Figura 41. Evento de capacitación, día 1 | 107 |
| Figura 42. Evento de capacitación, día 1 | 107 |
| Figura 43. Evento de capacitación, día 2 | 108 |
| Figura 44. Evento de capacitación, día 2 | 108 |

| | |
|--|-----|
| Figura 45. Evento de capacitación, día 2 | 109 |
| Figura 46. Evento de capacitación, día 3 | 109 |
| Figura 47. Evento de capacitación, día 3 | 110 |
| Figura 48. Evento de capacitación, día 3 | 110 |
| Figura 49. Evento de capacitación, día 3 | 110 |
| Figura 50. Evento de capacitación, día 4 | 111 |
| Figura 51. Evento de capacitación, día 4 | 112 |
| Figura 52. Evento de capacitación, día 4 | 112 |
| Figura 53. Evento de capacitación, día 4 | 112 |
| Figura 54. Evento de capacitación, día 5 | 113 |
| Figura 55. Evento de capacitación, día 5 | 114 |
| Figura 56. Evento de capacitación, día 5 | 114 |
| Figura 57. Resultados de la evaluación a los instructores | 117 |
| Figura 58. Resultados de la evaluación a los instructores – Ítem 1 | 117 |
| Figura 59. Resultados de la evaluación a los instructores – Ítem 2 | 118 |
| Figura 60. Resultados de la evaluación a los instructores – Ítem 3 | 118 |
| Figura 61. Resultados de la evaluación a los instructores – Ítem 4 | 119 |
| Figura 62. Resultados de la evaluación a los instructores – Ítem 5 | 119 |
| Figura 63. Resultados de la evaluación a los contenidos | 121 |
| Figura 64. Resultados de la evaluación a los contenidos – Ítem 1 | 121 |
| Figura 65. Resultados de la evaluación a los contenidos – Ítem 2 | 122 |
| Figura 66. Resultados de la evaluación a los contenidos – Ítem 3 | 123 |
| Figura 67. Resultados de la evaluación a los contenidos – Ítem 4 | 123 |
| Figura 68. Resultados de la evaluación a los contenidos – Ítem 4 | 124 |

| | |
|--|-----|
| Figura 69. Resultados de la evaluación al material de apoyo..... | 125 |
| Figura 70. Resultados de la evaluación al material de apoyo – ítem 1..... | 126 |
| Figura 71. Resultados de la evaluación al material de apoyo – ítem 2..... | 127 |
| Figura 72. Resultados de la evaluación al material de apoyo – ítem 3..... | 127 |
| Figura 73. Resultados de la evaluación al material de apoyo – ítem 4..... | 128 |
| Figura 74. Resultados de las Evaluaciones de la logística..... | 130 |
| Figura 75. Resultados de la evaluación a la logística – ítem 1..... | 130 |
| Figura 76. Resultados de la evaluación a la logística – ítem 2..... | 131 |
| Figura 77. Resultados de la evaluación a la logística – ítem 3..... | 131 |
| Figura 78. Resultados de la evaluación a la logística – ítem 4..... | 132 |
| Figura 79. Diagrama de barras de los resultados del examen general..... | 133 |
| Figura 80. Diagrama de barras de los resultados del examen específico..... | 134 |
| Figura 81. Diagrama de barras de los resultados del examen específico..... | 135 |
| Figura 82. Estructura organizacional del centro de capacitación..... | 141 |

Resumen

El presente proyecto se desarrolló con el objetivo de establecer una propuesta técnica para la capacitación profesional de Inspectores Niveles I en el método de ultrasonido industrial convencional, esto como parte del proyecto que desea establecer un centro de Capacitación de Ensayos No Destructivos (END) en la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE. Se elaboró un manual de capacitación en base a los contenidos recomendados en la Guía Temática de la IAEA-TECDOC 628:2013. El procedimiento general para la calibración del equipamiento de Ultrasonido se diseñó tomando como referencia el manual del equipo EPOCH 1000i y los patrones de calibración disponibles en el Laboratorio de Ciencia de los Materiales, los cuales fueron sometidos a un procedimiento de verificación de medidas con el equipo de medición de coordenadas del Laboratorio de Metrología. Posteriormente, se desarrollaron probetas de entrenamiento consistentes en juntas soldadas a tope con preparación de bisel en X y V en placas y tuberías con discontinuidades inducidas, tomando las recomendaciones de examen práctico del Estándar ISO 9712. Finalmente se ejecutó un evento de capacitación con una duración de 40 horas para valorar la efectividad del curso por medio de evaluaciones de reacción y aprendizaje (teóricas y prácticas) aplicadas a los participantes. Los resultados obtenidos en las evaluaciones realizadas indican un impacto positivo tanto para la organización como para el aprendizaje del conocimiento técnico objeto del desarrollo de este proyecto.

Palabras clave:

- **ULTRASONIDO**
- **CALIBRACIÓN**
- **CAPACITACIÓN**
- **PROBETA**
- **SOLDADURA**

Abstract

The objective of this project was the development of a Level I inspector's certification training guide proposal in the Conventional Ultrasonic testing method, as part of a project that wants to establish a Non-Destructive Testing (NDT) training center in the Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE. A training manual was developed taking as basis the recommended contents by the IAEA Training Guideline TECDOC 628:2013. The general calibration procedure was designed with the instructions of the EPOCH 1000i User Manual and the use of the Calibration Blocks available in the Laboratorio de Ciencia de los Materiales, whose were subjected to a measure verification procedure with the coordinate measuring machine in the Laboratorio de Metrología. Then, the training specimens, that consist in plates and pipes with weld butt joints in X and Y were fabricated, the weld contain provoked discontinuities, meeting with the requirements of the practical test described in ISO 9712 Standard. Finally, a training event with a duration of 40 hours was performed, with the objective of evaluate the effectiveness of the training guide proposal, the participants took a test to evaluate their reaction to the training event and the acquired technical knowledges (theoretical and practical test). The test results show a positive feedback from participants to the training event organization and a good level of acquired technical knowledges.

Keywords:

- **ULTRASOUND**
- **CALIBRATION**
- **TRAINING**
- **TEST SPECIMENS**
- **WELDING**

Capítulo I

Generalidades

1.1. Introducción

Los Ensayos No Destructivos (END) se definen como la utilización de métodos que determinaran si un material o componente es idóneo para un propósito previsto, sin que estas afecten a su capacidad de servicio. Siendo así, que los métodos convencionales de END se centran en determinar la sanidad del material o componente.

El principio utilizado por la método de ultrasonido consiste en introducir ondas sonoras de alta frecuencia (0.5 y 20 MHz) en el material que requiere ser inspeccionado (IAEA, 2018). Por su alta sensibilidad, este método de END es ampliamente utilizada en el país, mayormente en la industria petrolera; en componentes como oleoductos, a su vez también tiene su aplicación en la industria de la construcción, para la inspección de construcciones fabricadas con acero.

Para la elaboración de la propuesta de la guía de formación para certificación de personal de Nivel I, en la método de ultrasonido industrial, el laboratorio de Ciencia de Materiales de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE cuenta con el EPOCH 1000i de Olympus, que es un equipo portátil de ultrasonido, el cual permite la detección de discontinuidades en los materiales a inspeccionar, además de palpadores para ensayos de ultrasonido convencional, bloques de calibración y Kit educacional de probetas soldadas con defectos conocidos.

1.2. Definición del Problema

El Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica (DCEM) de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, requiere de personal capacitado en la operación del equipo EPOCH 1000i Series de Olympus, debido a que existe la proyección de establecer un centro de capacitación en

END, con el apoyo del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) para alcanzar este objetivo, uno de los requerimientos es desarrollar guías de teoría y práctica para capacitar al personal en los distintos métodos de END conforme los requisitos de los organismos de certificación.

1.3. Antecedentes

Con memo No. ESPE-REC-2019-0955-M del Sr. Rector de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE en el que dispone al Sr. Tcrn. Edison Haro Albuja, PhD. director del Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica (DCEM), liderar el desarrollo de investigación en el área de energía atómica y nuclear en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

Con memo No. ESPE-DCEM-2019-1447-M del 06 de noviembre de 2019, el director del DCEM propone la creación de un proyecto para que potencie el trabajo en el área de las aplicaciones nucleares dentro de la ESPE.

Con oficio No. MERNNR-SCAN-2019-0226-0F del 19 de diciembre de 2019, la Subsecretaría de Control y Aplicaciones Nucleares, informa que dentro del Proyecto ECU 1007 para desarrollar la capacidad para aplicar tecnologías radiológicas para ensayos de infraestructura civil e industrial, incluyendo Ensayos No Destructivos (END); se ha previsto entregar equipo especializado a fin de que se cree en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE un centro de Ensayos No Destructivos para atención a emergencias nacionales.

La Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, para cumplir con el objetivo antes mencionado, se encuentra ejecutando acciones para formar un centro de END, para brindar servicio en situaciones emergentes. Se ha establecido que uno de los servicios que prestará este centro es la capacitación en END con el método de Ultrasonido (UT) mediante el equipo Olympus EPOCH 1000i.

1.4. Justificación e Importancia

Los END han tomado mucha relevancia en el transcurso del tiempo en el país, en especial, para garantizar en gran medida la confiabilidad e integridad de las estructuras soldadas y en todo tipo de materiales que requieran control de calidad, inspecciones que deben ser realizadas por personal calificado y certificado, debido a que este debe ser capaz de aplicar correctamente el método, interpretar y evaluar los resultados obtenidos de forma satisfactoria.

El centro de END para atención a emergencias a cargo del DCEM cuenta con los equipos para END, siendo estos para los métodos de Partículas Magnéticas (MT), Líquidos Penetrantes (PT) y Ultrasonido (UT). También cuenta con un bunker con protección para rayos ionizantes, el cual requiere de adecuaciones para que esté operativo.

Como se ha mencionado antes, con el fin de ejecutar una parte del control de calidad a las estructuras soldadas por medio de un END, el personal que va a efectuar dicha labor debe contar con la capacidad de ejecutar el procedimiento de manera adecuada. La propuesta de establecer un curso de capacitación para el centro de END brindará las directrices de formación y entrenamiento, para la aplicación del método de ultrasonido, dado que este método tiene diversas aplicaciones en la industria ecuatoriana.

El Laboratorio de Ciencia de los Materiales de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, cuenta con el equipo de ultrasonido EPOCH 1000i Series, con el cual se pretende elaborar y ejecutar el curso de capacitación en el mencionado método. Con el objetivo de que el personal capacitado sea apto para obtener la certificación de Nivel I.

La IAEA tiene su documento Training Guidelines TECDOC-628/REV. 3 que proporciona los parámetros para un curso de formación en END, a fin de asegurar su cumplimiento con los requisitos para el acceso al examen de certificación (IAEA, 2013).

1.5. Área de Influencia

La Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, mediante la Carrera de Ingeniería Mecánica, se beneficia con la ejecución del proyecto al desarrollo de conocimiento para dar apertura a un nuevo centro de Ensayos No Destructivos para la atención a emergencias nacionales, junto a un curso de capacitación de END en base a normativa vigente, para alcanzar niveles de certificación en Nivel I.

La información y el conocimiento que se obtenga de este proyecto será de beneficio institucional y nacional, para los docentes y estudiantes de la carrera de ingeniería mecánica o afines, y personal que lo requiera, impulsando control de calidad de cualquier material que lo requiera y generando confiabilidad en la ejecución de los métodos de END.

1.6. Objetivos

1.6.1. Objetivo General

Elaborar una propuesta de un curso de formación para la certificación de personal de Nivel I en el método de Ultrasonido Industrial mediante el uso del equipo Olympus EPOCH 1000i Series.

1.6.2. Objetivos Específicos

- Elaborar un procedimiento de calibración de un equipo de ultrasonido mediante el uso del EPOCH 1000i Series conforme la normativa aplicable.
- Desarrollar el temario y las ayudas didácticas para la propuesta del curso de formación en Nivel I en el método de ultrasonido, mediante los lineamientos del IAEA Training Guidelines TECDOC-628/REV. 3.
- Ejecutar un evento de capacitación del método de ultrasonido para evaluar la efectividad de la propuesta del curso de formación de Nivel I en ultrasonido, bajo el IAEA Training Guidelines TECDOC-628/REV. 3.

- Establecer las recomendaciones para implementar un centro de capacitación en el método de ultrasonido en el DECEM bajo normativa aplicable.

1.7. Alcance del Proyecto

El proyecto tendrá como alcance un desarrollo en los siguientes tres aspectos:

1.7.1. Técnico

- Propuesta de un curso de formación para personal en certificación Nivel I en el método de ultrasonido industrial, mencionada propuesta seguirá los lineamientos del IAEA Training Guidelines TECDOC-628/REV. 3, también se establecen procedimientos de inspección y calibración del equipo de ultrasonido con uso del EPOCH 1000i Series, que se encuentra en el Laboratorio de Ciencias de los Materiales de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, responsabilidades y criterios de evaluación.
- Realizar el evento de capacitación para evaluar la efectividad del curso de formación para personal en certificación Nivel I en el método de ultrasonido industrial, se debe tener en cuenta, que por motivos de necesidad de un ente central es decir un organismo acreditado y reconocido que cumpla con otros requerimientos no se puede certificar al personal en esta instancia.
- Recomendaciones para implementar el curso de formación para personal en certificación Nivel I bajo normativa local, en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE en el Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica (DECEM).

1.7.2. Tiempo:

Seis meses

1.7.3. Económico

Inversión no mayor a USD \$1200,00

1.7.4. Equipamiento e Instrumentos

A continuación, se tiene los principales equipos, máquinas e instrumentos que se tomarán en cuenta para el desarrollo del proyecto.

- Equipo de Ultrasonido EPOCH 1000i.
- Kit de entrenamiento para ultrasonido (SONASPECTION).
- Transductor de contacto YUSHI de 5MHz y $\Phi 10$ (S11365).
- Transductor de haz angular Panametrics de 2.25MHz y $\Phi 0.25''$ (C542-SM).
- Zapatas: Angular de 45°, 60°, 70° (ABWM-4T).
- Bloque de calibración ASTM E164 IIW tipo 1.
- Bloque de calibración de 5 niveles de espesor.

1.8. Etapas del Proyecto

Para el desarrollo del proyecto: Propuesta de guía de formación para la certificación de personal de Nivel I en el método de ultrasonido industrial mediante el uso del equipo Olympus EPOCH 1000i series, se detallan las siguientes etapas:

1.8.1. Primera Etapa: Fundamentación Teórica del Método de Ultrasonido.

Se elaborará un manual de capacitación enfocado para la formación de personal en Nivel I para el método de ultrasonido; profundizando en los conocimientos generales, fundamentos teóricos, técnicas de ensayo y aplicaciones específicas.

1.8.2. Segunda Etapa: Calibración del equipo EPOCH 1000i Series.

Se realizará un procedimiento general para la calibración del Equipo EPOCH 1000i Series, siguiendo el manual de usuario de este, en donde se indica los procedimientos a seguir con el uso de los bloques de calibración necesarios para la técnica de ultrasonido pulso-eco: haz recto y angular.

Por lo tanto, es necesario que los patrones de calibración sean sometidos a una verificación de medidas, con el fin de cumplir con las tolerancias de especificadas en las normativas correspondientes.

1.8.3. Tercera Etapa: Diseño del plan de formación en el método de ultrasonido para nivel I:

Se dividirá el contenido del plan de formación en conocimientos teóricos y prácticos.

Los contenidos del curso de formación se elaborarán en conforme el temario propuesto en el documento Training Guidelines TECDOC-628/Rev.3, donde se proporciona una guía de contenidos teóricos y prácticos para cada método de END. Se hace énfasis en el método de ultrasonido para Nivel I, dirigido al sector de los productos realizados con Soldadura, limitado a 40 horas de formación.

El contenido práctico se desarrollará mediante la elaboración de probetas de entrenamiento con discontinuidades, las cuales serán clasificadas según su severidad y/o criterios de aceptación y rechazo según código, estándar o procedimiento correspondiente.

Para fines de evaluación del plan de formación se propone la aplicación de tres exámenes para conocimientos generales, específicos y prácticos respectivamente.

Para evaluar de la efectividad del evento de capacitación se establece como referencia a los dos primeros niveles de la teoría de Kirkpatrick un modelo aceptado para evaluación de entrenamientos.

1. Reacción: Encuestas de Satisfacción.
2. Aprendizaje: Las evaluaciones de conocimiento teórico y práctico.

Los documentos utilizados para el plan de formación contarán con su codificación respectiva.

1.8.4. Cuarta Etapa: Evento de Capacitación.

El desarrollo del evento de capacitación requiere del establecimiento de materiales didácticos a utilizar, equipamiento y herramientas, documentos técnicos, evaluaciones respectivas, personal, modalidades del entrenamiento, plataformas e instalaciones.

Adicional, se establecerá la organización y las responsabilidades del personal para el desarrollo del evento de la propuesta del plan de formación, además de horarios, fechas e instalaciones para la realización del evento de capacitación y el número de participantes.

1.8.5. Quinta Etapa: Elaboración de recomendaciones.

Al finalizar con el desarrollo del evento de capacitación se elaborarán las recomendaciones para la propuesta de formación en el método de ultrasonido Nivel I.

Capítulo II

Marco Teórico

2.1. Formación, Cualificación y Certificación del Personal de END

2.1.1. Formación de END

Proceso de capacitación tanto técnica y práctica en el método de Ensayo No Destructivo (END) donde un aspirante/candidato busca una calificación y certificación (ACOSEND, 2016).

2.1.2. Cualificación

El proceso de evidenciar la competencia. Se demuestra de forma documentada los conocimientos, formación académica, capacitaciones, habilidad y experiencia en la aplicación del método de END, según los procedimientos u otras normativas (ACOSEND, 2016).

2.1.3. Certificación

Se denomina certificación del personal de END al conjunto de procedimientos utilizados para el cumplimiento de requisitos de calificación para un determinado método, nivel y sector, bajo una normativa, la responsabilidad de la certificación dependerá del empleador o ente central, al finalizar el proceso se emite al aspirante/candidato su certificado (AENOR, 2012).

2.2. Proceso de Certificación de Personal en END

Para asegurar la calidad en la ejecución de los END, se requiere previamente que el personal asignado pase por un proceso de certificación, mediante el cual se asegura que este cuenta con los conocimientos y habilidades suficientes para la realización de esta labor.

Existe una variedad de estándares que establecen los lineamientos generales para calificación, certificación y examen de personal, entre los cuales se puede mencionar a:

2.2.1. Práctica Recomendada SNT-TC-1A:2020

Documento que contiene las directrices postuladas por la Sociedad Americana para Pruebas No Destructivas (ASNT), las cuales han sido desarrolladas bajo un esquema de

certificación de “segunda parte”, en otras palabras, es el empleador el que, basándose en estas directrices debe elaborar los requisitos de entrenamiento, calificación y certificación para su personal de END, dando paso a una práctica escrita, la cual puede ser una modificación de la práctica recomendada acorde a sus necesidades, mas no eliminando contenidos de la misma.

2.2.1.1. Práctica Escrita

El empleador es el responsable de elaborar una práctica escrita, en la cual se detallan los siguientes aspectos:

- Responsabilidades de cada nivel.
- Requisitos de capacitación.
- Experiencia y examen.
- Procedimientos de prueba a aplicar según el alcance de sus operaciones.

Esta práctica debe ser revisada y aprobada por una persona Nivel III.

2.2.1.2. Responsabilidades del Nivel I

El personal de Nivel I deberá estar bajo la supervisión de personal Nivel II o Nivel III, no es responsable de la elección del método a emplear y deberá limitarse al registro de los resultados, mas no a su interpretación ni evaluación. Entre sus responsabilidades se encuentran:

- Realizar calibraciones específicas para el método de END a aplicar.
- Seguir las instrucciones escritas para evaluaciones específicas.
- Registrar y clasificar en base a las instrucciones escritas, todos los resultados obtenidos con los ensayos correspondientes.

Informar de los resultados obtenidos.

2.2.1.3. Requisitos Generales

Los requisitos generales para que una persona sea certificada en Nivel I en el método de ultrasonido son:

- Mínimo 40 horas de entrenamiento
- Mínimo 210 horas de experiencia laboral en el método.
- Examen de agudeza visual, se aplica el estándar Jaeger a una distancia de 30.5 cm (anualmente).

Estas horas pueden ajustarse, dependiendo del nivel de educación del aspirante a certificarse.

2.2.1.4. Programa de Entrenamiento

Esta capacitación puede ser impartida por un instructor de forma presencial o virtual y debe ser revisada y aprobada por un Nivel III del método. La finalidad es que el candidato debe adquirir los conocimientos y habilidades según el método de END especificada, siguiendo la práctica escrita y material técnico que se encuentra en la ANS/AISNT CP-105 (Esquemas para la calificación del personal de pruebas no destructivas).

Si se contrata servicios de capacitación fuera de la empresa, será el empleador el que debe garantizar que este servicio este acorde a los requisitos de su práctica escrita.

2.2.1.5. Examinaciones

El Nivel III es el que tiene la máxima responsabilidad en la examinación, ya que es el encargado de la aprobación del examen de calificación y administración de este. La examinación para Nivel I, II y III debe ser a libro cerrado, con la excepción de que se requiera información adicional.

Se compone de 3 exámenes; general, específico y práctico. Para su aprobación la calificación debe alcanzar un promedio de 80%, recalando que cada examen debe tener un mínimo de aprobación del 70%.

- **Examen general:** Principios básicos del método aplicable.
- **Examen específico:** Equipo, procedimientos de operación y métodos de END

- **Examen práctico:** Capacidad de operación del equipo de la técnica, registro y análisis del resultado según el nivel que corresponda, contemplando una lista de verificación de 10 categorías.

El proceso de recertificación del personal en un método de END se debe hacer en un máximo de 5 años.

2.2.2. UNE-EN ISO 9712:2012

Normativa en la que se detallan los requisitos para la calificación y certificación de personal que realiza END, donde se refleja un modelo de certificación de “tercera parte”. Es también conocida como una certificación de ente central (acreditada por competencias), que tiene las siguientes ventajas respecto a la práctica recomendada.

- El proceso de verificación de competencias técnicas de la entidad que certifica es independiente a los intereses del empleador, siendo un proceso más fiable.
- Criterios en los requisitos de cualificación homogeneizados.
- Las exigencias de los organismos de certificación internacional hacen que los niveles de capacitación deban mejorar.
- No hay restricción en el campo de aplicación, es decir se puede utilizar en varios países.

2.2.2.1. Organismos e Individuos Responsables

2.2.2.1.1. Organismo de Certificación

Debe cumplir con los requisitos de la ISO 17024:2012 (evaluación de la conformidad - requisitos generales para los organismos que realizan certificación de personas).

- Realizar auditorías a organismos de calificación para garantizar el cumplimiento de las especificaciones.
- Aprobar y supervisar que los centros de examen estén debidamente dotados de equipo y personal de forma periódica.

- Garantizar la seguridad de los materiales de examen.
- Exigir a los candidatos y titulares la firma de responsabilidad a respetar los códigos de ética.
- Emitir certificados.

2.2.2.1.2. Organismo de Calificación

Su ejecución se realizará bajo las especificaciones emitidas por el organismo de certificación.

En caso de no existir un organismo de calificación, el organismo de certificación asume sus funciones.

- Ser independientes e imparciales.
- Llevar un sistema documentado de gestión de calidad aprobado por el organismo de certificación.
- Supervisar el manejo de las evaluaciones realizadas por los centros de examen, y que los equipos utilizados se encuentren en buen estado y calibrados.
- Mantener registros de calificación y exámenes acorde al organismo de certificación.

2.2.2.1.3. Centro de Examen

Debe trabajar bajo el control de un organismo de certificación o calificación.

- Tener un procedimiento de calidad evaluado y aprobado por el organismo de calificación autorizado.
- Disponer que se cuente con los recursos para la aplicación de exámenes y equipos en buen estado y debidamente calibrados.
- Disponer de un examinador autorizado por un organismo de certificación, que prepare los exámenes utilizando material autorizado.
- Mantener registros de calificación y exámenes acorde al organismo de certificación.

La localización del centro de exámenes puede situarse en las instalaciones del empleador, pero el organismo de certificación deberá tener un control constante con el personal autorizado por este.

2.2.2.1.4. Empleador

Responsable de dar a conocer el candidato al correspondiente organismo de certificación y calificación, declarando el nivel de educación, experiencia y agudeza visual de este.

- No participa directamente en el examen.
- Dar autorización escrita al personal para operar y emitir el certificado de competencias.

2.2.2.1.5. Candidato

Sean empleados autónomos o se encuentren desempleados.

- Presentar documentación probatoria de haber realizado un curso de formación y adquisición de experiencia.
- Presentar exámenes de agudeza visual.
- Regirse al código de ética del organismo de certificación.

2.2.2.1.6. Personal de Nivel I

Responsabilidades similares a los citados en la práctica recomendada, sección 2.1.1.2.

2.2.2.2. Requisitos generales

Los requisitos de entrenamiento y experiencia recomendados para que una persona sea certificada en Nivel I en el método de ultrasonido son:

- Mínimo 40 horas de entrenamiento.
- Mínimo 3 meses de experiencia industrial (40 horas a la semana).
- Examen de agudeza visual, se aplica el estándar Jaeger 1, a la distancia de 30 cm (aplicado anualmente).

Estas horas pueden reducirse hasta un 50%, dependiendo del nivel de educación del aspirante a certificarse.

2.2.2.3. Examinación

El organismo de certificación será el responsable de definir la duración del examen, basándose en el número de preguntas y su dificultad.

- **Examen general:** Principios básicos del método aplicable, opción múltiple de mínimo 40 preguntas, con un mínimo de aprobación del 70%.
- **Examen específico:** Normas, especificaciones, códigos, cálculos y procedimientos del método de END, opción múltiple de mínimo 20 preguntas, con un mínimo de aprobación del 70%.
- **Examen práctico:** Capacidad de reportar los resultados obtenidos mediante la inspección de probetas en el formato correspondiente, con un mínimo de aprobación del 70% en cada probeta asignada para el examen de evaluación práctica.

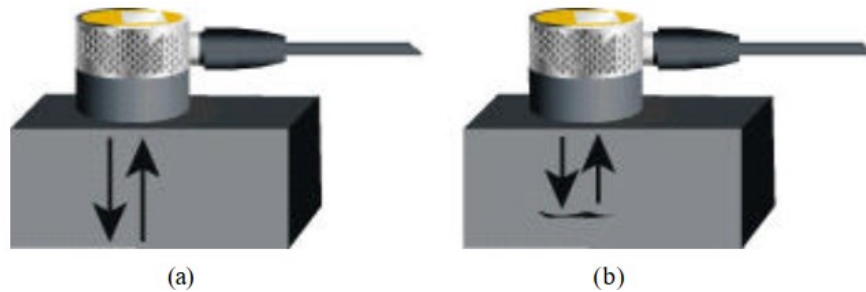
2.3. Método de Ultrasonido

Es utilizada en la ingeniería, principalmente como método de END, que tiene diversas aplicaciones en la industria hoy en día, una de ellas es conocer el interior de un material mediante la propagación de ondas sonoras, las cuales se requiere conocer su comportamiento en la pieza a ser inspeccionada, para así identificar posibles discontinuidades internas que conlleven a fallas catastróficas del material. Estas discontinuidades son de tipo volumétricas y pueden caracterizarse de acuerdo con su forma, tamaño, orientación, debido a se reflejan.

Los equipos de Ultrasonido utilizan instrumentos para transmitir ondas en ciertos intervalos de frecuencia, para la detección de los diferentes tipos de defectos.

Figura 1

a) La pieza no presenta defectos en su estructura. b) Presencia de defectos internos en un material.



Nota: Ensayo de ultrasonido al encontrar una discontinuidad en la pieza de prueba. Recuperado de (Santos De La Cruz et al., 2014).

2.3.1. Ondas sonoras

Definida como una vibración mecánica o como una perturbación de las partículas de un punto fijo en un medio a una misma frecuencia que una onda generada inicialmente. Este tipo de onda se propaga por medios elásticos (sólido, líquido o gaseoso). El sonido se transmite a través de las partículas del medio, debido a que estas reaccionan a la energía generada por esta onda, mas no se trasladan (Castillo & Inostroza, 2013).

2.3.1.1. Ondas Longitudinales

El movimiento que tiende a tomar las particulares que se encuentran en el medio es paralela a la dirección de propagación de la onda.

2.3.1.2. Ondas Transversales

El movimiento que tiende a tomar las particulares que se encuentran en el medio es perpendicular a la dirección de propagación de la onda. Su propagación es únicamente por medios sólidos.

2.3.1.3. Ondas de Superficie

Es un caso especial de onda transversal, debido a que su único medio de propagación es la superficie de un sólido.

2.3.2. Descomposición de Ondas Ultrasónicas

2.3.2.1. Reflexión

Parte de la energía de las ondas incidentes sobre una superficie elástica, diferente al medio en donde se propagaba, se verán reflejadas por esa superficie formando un ángulo con la normal de la superficie, el cual será el mismo que el formado por la onda incidente.

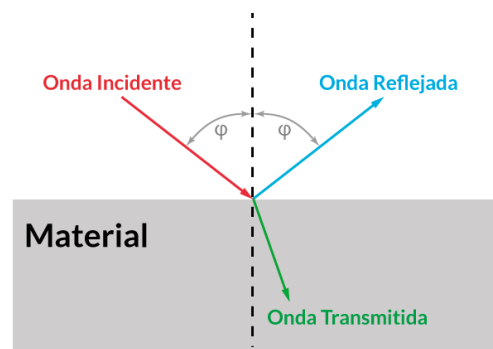
Por ejemplo, cuando el haz de ultrasonido se encuentra con una discontinuidad en el material y choca con esta, parte de la energía emitida se reflejará y el transductor será capaz de captarla y representarla en la pantalla de un equipo.

2.3.2.2. Refracción

La energía restante de la onda incidente penetra en el segundo medio, pero en una dirección distinta a esta, esto ocurre debido al cambio de velocidad que sufre la onda al pasar de un medio acústico a otro. El fenómeno se hace presente únicamente cuando la onda incide en el otro medio de forma oblicua. Los modos de conversión consisten en la transformación de la onda sonora longitudinal a un modo transversal, al momento que se refracta en el material.

Figura 2

Reflexión y refracción de ondas.



Nota: Representación de la reflexión y refracción de una onda incidentes sobre un material.

Recuperado de (Martínez, 2018).

2.3.3. Parámetros físicos del sonido

2.3.3.1. Velocidad

La velocidad del sonido está estrechamente relacionada con el módulo de elasticidad del medio, la densidad del material, el módulo de Poisson y su grado de homogeneidad, entonces la velocidad de la onda dependerá de las propiedades del material por donde se está propagando. (Santos De La Cruz et al., 2014).

2.3.3.2. Atenuación

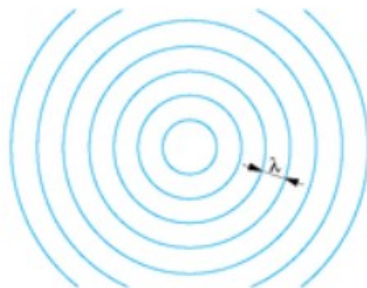
La atenuación de las ondas sonoras ocurre cuando las ondas propagadas desde su punto de origen van decreciendo su amplitud de onda conforme se van alejando de dicho punto, por consiguiente, las ondas van debilitándose, pero su longitud de onda y frecuencia no se ven afectadas, debido a que estos parámetros dependen del foco emisor.

En el caso de las ondas sonoras que atraviesan un material, estas se atenúan debido a la absorción y a la dispersión de estas, que ocurren en las fronteras de grano del material y será proporcional a la longitud de onda aplicada y al volumen del grano.

El amortiguamiento será el principal causante de la atenuación de la onda.

Figura 3

Propagación de ondas.



Nota: Representación de la longitud de onda a medida que se propagan en un medio.

Recuperado de (Casadevall, 2017).

2.3.3.3. Dispersión

El efecto de dispersión se produce dependiendo del tipo de material en el que inciden las ondas, esto depende de la estructura del material, orientación de las fibras, tamaño de sus partículas, porosidades y discontinuidades, la detección estas últimas son de especial interés para el END de ultrasonido. (Santos De La Cruz et al., 2014).

2.3.3.4. Frecuencia

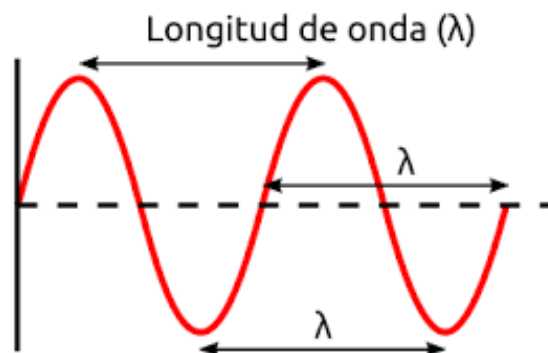
Se representa con la f , es una unidad de medida, expresada en Hertz (Hz), que cuantifica el número de repeticiones de una onda periódica, en una unidad de tiempo, a mayor frecuencia, menor longitud de onda, es decir que ambos parámetros guardan una relación inversamente proporcional.

2.3.3.5. Longitud de onda

Se representa con un λ y se define como la distancia entre dos planos en los cuales las partículas del medio se encuentran en un mismo estado vibratorio.

Figura 4

Longitud de Onda.



Nota: Longitud de una onda simple de sonido. Recuperado de (Mundo Microscopio, 2014).

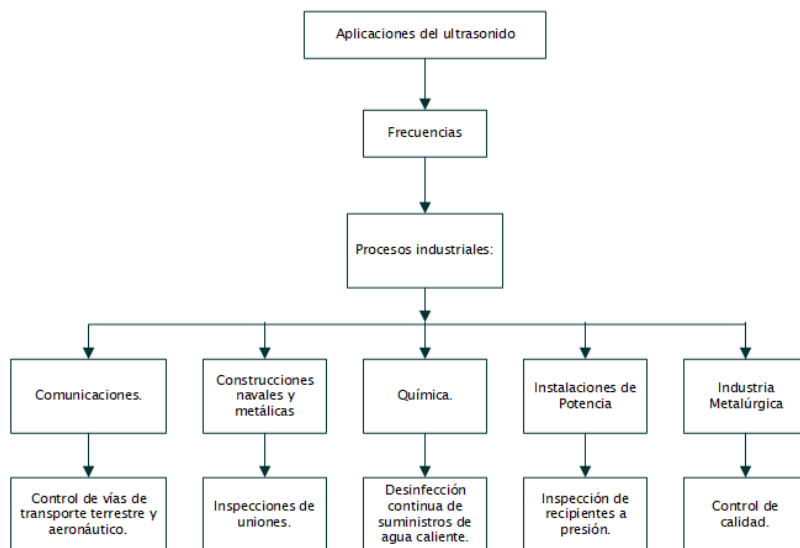
2.3.4. Aplicaciones de la Energía Ultrasónica

Se puede distinguir a las ondas ultrasónicas de forma que operan en el rango de frecuencias mayor a 20 KHz. Existe una amplia gama de aplicaciones según el rango de frecuencia específico.

- Frecuencias de 30 KHz a 100 KHz: Comunicación, navegación, soldadura, química, mecánica.
- Frecuencias entre 100 KHz a 100 MHz: Control de calidad, metrología.

Figura 5

Aplicaciones de la energía ultrasónica.



Nota: Áreas de aplicación de la energía ultrasónica en la industria actual. Recuperado de (Gómez de León, 2009).

2.3.5. Técnicas del Método de Ultrasonido

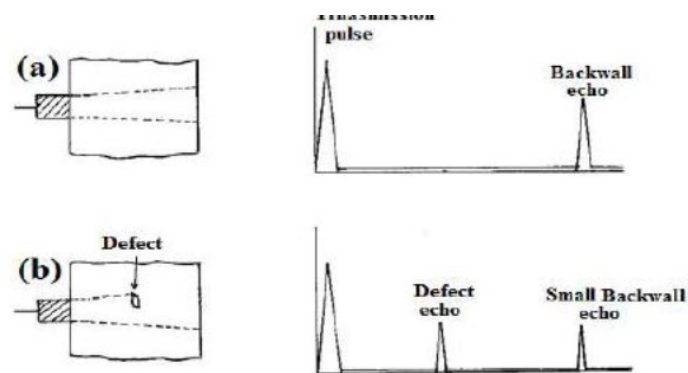
2.3.5.1. Técnica Pulso-Eco

Para la aplicación de la técnica Pulso-Eco, se hace uso de transductores de cristal simple que actúa como emisor y receptor, también de tipo cristal doble que trabajan independientemente actuando un cristal como emisor y otro como receptor.

Se envía una señal eléctrica en forma de pulsos de corta duración hacia el material piezoeléctrico, el cual transforma esta señal eléctrica en vibraciones mecánicas (haz ultrasónico), que son enviadas al material de prueba, con la finalidad de detectar discontinuidades en este. A medida que el haz ultrasónico emitido recorre el material, este podrá ser reflejado al encontrarse con un reflector (discontinuidad) produciendo ecos de respuesta que serán detectados, filtrados, amplificados y visualizados por el equipo.

Figura 6

Principio de inspección de la técnica pulso-eco a) Sin defectos. b) Defectos grandes.



Nota: Visualización de los picos en pantalla del equipo en la técnica Pulso/Eco, al no detectar una discontinuidad y al ser detectada. Recuperado de (IAEA, 2018).

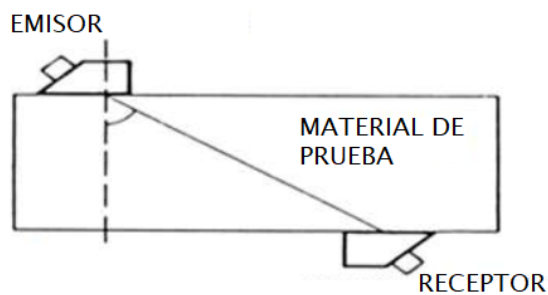
Las técnicas de inspección por Pulso/Eco se dividen en dos tipos por la disposición del palpador con el material a prueba: Contacto directo e Inmersión.

2.3.5.2. Técnica de Transmisión

La técnica utiliza 2 transductores, el primero actuará como el transmisor del haz ultrasónico a través del material, y el segundo transductor se ubica en la cara opuesta para medir la intensidad de energía con la que el haz llega.

Figura 7

Técnica de transmisión.

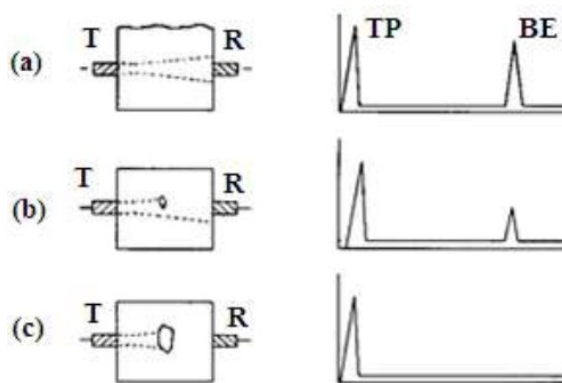


Nota: Esquema de aplicación de la técnica de transmisión, indicando la posición del transductor emisor, como del receptor. Recuperado de (IAEA, 2018).

La presencia de defectos internos, al contrario de las técnicas antes mencionadas, se visualizan con una reducción de la amplitud de la señal del eco, llegando incluso a perderse completamente en el caso de discontinuidades graves, como se ilustra en la Figura 8c.

Figura 8

Visualización de los defectos según su tamaño. a) Sin defectos. b) Pequeños defectos. c) Defectos grandes



Nota: Visualización de los picos en pantalla del equipo en la técnica de transmisión, al no detectar una discontinuidad y al ser detectada. Recuperado de (IAEA, 2018).

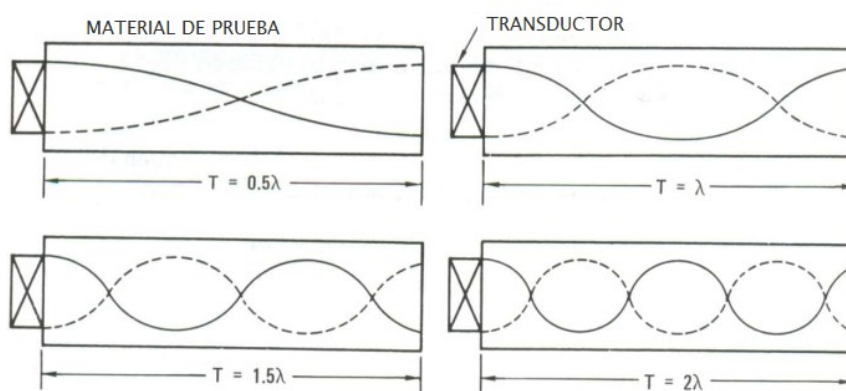
Esta técnica se puede aplicar en la inspección de lingotes de gran tamaño y piezas fundidas, esto debido a que se la atenuación se vuelve muy alta. No proporciona información sobre la ubicación y el tamaño del defecto.

2.3.5.3. Técnica de Resonancia

Esta técnica se aplica para piezas con caras paralelas, su principio se basa en generar resonancia en el material de prueba, por medio de la variación de frecuencias de la onda sonora que se emite desde el palpador hacia el material (ondas longitudinales). Con este fin, se requiere que la semi longitud de la onda sea equivalente a la mitad del espesor del material o un múltiplo de ella, lo que producirá el fenómeno de resonancia.

Figura 9

Resonancia de las ondas inducidas para un espesor dado.



Nota: Longitud de onda inducida según el espesor del material de prueba, para que este alcance su frecuencia natural. Recuperado de (IAEA, 2018).

Se puede calcular la frecuencia natural del material con determinado espesor, mediante la ecuación (1), dado el caso donde se encuentre libre de discontinuidades.

$$f_r = \frac{C}{2 \times t} \quad (1)$$

Donde:

f_r : Frecuencia de resonancia del material.

C : Velocidad longitudinal del sonido a través del material.

t : Espesor de la muestra.

Al alcanzar la resonancia, en el equipo se presentará un pico agudo, pero esta dejará de tener efecto al encontrarse con una discontinuidad al paso de la onda, por lo tanto, se modifica la frecuencia natural de resonancia y se pierde la señal detectada. Se debe regular una nueva frecuencia a la que el material vuelva a entrar en resonancia, a partir de esto se puede estimar la profundidad de la discontinuidad con la ecuación (2).

$$d = \frac{C}{2 \times f_{r_0}} \quad (2)$$

Donde:

f_{r_0} : Frecuencia de resonancia respecto al defecto detectado.

C : Velocidad longitudinal del sonido a través del material.

d : Profundidad de la discontinuidad.

Tiempo atrás, la técnica de resonancia se aplicaba para la medición de espesores en placas delgadas y tubos de revestimiento de reactores nucleares. Ya en la actualidad, dada la evolución en la tecnología de los transductores, esta técnica ha sido reemplazada por la técnica de pulso-eco.

2.4. Características Físicas del EPOCH 1000I SERIES

El EPOCH 1000i Series pertenece a un grupo de equipos portátiles para END por ultrasonido que sirven para detectar defectos en soldaduras, tubos y muchos otros materiales estructurales e industriales. Cuenta con una gran variedad de palpadores convencionales o phased array son compatibles con este equipo para su uso al interior o al exterior. Estos equipos ofrecen prestaciones ultrasónicas excelentes y la creación de imágenes phased array de base.

Además, están dotados de una interfaz gráfica intuitiva, un gran rango dinámico, una gran resolución de medida y una pantalla transreflectiva de cristal líquido VGA (640 x 480 píxeles) color para una mejor visibilidad. (Olympus, 2009).

Figura 10

Olympus EPOCH 1000i Series.



Nota: Equipo de ultrasonido Olympus EPOCH 1000i Series para la detección de fallas.

Recuperado de (Olympus, 2009).

2.5. Modelo de Evaluación de Capacitación/Formación de Kirkpatrick

El modelo de Kirk Patrick permite evaluar la efectividad de los programas de formación y capacitación de varias organizaciones, se caracteriza por tener cuatro niveles:

2.5.1. Reacción

El propósito es evaluar la reacción a la formación recibida como material de apoyo, instructores, instalaciones, etc. Se evalúa mediante encuestas de satisfacción realizadas a los participantes a la finalización del programa de capacitación. Si el resultado de los instrumentos de evaluación cuantitativos utilizados como la encuesta son favorables, se estima que la capacitación fue eficaz.

2.5.2. Aprendizaje

Se establecen objetivos específicos para evaluar el aprendizaje obtenido de la capacitación. Se hace énfasis en la asimilación de los contenidos, el desarrollo de habilidades y actitudes del participante que obtienen en el transcurso del programa de capacitación. Los recursos por utilizar son pruebas antes, durante y al culminar la capacitación.

2.5.3. Conducta

El nivel de conducta se caracteriza por la transferencia del aprendizaje en su puesto de trabajo. Se realiza un seguimiento de 2 o 3 meses para evaluar el comportamiento del participante en la organización o lugar donde aplique los contenidos del programa de capacitación. Se ocupan índices de desempeño.

2.5.4. Impacto

Es el nivel con mayor de dificultad de medir, debido a su extenso periodo requerido para generar una evaluación correcta acerca de todos los individuos que participaron en la capacitación. Se mide el grado de influencia del entrenamiento en la organización a la que pertenece o labora. Por lo que se evalúan aumentos de producción, costos es decir se provee resultados operacionales.

Los niveles para evaluar la efectividad del evento: “Propuesta del curso de formación para la certificación de personal Nivel I en el Método de Ultrasonido Industrial mediante el uso del equipo Olympus EPOCH 1000i Series”, serán la reacción y aprendizaje, debido a que los otros niveles: conducta e impacto se analizan con respecto a los conocimientos y habilidades que apliquen en sus respectivos lugares de trabajo.

Capítulo III

Diseño de Plan de Formación en Ultrasonido

3.1. IAEA-TECDOC-628/REV. 3

El International Atomic Energy Agency (IAEA), con el fin de promover el uso de la tecnología en los END ha dispuesto un desarrollo en los materiales de formación como es el Training Guidelines IAEA-TECDOC-628/Rev. 3 para resolver las necesidades industriales de los países miembros que tienen cooperación técnica con ellos.

Desarrollada para dar una guía de formación teórica y práctica para solicitantes, organismos de capacitación, capacitadores y organismo de certificación. Este documento incluye los contenidos de cada nivel de certificación para cada método de END el cual debe adaptarse a las necesidades de formación e implementos disponibles. Las horas de formación asignadas para cada nivel están en concordancia con la Norma ISO 9712:2012. Esta es una guía de contenidos recomendados únicamente, no contiene información sobre procesos de examen y certificación, la cual está disponible en la ISO 9712:2012.

3.2. Análisis de La Guía Temática IAEA-TECDOC-628/REV. 3 del Nivel I

En la Tabla 1. se indican los contenidos detallados en el TECDOC, así como las horas de formación y entrenamiento recomendadas en el método de Ultrasonido para Nivel I, sumando un total de 40 horas.

Tabla 1

Horas de formación y entrenamiento para Nivel I en Ultrasonido.

| CAPÍTULO | TEMÁTICA | NÚMERO DE HORAS |
|----------|--|-----------------|
| 1. | Conocimientos generales | 4 |
| 2. | Terminología, principios físicos y fundamentos del ultrasonido | 8 |
| 3. | Técnicas de ensayo y sus limitaciones | 4 |
| 4. | Equipos y accesorios | 4 |

| | | |
|--------------|--|-----------|
| 5. | Calibración del sistema de ensayos | 8 |
| 6. | Aplicaciones específicas | 4 |
| 7. | Códigos, estándares, especificaciones y procedimientos | 4 |
| 8. | Registro y evaluación de resultados | 4 |
| TOTAL | | 40 |

Nota: Se especifican las horas de formación recomendadas por la IAEA TECDOC 628:2013.

Recuperado de (IAEA, 2018).

3.2.1. Conocimientos generales

Se hace un recorrido por la definición de que es un END, sus aplicaciones, descripción y campo de aplicación de los métodos de END más usuales, sus respectivas limitaciones y las responsabilidades del personal certificado de Nivel I, II y III.

En el campo de los materiales se incluye información sobre las propiedades de materiales metálicos y no metálicos, haciendo énfasis en materiales metálicos, discontinuidades, defectos por fabricación o servicio.

3.2.2. Terminología, Principios Físicos y Fundamentos del Ultrasonido

En primera instancia se proporciona una breve reseña histórica del método de ultrasonido, definición aplicaciones y posteriormente se profundiza en el principio básico del método como es el sonido, la propagación de las ondas mecánicas, sus propiedades físicas y leyes que las rigen. Finalmente, los transductores, que son, tipos, principios de funcionamiento y parámetros de estos.

3.2.3. Técnicas de Ensayo y sus Limitaciones

Las principales técnicas de ensayo por ultrasonido dirigidas para el Nivel I, que se desarrollarán de manera teórica son las siguientes:

- Técnica de Pulso-eco
- Técnica de transmisión
- Técnica de resonancia

Conviene hacer especial énfasis en la técnica de pulso-eco ya que será desarrollada de forma teórica y práctica durante la ejecución del proyecto, por último, se indagará en los métodos de acoplamiento.

3.2.4. Equipos y Accesorios

Los equipos a los que se hace referencia en esta sección son aquellos que tiene una representación de visualización como A-Scan, B-Scan y C-Scan, en cuanto a la medición de espesores se refiere a equipos analógicos y digitales. Para todos los equipos es necesario introducirse a los controles y funciones.

Para el Nivel I requerido es necesario el uso de un equipo con modo de representación A-Scan, en este caso el EPOCH 1000i Series, que se utilizará para la parte práctica en el reconocimiento de sus controles y funciones.

3.2.5. Calibración del Sistema de Ensayo

Para que el equipo de resultados confiables y cercanos a la realidad es necesario realizar un proceso de calibración a este, la guía dispone de ciertos métodos de calibración para Nivel I, siendo los principales la calibración para transductores de haz recto y angulares, en cada uno de ellos los parámetros fundamentales son:

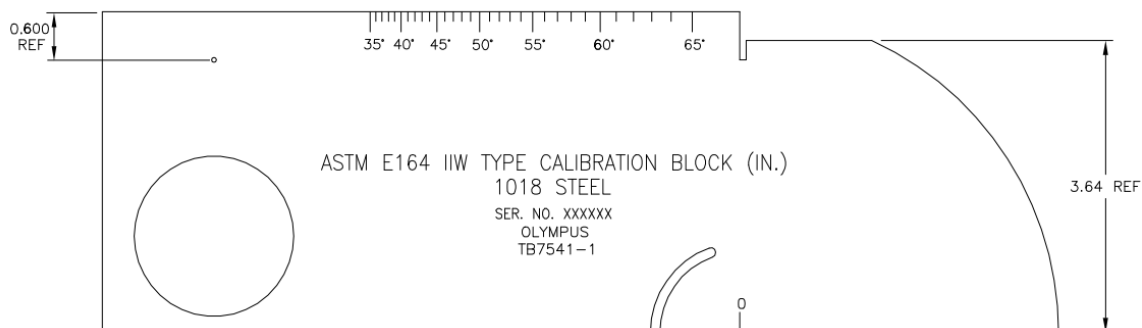
- Palpadores de haz recto
 - Espesores conocidos
- Palpadores de haz angular (Trayectoria acústica)
 - Ubicación del punto de incidencia
 - Verificación del ángulo de refracción
 - Calibración de la distancia
 - Calibración de sensibilidad
- Palpadores de haz angular (Profundidad)

- Reflectores a profundidades conocidas diferentes

Para este proyecto se usarán sensores monocristales de contacto y angulares, con los siguientes bloques de calibración:

Figura 11

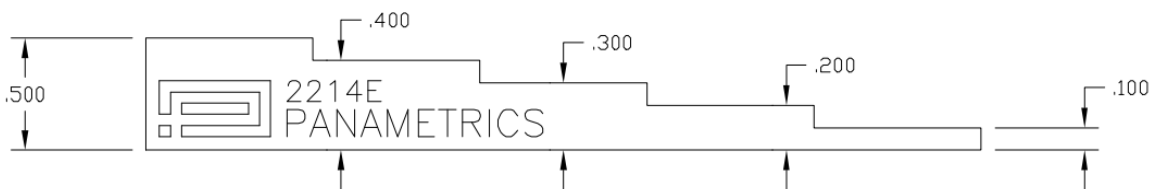
Bloque de calibración ASTM E164 IIW Tipo I.



Nota: Bloque utilizado para la calibración de un equipo de ultrasonido con transductor de haz angular. Recuperado de (Olympus, 2009).

Figura 12

Bloque de calibración de 5 niveles de espesor.



Nota: Bloque utilizado para la calibración de un equipo de ultrasonido con transductor de haz recto de simple o doble cristal. Recuperado de (Olympus, 2009).

Cada bloque de calibración antes mencionado se someterá a un proceso de verificación de sus dimensiones para garantizar que cumplan con las especificaciones requeridas y la confiabilidad del proceso de calibración.

Se debe comprobar los resultados de la calibración al comparar las velocidades de propagación entre los bloques de calibración y la pieza que es sometida a ensayo.

Como resultado final se desarrolla un procedimiento general de calibración para el equipo EPOCH 1000i para haz recto y haz angular.

3.2.6. Aplicaciones Específicas

Con fines prácticos se elaborarán probetas de entrenamiento con discontinuidades de soldadura inducidos previamente las cuales servirán como muestras de ensayos para detección de discontinuidades. Se menciona de forma teórica la detección de la corrosión, la influencia de la geometría del material a inspeccionar y la condición superficial de este.

3.2.7. Códigos, Estándares, Especificaciones y Procedimientos

Para una correcta aplicación del método de Ultrasonido es necesario el manejo de códigos, normas y ejecución de instrucciones escritas para la selección de parámetros, así como la suficiente capacidad de interpretación y registro de resultados. Finalmente, la preparación del reporte de resultados.

3.2.8. Registro y Evaluación de Resultados

Como conclusión de la parte práctica, se deben reportar los resultados obtenidos mediante el ensayo, identificando la posición de las discontinuidades, la amplitud de eco que genera la discontinuidad y la evaluación de este.

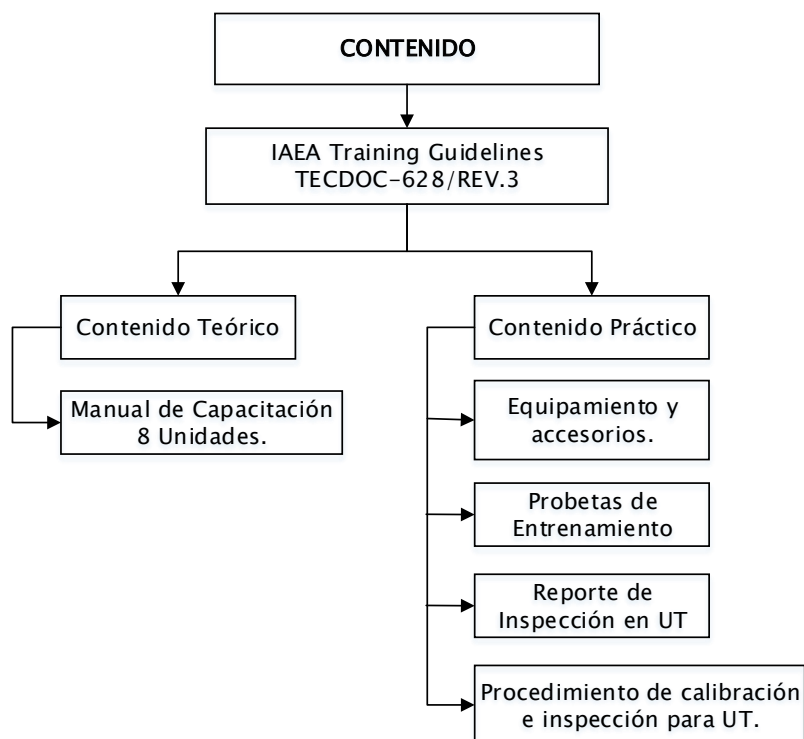
3.3. Protocolo de Aplicación del IAEA-TECDOC-628/REV. 3 para la Capacitación

3.3.1. Estructuración del Contenido

El programa de formación en el Método de Ultrasonido para personal de Nivel I en base a las temáticas del Training Guidelines IAEA-TECDOC-628/REV.3, sugiere 8 unidades (capítulos) para el programa de formación que consta de contenidos teóricos y prácticos, por lo tanto, se propone la siguiente estructura:

Figura 13

Estructuración del contenido.



3.3.1.1. Contenido Teórico

Se conforma el Manual de Capacitación con 8 unidades (capítulos), desarrollado conforme a los contenidos y lineamientos dispuestos por el documento Training Guidelines IAEA-TECDOC-628/REV.3, cada unidad cuenta con lo siguiente:

- N° de Unidad.
- N° de Horas.
- Objetivo General.
- Objetivo Específico.
- Contenidos.
- Ejercicios Prácticos.
- Ayudas Didácticas y Metodológicas.

- Resultados de Aprendizaje de la unidad.
- Evaluación.
- Materiales Didácticos y recursos.

3.3.1.2. Contenido Práctico

Para el desarrollo de la formación práctica se dispone del siguiente equipamiento y documentación:

3.3.1.2.1. Equipamiento y accesorios

- Equipo de ultrasonido convencional: EPOCH 1000i.
- Transductores de haz recto y haz angular.
- Zapatas: 45°, 60° y 70°.
- Bloques de calibración: ASTM E164 IIW Tipo 1 Serie: 08-61-09 y bloque de 5 niveles de espesor.

3.3.1.2.2. Probetas de Entrenamiento

La formación del personal Nivel I, requiere un proceso de instrucción práctica en el Método de Ultrasonido, se debe elaborar probetas de entrenamiento con la finalidad que el aspirante a Nivel I sea capaz de adquirir habilidad y conocimiento en la técnica pulso-eco con el manejo del equipamiento, accesorios, procedimientos, códigos y normas.

Con el propósito de elaborar las probetas de entrenamiento se seguirá los lineamientos recomendados de la Norma ISO 9712:2012 (Ensayos no Destructivos. Cualificación y Certificación del Personal que realiza Ensayos No Destructivos). Las recomendaciones que se pueden utilizar para dichas discontinuidades se proporcionan en la Norma CEN/TS 15053:2006 o ISO/TS 22809:2007. Las discontinuidades pueden ser de origen natural, artificial o implantadas.

En la Sección 8.2.3.3 de ISO 9712:2012 se especifica que para las probetas de examen práctico deben ser de conformidad con el sector cualificado o relacionado al sector que se está

formando el candidato a la certificación: simulaciones geometrías de campo, discontinuidades representativas que pueden producirse en fabricación o en servicio.

1) Recomendaciones de discontinuidades para probetas de entrenamiento

Se hace referencia a la Norma ISO/TS 22809:2007. Ensayos no destructivos: recomendaciones para tipos de discontinuidades en muestras de ensayo para examen que indica lo siguiente:

a) Tamaños mínimos de las Discontinuidades:

Para el método de Ultrasonido pueden ser discontinuidades planares y/o volumétricas con los siguientes tamaños:

I. Discontinuidad planar:

- Longitud: $\geq 5\text{mm}$.
- Extensión de la pared: $\geq 2\text{mm}$. (o 20% del espesor de pared, que sea menor)
- Discontinuidades que excedan la respuesta de un agujero de lateral de diámetro de 2mm.
- Discontinuidades que dan como resultado en $\geq 50\%$ de eco de la pared posterior.

II. Discontinuidad volumétrica:

- Reflectores laterales de 3mm de diámetro (tamaño mayor que el nivel de calibración).
- Discontinuidades naturales o artificiales $\geq 5\text{mm}$.

b) Discontinuidades para procesos de soldadura:

La forma, proceso de soldadura y tipo de discontinuidad se encuentra en la tabla B.1.-

Discontinuidades de Soldadura en ISO/TS 22809:2007:

Tipo de soldaduras: placas y/o tuberías.

Proceso de soldadura: Según Tabla 2.

Tabla 2*Discontinuidades de Soldadura – Tabla B.1.*

| Tipo de producto de soldadura: | Proceso de Soldadura | Discontinuidades Planares | | | Discontinuidades Volumétricas | | |
|--------------------------------|----------------------|---------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|------------------------|-----------------|
| | | Método | Superficie | Subsuperficial | Método | Superficie | Subsuperficial |
| Placas y Tubería | MIG (131) | UT | Fisuras (100) | Fisuras (100) | UT | Porosidad (200) | Porosidad (200) |
| | MAG (135) | | Falta de fusión (401) | Falta de fusión (401) | | Forma imperfecta (500) | |
| | TIG (141) | | Penetración Incompleta (402) | Penetración Incompleta (402) | | | |
| | MMA (111) | | | | | | |
| | SAW (121) | | | | | | |

MIG (131): Soldeo por arco con alambre electrodo macizo y gas inerte; soldeo MIG.
MAG (135): Soldeo por arco con alambre tubular relleno de fundente y gas inerte; soldeo MIG.
TIG (141): Soldeo por arco con gas inerte y electrodo consumible macizo; soldeo TIG.
MMA (111): Soldeo por arco con electrodo revestido.
SAW (121): Soldeo por arco sumergido con alambre electrodo macizo.

Nota: La Tabla B.1. establece los tipos de discontinuidades que se espera encontrar en un cordón de soldadura ya sea planares o volumétricas. Recuperado de (ISO, 2007).

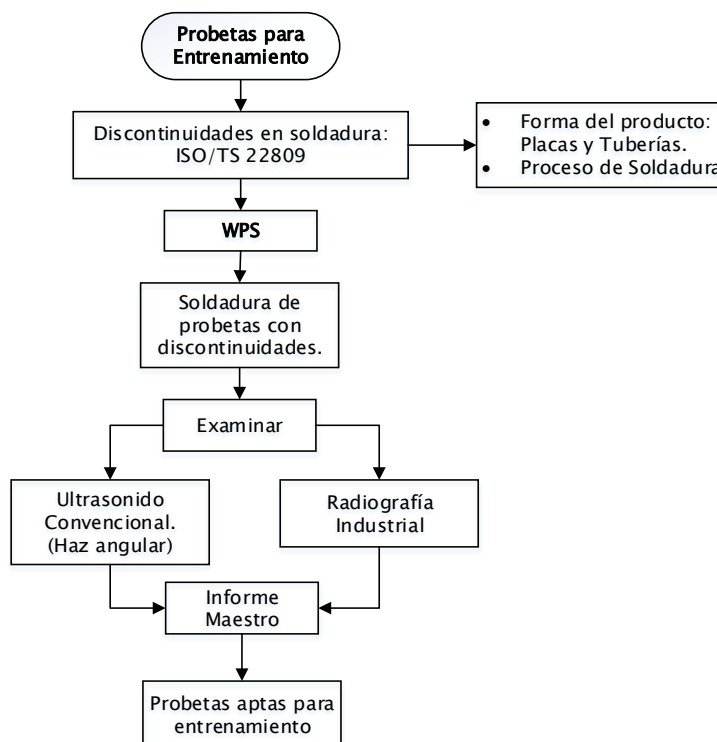
La sección 8.2.3.1 del Examen Práctico de ISO 9712:2012 indica que las probetas de formación no se utilizan por ningún motivo para el examen práctico. También en 8.2.3.2. se menciona que cada probeta debe ser identificada de forma única y contener un informe maestro donde deben incluirse todos los ajustes del equipo utilizados para detectar las discontinuidades, la marcación no debe influir en la realización de la inspección de la probeta con el método de END y debe estar oculto para el candidato al realizar la evaluación. Finalmente, el informe maestro de cada probeta debe elaborarse en base a dos informes independientes y ser validado por un personal certificado en Nivel III en el método de END, los informes independientes deben ser resguardados por la entidad certificadora. (AENOR, 2012).

2) Desarrollo de probetas de entrenamiento:

Se elabora las probetas de entrenamiento mediante la siguiente secuencia:

Figura 14

Proceso de elaboración de las probetas de entrenamiento.



1. La formación está direccionada al sector de soldadura de producción: placas y tubería.
2. Elaborar la Especificación del Procedimiento de Soldadura (WPS):

a) PLACAS:

Se hace el uso de un Procedimiento de Soldadura Precalificada bajo código AWS

D1.1:2020, para el proceso de Soldadura por (SMAW) para la soldadura de las placas, donde en los WPS se detallan:

Nota: Procedimiento Precalificado (No requiere pruebas de ensayos mecánicos y no restrictivos).

I. Proceso SMAW

Es un proceso de soldadura comúnmente utilizado en el sector de productos soldados, el objetivo para el desarrollo de este proyecto es generar el mayor número de discontinuidades en las probetas de entrenamiento siendo este proceso apto.

En el proceso SMAW se pueden obtener discontinuidades durante la fabricación tales como: fisuras, falta de fusión, penetración incompleta, inclusiones, porosidades y mordeduras; algunos de los factores que se pueden hacer uso para generar las discontinuidades son:

- Falta de fusión: Intensidad de corrientes elevadas, bajo aportes de calor y posición inadecuada del material de aporte.
- Porosidad: Uso incorrecto de la técnica de soldadura, uso de consumibles en mal estado.
- Fisuras: Material de aporte húmedos o almacenados de forma incorrecta y enfriamiento rápido.
- Penetración incompleta: Velocidades de avance altos, intensidades de corriente altas.
- Diseños de la junta: a tope con preparación de bisel en V y X dependiendo el espesor.
- Posición: Plana (1G).
- Especificación del Material Base: ASTM A36 / ASTM A572 Grado 50

El material base es seleccionado debido a la disponibilidad en la Industria Ecuatoriana, por ende, es utilizado comúnmente en la fabricación de estructuras metálicas. Para aplicar la técnica de ultrasonido convencional es necesario cumplir con un espesor mínimo de 8mm, por lo tanto, el diseño de las juntas cuenta con los siguientes espesores:

- ASTM A36: 12 y 18mm
- ASTM A572 Gr.50: 26mm.

Las probetas de entrenamiento para el Método de Ultrasonido al ser juntas soldadas de diferentes espesores permiten una variedad de aplicaciones, para que el aspirante adquiriera mayor práctica en el cálculo de áreas de barrido en los materiales inspeccionar y selección de parámetros en el equipamiento utilizando la técnica de pulso eco: Haz angular.

II. Diseño de la Junta:

Espesores de material base para las juntas a tope:

- Con ranura u y bisel en X: 18 y 26 mm.
- Apertura de Raíz: 3mm
- Ángulo de la Ranura: 60°
- Documento: WPS-ESPE-ENDP-01/WPS-ESPE-ENDP-04

Se realizan:

- 3 juntas a tope con bisel en X con un espesor de 18mm.
- 1 junta a tope con bisel en X con espesor de 26mm.
- Con ranura bisel en V: espesor 12mm.
- Apertura de Raíz: 3mm.
- Ángulo de la Ranura: 60°

Se realiza:

- 1 junta a tope con bisel en X con espesor de 12mm.
- Documento: WPS-ESPE-ENDP-02

III. Material de Aporte: AWS A5.1: E7018-1

Recomendado por sus características de bajo contenido de hidrógeno y gran capacidad de penetración, diseñado para aplicaciones críticas fuera de posición, permite realizar cordones con buena apariencia y en todas las posiciones (Lincoln Electric, s.f.). El diámetro del material de aporte es de 1/8 in.

Se adjunta en los anexos los WPS precalificados para las Juntas a tope con preparación de bisel en V y X para las placas soldadas.

b) TUBERÍAS:

Para la elaboración de las probetas de entrenamiento se limita a tuberías de proceso debido a que son utilizados en la industria como refinerías de petróleo, plantas químicas, papeleras y farmacéuticas.

Se utiliza el **Código ASME B31.3:2020 Tuberías de Proceso**. Establece en la **sección 328.2.1** Requisitos de Calificación de los Procedimientos a ser utilizados y del desempeño de los soldadores y operadores estará en conformidad con el **Código de Calderas y recipientes a Presión ASME BPVC (2019) Sección IX** (ASME, 2018).

Para la fabricación de la soldadura en tuberías, se elabora el Procedimiento de Soldadura (WPS) bajo Código de Calderas y recipientes a Presión **ASME BPVX Sección IX (2019)**: Estándar para la Calificación de Procedimientos de Soldaduras, Soldadura de Uniones fuertes, Fusión; soldadores para soldadura y soldadores de soldadura fuerte; operadores de soldadura, de soldadura fuerte y de fusión.

De igual forma no se realiza una **Calificación del Procedimiento de Soldadura (PQR)** debido a que son probetas de entrenamiento no se requiere garantizar las propiedades mecánicas de las juntas soldadas. (No se considera necesario la calificación del procedimiento debido a que las probetas tienen carácter educativo de formación para el área de Ensayos No Destructivos diferente a los requerimientos del área de soldadura)

En el WPS se detalla la siguiente información:

I. Proceso: GTAW -SMAW

La combinación de procesos de soldadura GTAW-SMAW se utilizan comúnmente en la construcción de tuberías para línea de acero al carbono.

El proceso de soldadura por arco con tungsteno y gas inerte (GTAW), por su versatilidad y limpieza, se puede aplicar en varias posiciones para placas y tuberías de distinto espesor. Para

la elaboración de las probetas de entrenamiento se utiliza el argón como gas protector y corriente continua con electrodo negativo, lo que permite una gran estabilidad del arco y buen aporte de calor en las juntas a soldar.

Con el proceso GTAW se pueden obtener discontinuidades tales como: excesos de penetración, penetración incompleta, mordeduras, fisuras e inclusiones de tungsteno. Las causas que intervienen para generar las discontinuidades que se desea obtener principalmente son:

- Porosidad: Intensidades de corriente y voltaje elevados, debido a esto ocurre una solidificación rápida las bolsas de gas quedan atrapadas en el cordón de soldadura y bajo caudal del gas de protección.
- Inclusiones de Tungsteno: Deficiente preparación de la punta del electrodo de tungsteno y falta de limpieza.
- Fisuras: Por realizar enfriamientos de manera brusca.
- Diseños de la junta: a tope con ranura en V
- Posición: 6G
- Material Base: ASTM A106 Gr. B

La selección del material base se debe a la disponibilidad en la Industria Ecuatoriana, es usado en la fabricación de líneas con tuberías para aplicaciones en petróleo, agua y gas.

Para aplicar la técnica de ultrasonido convencional es necesario cumplir con un espesor mínimo de 8mm, por lo tanto, las tuberías tienen las siguientes dimensiones:

- Diámetro y espesor nominal: (101.6 mm) 4" con t=8.5mm.
- Diámetro y espesor nominal: (127.4 mm) 5" con t=9.5mm

Para el Método de Ultrasonido, las tuberías soldadas para el entrenamiento contienen juntas con diferentes espesores lo que permite al aspirante adquirir mayor práctica en el cálculo

de áreas de barrido para inspeccionar y selección de parámetros en el equipamiento utilizando la técnica de pulso eco: Haz angular.

- Diseño de la Junta:
- Espesores de material base para las juntas a tope:
- Con ranura en V: 12mm.
- Apertura de Raíz: 4 mm.
- Ángulo de la junta: 60°,

Se realiza:

- 1 junta a tope en V con $\varnothing=4$ [in]
- 1 junta a tope en V con $\varnothing=5$ [in]
- Documento: WPS-ESPE-ENDP-03 El WPS Califica para las dos juntas de diámetros de 4[in] y 5 [in].

Proceso de soldadura y material de aporte:

Tabla 3

Proceso de Soldadura utilizada para las probetas de entrenamiento.

| Número de Capas | Proceso de Soldadura | Material de Aporte | Diámetro [mm] |
|-----------------|----------------------|--------------------|---------------|
| 1 | GTAW | ER70S-6 | 2.4 |
| 2 | GTAW | ER70S-6 | 2.4 |
| 3 | SMAW | E7018-1 | 3 |
| 4 | SMAW | E7018-1 | 3 |

c) Soldadura de probetas con discontinuidades.

Se aplica el correspondiente WPS para la soldadura de las placas y tuberías, se modifican las variables de soldadura como: voltajes e intensidades de corriente, se agregan materiales como cobre y tungsteno, enfriamiento brusco se coloca agua y se utiliza materiales de aporte con humedad.

d) Examinación de las probetas de entrenamiento.

Se somete las probetas de entrenamiento a otras técnicas de Métodos No Destructivos, estos deben ser informes de empresas independientes a la organización de la Universidad de las Fuerzas Armadas -ESPE, los métodos a utilizar son de tipo volumétricos.

I. Ultrasonido Convencional (Haz Angular)

Se adjunta el informe de la empresa independiente 1:

Código del informe: ESPE-UT-20210628-01

II. Radiografía Industrial

Se adjunta el informe de la empresa independiente 2:

Código del informe:

Tabla 4

Códigos de informe interdependiente 2 RT.

| Descripción | Código del Documento |
|--|-----------------------------|
| Probetas de entrenamiento (Juntas en X – Espesor de 18 mm). | INN-RP-RT-PS-079 |
| Probetas de entrenamiento (Juntas en X – Espesor de 26 mm). | INN-RP-RT-PS-080 |
| Probetas de entrenamiento (Junta en V – Espesor de 18 mm). | INN-RP-RT-PS-081 |
| Probeta tubular de entrenamiento (Juntas en X – Diámetro de 4 in). | INN-RP-RT-PS-082 |
| Probeta tubular de entrenamiento (Juntas en X – Diámetro de 5 in). | INN-RP-RT-PS-083 |

e) Realización del informe maestro.

Los dos informes independientes deben ser conservados, en base a dichos documentos, se realiza el informe maestro de cada una de las probetas de entrenamiento y las secciones con su respectiva información:

I. Portada

- Nombre y logotipo de la Institución: Universidad de las Fuerzas Armadas -ESPE.

- Código de Formato.
- Nombre del Organismo
- Ubicación.
- Fecha de elaboración.
- Revisión
- Proyectistas.
- Código de Documento del Procedimiento de Inspección y Calibración en UT.
- Detalle: Tipo de Junta y código de la probeta.
- Método de END realizado.
- Firmas de todos los responsables del proyecto.

II. Datos Técnicos.

- Datos de la Probeta de Entrenamiento: N° de probeta, proceso de soldadura, Código/Estándar, WPS, Soldador, dimensiones, tipo de material y END.

Tabla 5.

Identificación de las probetas de entrenamiento.

| PROBETAS DE ENTRENAMIENTO | |
|---------------------------|---------|
| Placas | Tubería |
| UT01-18X | PIPE01 |
| UT02-18X | PIPE02 |
| UT03-18X | |
| UT04-26X | |
| UT05-12V | |

- Identificación del Equipamiento: Equipo: marca, modelo; rango y unidades utilizadas.
- Características del bloque de calibración: Método que realiza, documento de referencia de calibración, serie, patrón de calibración, temperatura y planos.
- Características del transductor: Tipo de transductor, dimensiones, frecuencia, ángulo de zapata, marca y serie utilizados.

- Configuración para equipamiento: Energía, ganancia, velocidad, filtro, forma de onda, Zero, PRF, rango y rectificación utilizados.
- Configuración de prueba: Técnica de END realizada, condición superficial, espesor de la probeta de entrenamiento.
- Esquema de la junta.

III. Criterios de Evaluación de las probetas de entrenamiento.

- Placas: AWS D1.1. (2020).
- Tuberías: ASME B31.3 (2018).

IV. Plan de escaneo.

Cálculos del área de barrido.

V. Resultados Obtenidos.

Resultados de las discontinuidades:

- **Técnica de ultrasonido haz angular se tienen los siguientes datos:** clasificación, forma, tamaño de discontinuidad, distancia superficial, camino sónico, amplitudes de referencia y evaluación: aceptable o rechazado.
- **Método de radiografía industrial se tienen los siguientes datos:** clasificación, forma, tamaño de discontinuidad, posición respecto el inicio de la soldadura, aceptable o rechazado.

VI. Anexos

Planos de las probetas de entrenamiento con las ubicaciones de las discontinuidades inducidas en base a los informes independientes para UT y RT.

VII. Resultado final.

Se detalla la aptitud de probeta para entrenamiento bajo los criterios de aceptación del código y requerimientos de la normativa correspondiente establecida como parte del procedimiento

VIII. Firmas de Responsabilidad del proyecto.

3.3.1.2.3. *Reporte de Inspección en el Método de Ultrasonido*

Se adjunta el reporte de inspección con código de documento: UT-ESPE-ENDP-01

3.3.1.2.4. *Procedimiento de Calibración e Inspección para el Método de Ultrasonido.*

Se elabora la verificación de las medidas de los bloques de calibración para el equipo de ultrasonido en el Laboratorio de Metrología de la Universidad de las Fuerzas Armadas, los resultados se encuentran anexos identificados con base a los reportes: LM-ESPE-ENDP-01.

1) Descripción del Proceso de Verificación de Medidas

En el laboratorio de metrología de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE se realiza la verificación de medidas de los patrones de calibración en conformidad con la normativa vigente. Esto con el objetivo de asegurar la confiabilidad del procedimiento de calibración y de las medidas obtenidas en los ensayos posteriores.

a) Verificación del Bloque de Calibración de 5 Niveles de Espesor

I. Instrumentos y Herramientas

Equipo de medición de coordenadas con apreciación de 0.0001 mm.

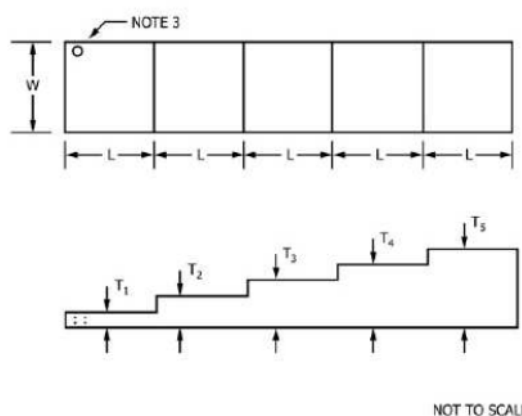
II. Procedimiento

Se realiza la medición de los 5 niveles del bloque de calibración y se comparan las medidas obtenidas con las presentes en la norma ASTM E797-15; Standard Practice for Measuring Thickness by manual Ultrasonic Pulse-Echo Contact Method, Figura 1.

En la Tabla 6. se determina la aceptación o rechazo del bloque de calibración de 5 niveles de espesor, en base a las medidas obtenidas, con referencia en la Figura 15.

Figura 15.

Criterios de aceptación según ASTM E797-15.



NOT TO SCALE

| TABLE OF DIMENSIONS | | | | | | |
|---------------------------|-----------|-----------|---------------------|-----------|---------------------|-----------|
| U.S. Customary Block, in. | | | Metric Block 5A, mm | | Metric Block 5B, mm | |
| Legend | Dimension | Tolerance | Dimension | Tolerance | Dimension | Tolerance |
| T ₁ | 0.100 | 0.001 | 2.50 | 0.02 | 2.00 | 0.02 |
| T ₂ | 0.200 | 0.001 | 5.00 | 0.02 | 4.00 | 0.02 |
| T ₃ | 0.300 | 0.001 | 7.50 | 0.02 | 6.00 | 0.02 |
| T ₄ | 0.400 | 0.001 | 10.00 | 0.02 | 8.00 | 0.02 |
| T ₅ | 0.500 | 0.001 | 12.50 | 0.02 | 10.00 | 0.02 |
| L | 0.75 | 0.02 | 20.0 | 0.5 | 20.00 | 0.5 |
| W | 0.75 | 0.05 | 20.0 | 1.0 | 20.00 | 1.0 |

Nota: Especifica las medidas de cada nivel del bloque de calibración en el sistema inglés como el S.I., además de las tolerancias admisibles. Recuperado de (ASTM, 2015).

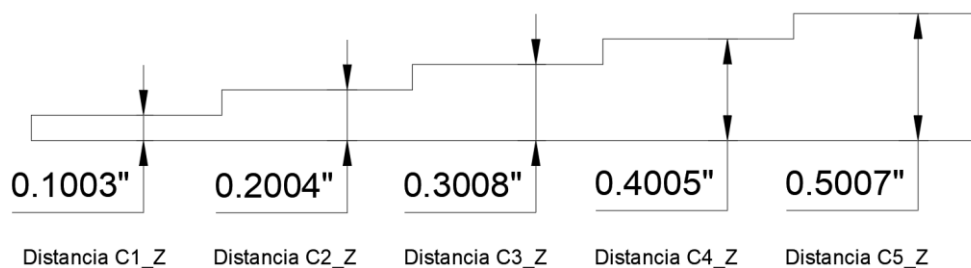
Tabla 6

Tabulación de resultados de la verificación de medidas del bloque de calibración de 5 niveles de espesor.

| BLOQUE DE CALIBRACIÓN DE 5 NIVELES DE ESPESOR | | | | | | | | |
|---|-------------|--------|----------------|------|------------|--------|-----------------|------------|
| Distancia | Medida Real | | Medida Nominal | | Diferencia | | Tolerancia [in] | Aceptación |
| | [mm] | [in] | [mm] | [in] | [mm] | [in] | | |
| C1_Z | 2.5467 | 0.1003 | 2.54 | 0.1 | 0.0067 | 0.0003 | 0.001 | Aceptado |
| C2_Z | 5.0893 | 0.2004 | 5.08 | 0.2 | 0.0093 | 0.0004 | 0.001 | Aceptado |
| C3_Z | 7.6408 | 0.3008 | 7.62 | 0.3 | 0.0208 | 0.0008 | 0.001 | Aceptado |
| C4_Z | 10.1722 | 0.4005 | 10.16 | 0.4 | 0.0122 | 0.0005 | 0.001 | Aceptado |
| C5_Z | 12.7174 | 0.5007 | 12.70 | 0.5 | 0.0174 | 0.0007 | 0.001 | Aceptado |

Figura 16

Medidas tomadas del bloque de calibración de 5 niveles de espesor.



Adjunta el procedimiento de Inspección que incluye la calibración del equipamiento

identificado con código de documento: VM-ESPE-ENDP-01

b) Verificación del Bloque ASTM E164 IIW Tipo I

I. Instrumentos y Herramientas

Equipo de medición de coordenadas con apreciación de 0.0001 mm.

Microscopio de herramientas.

Galgas cilíndricas.

II. Procedimiento

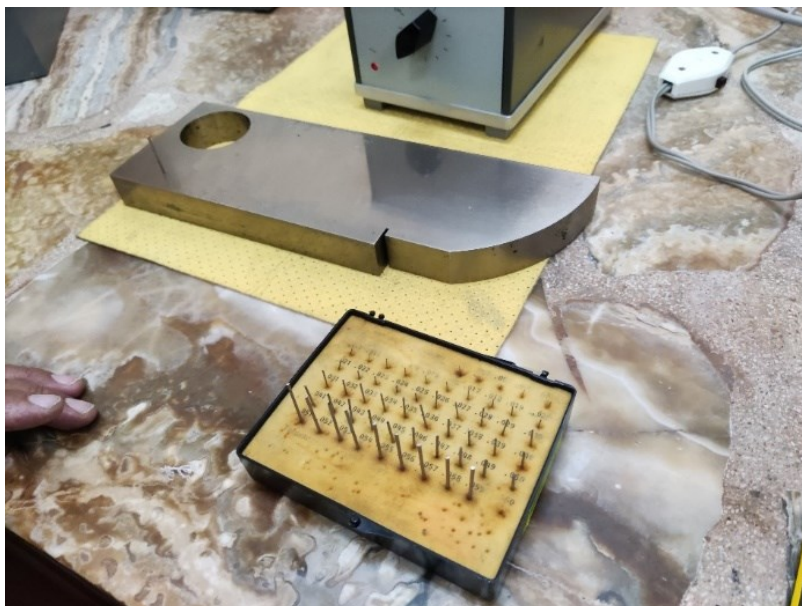
Se realiza la verificación de las siguientes medidas del bloque de calibración IIW Tipo I

Serie: 08-61-09 mediante el equipo de medición de coordenadas para la verificación de reflectores de gran tamaño, el microscopio de herramientas para la verificación del reflector de 0.06" de diámetro. Adicionalmente se verifica el diámetro de este reflector mediante el uso de galgas cilíndricas.

Se usa la galga de 0.06" para verificar el reflector de 0.06" de diámetro del bloque de calibración IIW Tipo 1 Serie: 08-61-09, Figura 17.

Figura 17

Verificación del reflector de 0.06" con galgas cilíndricas.



Se realiza el montaje del bloque IIW Tipo I Serie: 08-61-09 en el microscopio de herramientas para la verificación del diámetro y profundidad del reflector de 0.06".

Tabla 7.

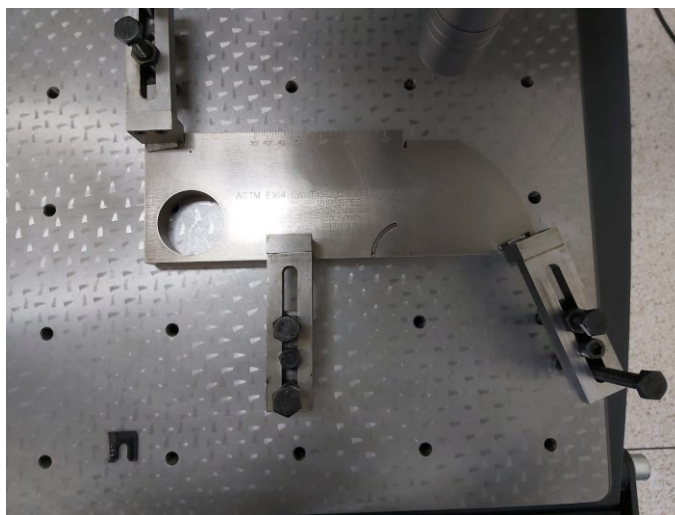
Tabulación de resultados de la verificación de medidas del bloque IIW Tipo I.

| ASTM E164 IIW TIPO I | | | | | | | | |
|----------------------|-------------|--------|----------------|------|------------|--------|------------|------------|
| Distancia | Medida Real | | Medida Nominal | | Diferencia | | Tolerancia | Aceptación |
| | [mm] | [in] | [mm] | [in] | [mm] | [in] | [in] | |
| Diámetro | 1.5443 | 0.0608 | 1.52 | 0.06 | 0.0203 | 0.0008 | 0.001 | Aceptado |
| Profundidad | 15.215 | 0.5990 | 15.24 | 0.6 | 0.0254 | 0.0010 | 0.005 | Aceptado |

Posteriormente se realizan las mediciones pertinentes con la máquina de medición de coordenadas Figura 18, donde se obtendrán las siguientes medidas.

Figura 18.

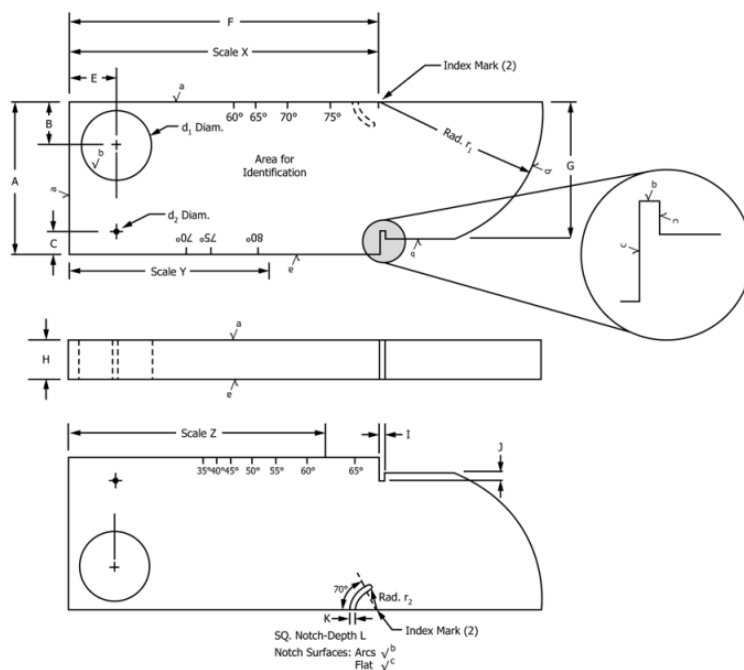
Bloque IIW Tipo I montado en el equipo de medición de coordenadas del laboratorio de metrología.



Las medidas obtenidas serán comparadas con las medidas de fabricación establecidas en la norma ASTM E164-13; Standard Practice for Contact Ultrasonic Testing of Weldments.

Figura 19

Criterios de aceptación según ASTM E164-13.



| Table of Dimensions | | | | |
|---------------------|----------------------|-----------------|----------------|----------------|
| Symbol | U.S. Customary Block | | Metric Block | |
| | Dimension (in.) | Tolerance (in.) | Dimension (mm) | Tolerance (mm) |
| A | 4.000 | 0.005 | 100 | 0.1 |
| B | 1.200 | 0.005 | 30 | 0.1 |
| C | 0.600 | 0.005 | 15 | 0.1 |
| d ₁ | 2.000 | 0.01 | 50 | 0.2 |
| d ₂ | 0.060 | 0.001 | 1.5 | 0.02 |
| E | 1.400 | 0.005 | 35 | 0.1 |
| F | 8.000 | 0.005 | 200 | 0.1 |
| G | 3.640 | 0.005 | 91 | 0.1 |
| H | 1.000 | 0.005 | 25 | 0.1 |
| I | 0.080 | 0.005 | 2 | 0.1 |
| J | 0.240 | 0.005 | 6 | 0.1 |
| K | 0.120 | 0.005 | 3 | 0.1 |
| L | 0.060 | 0.005 | 1.5 | 0.1 |
| r ₁ | 4.000 | 0.01 | 100 | 0.2 |
| r ₂ | 1.000 | 0.01 | 25 | 0.2 |

Nota: Especifica las medidas de cada nivel del bloque de calibración en el sistema inglés como el S.I., además de las tolerancias admisibles. Recuperado de (ASTM, 2015).

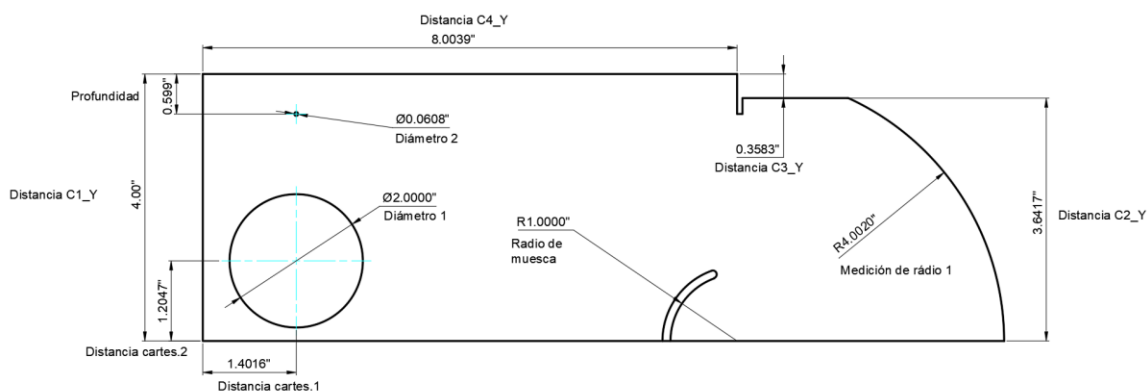
Tabla 8

Tabulación de resultados de la verificación de medidas del bloque de calibración medidas del bloque IIW Tipo I.

| ASTM E164 IIW TIPO I | | | | | | | | |
|----------------------|-------------|--------|----------------|------|------------|--------|------------|------------|
| Distancia | Medida Real | | Medida Nominal | | Diferencia | | Tolerancia | Aceptación |
| | [mm] | [in] | [mm] | [in] | [mm] | [in] | [in] | |
| C1_Y | 101.6 | 4.0000 | 101.60 | 4 | 0 | 0.0000 | 0.01 | Aceptado |
| C2_Y | 92.5 | 3.6417 | 92.46 | 3.64 | 0.044 | 0.0017 | 0.005 | Aceptado |
| C3_Y | 9.1 | 0.3583 | 9.14 | 0.36 | 0.044 | 0.0017 | 0.005 | Aceptado |
| Medición de radio 1 | 101.65 | 4.0020 | 101.60 | 4 | 0.05 | 0.0020 | 0.01 | Aceptado |
| Diámetro 1 | 50.8 | 2.0000 | 50.80 | 2 | 0 | 0.0000 | 0.01 | Aceptado |
| Diámetro 2 | 203.3 | 8.0039 | 203.20 | 8 | 0.1 | 0.0039 | 0.005 | Aceptado |
| Distancia cartes.1 | 35.6 | 1.4016 | 35.56 | 1.4 | 0.04 | 0.0016 | 0.005 | Aceptado |
| Distancia cartes.2 | 30.6 | 1.2047 | 30.48 | 1.2 | 0.12 | 0.0047 | 0.005 | Aceptado |
| Radio de muesca | 25.4000 | 1.0000 | 25.4 | 1 | 0.0000 | 0.0000 | 0.01 | Aceptado |

Figura 20

Medidas tomadas del bloque de calibración de 5 niveles de espesor.



El procedimiento de Verificación de Medidas del bloque de calibración ASTM E164 IIW Tipo I realizado por el Laboratorio de Metrología el documento es identificado con código: VM-ESPE-ENDP-02

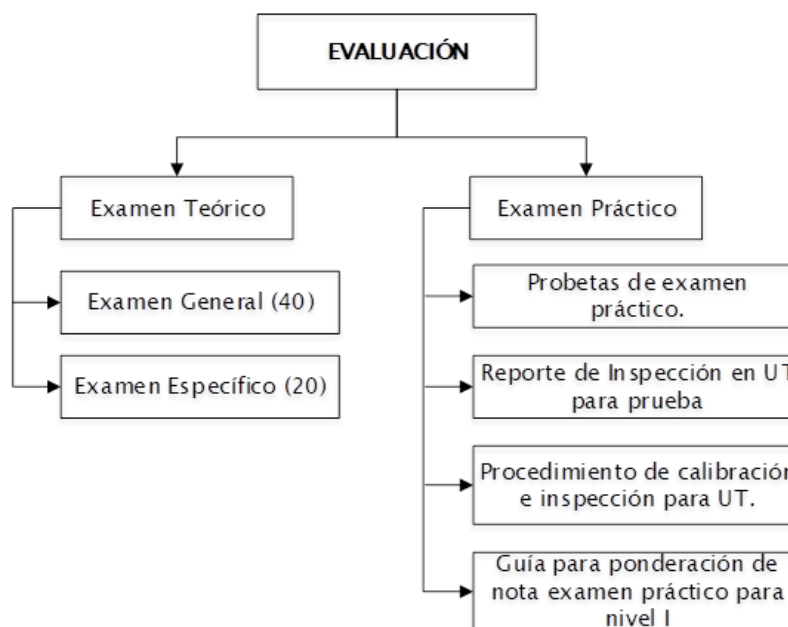
3.3.2. Estructuración de la Evaluación

Los lineamientos para las evaluaciones teóricas y prácticas se realizan en conformidad a la Norma UNEN-ISO 9712:2012 Sección 8. Examen de cualificación, indica que se deben conformar tres exámenes: General, Específico y Práctico, siendo el organismo de certificación el encargado de la establecer los tiempos y número de preguntas de cada examen.

El alcance del proyecto se limita al desarrollo del programa de formación en el Método de Ultrasonido Nivel I, siendo la organización responsable la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, en tanto que, un agente externo independiente a la organización que desarrolla el programa de formación será el encargado de las evaluaciones y del número de preguntas y duración de los exámenes cumpliendo con los requerimientos mínimos establecidos en ISO 9712:2012. El desarrollo de las evaluaciones consta del siguiente esquema:

Figura 21

Esquema de desarrollo de las evaluaciones.



3.3.2.1. Examen Teórico

3.3.2.1.1. Examen General

Para el agente externo encargado de la evaluación general se considerará el siguiente requerimiento: la elaboración de un banco de preguntas para examen general es primordial se limita a un mínimo de 80 preguntas de selección múltiple y su contenido son conocimientos generales.

El número de preguntas mínimas para el examen general en UT es de 40, el Evaluador (Persona Externa Nivel III) escogerá al azar las preguntas de dicho banco de preguntas generales. La organización que desarrolle el programa de entrenamiento no puede tener acceso al banco de preguntas manteniendo la imparcialidad especificada en ISO 9712:2012. Los resultados de las evaluaciones serán entregados al organismo de entrenamiento. Los exámenes pueden ser en papel o en línea presenciales al culminar el programa de formación.

Duración: 1[hora]

Nota mínima: 70%

3.3.2.1.2. Examen Específico

Para el agente externo encargado de la evaluación específica se considerará el siguiente requerimiento: la elaboración de un banco de preguntas para examen específico es primordial se limita a un mínimo de 40 preguntas de selección múltiple, las preguntas contienen cálculos de ejercicios propuestos, procedimientos de los END, códigos, normas y especificaciones. El número de preguntas mínimas para el examen específico es de 20, el evaluador (Persona Externa Nivel III) escogerá al azar las preguntas de dicho banco de preguntas específicas relacionadas al sector de productos soldados. La organización que desarrolle el programa de entrenamiento no puede tener acceso al banco de preguntas manteniendo la imparcialidad especificada en ISO 9712:2012. Los resultados de las evaluaciones serán entregados al organismo de entrenamiento. Los exámenes pueden ser en papel o en línea presenciales al culminar el programa de formación.

Duración: 1[hora]

Nota mínima: 70%

3.3.2.2. Examen Práctico:

De igual forma Norma ISO 9712:2012 indica que las probetas del examen práctico deben tener discontinuidades reportables, identificación única, contener un informe maestro, para la aprobación del examen es necesario una nota mínima de 70% en cada probeta del examen práctico. El mínimo de probetas que el candidato debe examinar para el sector de productos soldados es de 2 probetas con una duración máxima de 2 horas. (TABLA B.1 DEL ANEXO DE NORMA ISO 9712:2012).

El aspirante a Nivel I al finalizar la formación debe demostrar su habilidad de calibrar y configurar el equipo de ultrasonido, verificar el parámetro de sensibilidad y registrar de forma

adecuada los datos obtenidos de la aplicación de la técnica de Ultrasonido Convencional. Los resultados del examen práctico serán registrados en el formato UT-ESPE-ENDP-02 y calificados bajo la Guía de Ponderación en el formato: GP-ESPE-ENDP-01.

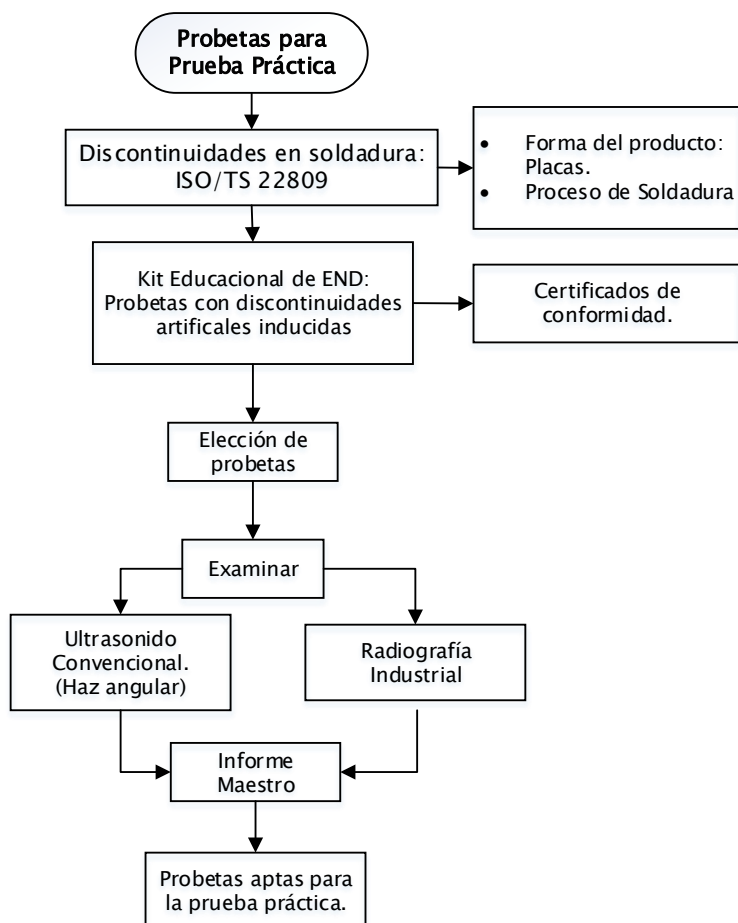
Las probetas para la evaluación práctica deben ser entregadas en igualdad de condición para todos los participantes.

3.3.2.2.1. *Probetas de Examen Práctico*

Alternativamente se han desarrollado probetas para el examen práctico con el desarrollo del esquema que se muestra a continuación cumpliendo con los requerimientos para la fabricación de las probetas de examen práctico de ISO 9712:2012.

Figura 22

Esquema del Proceso desarrollado para las probetas de examen práctico.



La formación está direccionada al sector de soldadura de producción y las probetas de evaluación práctica son placas.

Kit Educativo de END: Contiene probetas con diversas discontinuidades inducidas que poseen certificación del fabricante. Se escogen las placas con discontinuidades como: grietas, porosidad, falta de fusión y penetración incompleta.

Se codifican de la siguiente manera:

Tabla 9

Codificación de las probetas para examen práctico.

| PROBETAS DE EXAMEN PRÁCTICO |
|------------------------------------|
| Placas |
| UT02-KE |
| UT03-KE |
| UT06-KE |
| UT13-KE |

1) Examinar:

Se somete las probetas de examen práctico a otros Métodos de Ensayos No Destructivos, estos deben ser informes de empresas independientes a la organización de la Universidad de las Fuerzas Armadas -ESPE, los métodos a utilizar son de tipo volumétricas.

2) Ultrasonido Convencional (Haz Angular)

Se adjunta el informe de la empresa independiente: ESPE-UT-20210628-01

3) Radiografía Industrial

Se adjunta el informe de la empresa independiente:

Tabla 10

Códigos de informe independiente RT.

| Descripción | Código del Documento |
|------------------------------|-----------------------------|
| Probetas de examen práctico. | INN-RP-RT-084 |

4) Realización del informe maestro.

Los dos informes independientes deben ser conservados, en base a dichos documentos, se realiza el informe maestro de cada una de las probetas de examen práctico y las secciones con su respectiva información:

a) Portada

- Nombre y logotipo de la Institución: Universidad de las Fuerzas Armadas -ESPE.
- Código de Formato.
- Nombre del Organismo
- Ubicación.
- Fecha de elaboración.
- Revisión
- Proyectistas.
- Código de Documento del Procedimiento de Inspección y Calibración en UT.
- Detalle: Tipo de Junta y código de la probeta.
- Método de END realizado.
- Firmas de todos los responsables del proyecto.

b) Datos Técnicos.

- Datos de la Probeta de Examen Práctico: N° de probeta, proceso de soldadura, Código/Estándar, WPS, Soldador, dimensiones, tipo de material y END.

Tabla 11

Código de identificación de las probetas de examen práctico.

| PROBETAS DE EXAMEN PRÁCTICO |
|------------------------------------|
| Placas |
| UT02-KE |
| UT03-KE |
| UT06-KE |

UT13-KE

- Identificación del Equipamiento: Equipo: marca, modelo; rango y unidades utilizadas.
- Características del bloque de calibración: Método que realiza, documento de referencia de calibración, serie, patrón de calibración, temperatura y planos.
- Características del transductor: Tipo de transductor, dimensiones, frecuencia, ángulo de zapata, marca y serie utilizados.
- Configuración para equipamiento: Energía, ganancia, velocidad, filtro, forma de onda, Zero, PRF, rango y rectificación utilizados.
- Configuración de prueba: Técnica de END realizada, condición superficial, espesor de la probeta de entrenamiento.
- Esquema de la junta.
- Criterios de Evaluación de las probetas de entrenamiento.

Placas: AWS D1.1:2020.

c) Plan de escaneo.

Cálculos del área de barrido.

d) Resultados Obtenidos.

Resultados de las discontinuidades: clasificación, forma, tamaño de discontinuidad, distancia superficial, camino sónico, amplitudes de referencia y evaluación: aceptable o rechazado para Ultrasonido y Radiografía

e) Anexos

Planos de las probetas de examen práctico con las ubicaciones de las discontinuidades inducidas especificados en los informes independientes para UT y RT.

f) Resultado final.

Se detalla la aptitud de probeta para el examen práctico bajo los criterios de aceptación del código y requerimientos de la normativa correspondiente establecida como parte del procedimiento.

g) Firmas de Responsabilidad del proyecto.

3.3.2.2.2. Reporte de Inspección en el Método de Ultrasonido para Examen.

Se adjunta el modelo de reporte desarrollado para la evaluación práctica con código de documento: UT-ESPE-ENDP-01, a ser completado por el participante.

3.3.2.2.3. Procedimiento de calibración e inspección para el Método de Ultrasonido.

Se adjunta el procedimiento de Inspección y de calibración con código de documento: PIC-ESPE-ENDP-01, que debe ser entregado al participante.

3.3.2.2.4. Guía para ponderación de nota examen práctico para Nivel I.

Se adjunta la guía de ponderación de nota de examen práctico para Nivel I con código de documento: GP-ESPE-ENDP-01

3.4. Requisitos del Curso de Capacitación

3.4.1. Material didáctico

- Manual de capacitación: MC-ESPE-ENDP-01.
- Procedimiento de inspección y calibración PIC-ESPE-ENDP-01.
- Probetas de entrenamiento:

Probetas soldadas con su respectivo WPS, informes de entidades independientes con el método de UT y RT e informes maestros.
- Probetas de examen práctico

Probetas soldadas y certificadas por el fabricante SONASPECTION, con los respectivos informes de entidades independientes realizados con el método de UT y RT e informes maestros.

- Material de Apoyo: Diapositivas (DP-ESPE-ENDP-01)
Diapositivas que incluyen los contenidos extraídos del manual de capacitación que servirán de apoyo didáctico para impartir el curso.
- Videos o enlaces referentes a los temas desarrollados como parte de casos teóricos y prácticos.

3.4.2. Equipos y herramientas

- Equipo de detección de fallas: EPOCH 1000i Series.
- Transductor monocristal de contacto YUSHI de 5MHz y $\Phi 10$ (S11365).
- Transductor de haz angular Panametrics de 2.25MHz y $\Phi 0.25''$ (C542-SM).
- Zapatas: Angular de 45°, 60°, 70° (ABWM-4T).
- Calibrador digital INSIZE (1108-200) [0.0005"]
- Kit de entrenamiento para ultrasonido (SONASPECTION).

Se consideran varias probetas existentes:

- 1. Grieta en el talón (Toe Crack)
- 1C. Grieta en el talón (Toe Crack)
- 2. Agrietamiento de raíz (Root Crack)
- 5. Grieta en la línea central (Centerline Crack)
- 6. Porosidad (Porosity)
- 7. Inclusión de escoria (Slag Inclusion)
- 8. Falta de fusión de las paredes (Lack of sidewall fusion)

- 11. Penetración incompleta en la raíz Bisel Simple. (Incomplete root penetration S.V.)
- 13. Penetración incompleta en la raíz Bisel Doble (Incomplete root penetration D.V.)
- 14b. Laminación (Lamination)
- Bloques de calibración
 - ASTM E164 IIW tipo 1. Serie: 08-61-09
 - Bloque de calibración de 5 niveles de espesor (Sistema Americano).

3.4.3. Documentos Técnicos

- Formato para reporte de inspección:
 - UT-ESPE-ENDP-01
- Informes Maestros de especímenes de entrenamiento:
 - MRT-ESPE-ENDP-01
 - MRT-ESPE-ENDP-02
 - MRT-ESPE-ENDP-03
 - MRT-ESPE-ENDP-04
 - MRT-ESPE-ENDP-05
 - MRT-ESPE-ENDP-06
 - MRT-ESPE-ENDP-07
- Informes Maestros de especímenes del examen práctico:
 - MRE-ESPE-ENDP-01
 - MRE-ESPE-ENDP-02
 - MRE-ESPE-ENDP-03
 - MRE-ESPE-ENDP-04

- Normativas de referencia.
 - Código de soldadura estructural para acero AWS D1.1:2020.
 - Código para tuberías de procesos ASME B31.3:2018
 - Norma ISO/TS 22809:2007 – Discontinuidades en probetas para uso en pruebas de calificación.

3.4.4. Evaluaciones

Recomendaciones para modelos de exámenes.

- Examen General de 40 preguntas por parte del evaluador (tercera parte).
 - Banco de Preguntas de Examen General: BPG-ESPE-ENDP-01
 - Respuestas de Banco de Preguntas de Examen General: BPGR-ESPE-ENDP-01
 - Identificación para el Examen General: EG-ESPE-ENDP-01
 - Respuestas de Examen General: EGR-ESPE-ENDP-01
- Examen Específico de 20 preguntas por parte del evaluador de tercera parte.
 - Banco de Preguntas de Examen Específico: BPE-ESPE-ENDP-01
 - Respuestas de Banco de Preguntas Específico: BPER-ESPE-ENDP-01
 - Identificación para el Examen Específico: EE-ESPE-ENDP-01
 - Respuestas de Examen Específico: EER-ESPE-ENDP-01
- Examen Práctico
 - Formato de reporte de inspección para examen: UT-ESPE-ENDP-02.
 - Formato de guía de ponderación de examen práctico: GP-ESPE-ENDP-01.

3.4.5. Personal

3.4.5.1. Instructores para la formación.

Para propósitos de cubrir los requerimientos de esta formación, el curso de capacitación es impartido por los responsables del proyecto: Evelyn Naranjo y Dennys Peña.

3.4.5.2. Candidatos

Los candidatos para la formación requieren un conocimiento básico de física elemental, matemáticas básicas, magnitudes y unidades físicas. Además de una buena agudeza visual y no poseer impedimentos físicos para el desempeño de sus labores.

3.4.6. Modalidad del Curso de Capacitación

La formación para el método de ultrasonido en Nivel I requiere de contenidos teóricos y prácticos, por lo tanto, se proponen dos modalidades.

Primera modalidad: Presencial

- Teoría: Presencial
- Práctica: Presencial
- Examen general, específico y práctico: Presencial

La capacitación se limita al área asignada para el evento de capacitación, con un número de personas para la teoría y práctica.

Segunda Forma: Semipresencial

- Teoría: Virtual
- Práctica: Presencial
- Examen general y específico: Virtual o presencial.
- Examen práctico: Presencial

La capacitación se limita al área asignada para el evento de capacitación, con un número de personas para la teoría y práctica.

3.4.7. Plataformas

En caso de optar por la modalidad Semipresencial se recomienda el uso de plataformas virtuales para un manejo eficiente y ordenado de los datos recopilados como son; evaluaciones, asistencias, etc.

- **Google Classroom:**
Creación de un aula virtual, mediante la plataforma de Google Classroom, donde se incluirá a todos los participantes e instructores.
- **Formularios de Google**
Registro de participantes, registro de asistencias, encuestas de satisfacción.
- **Google Meets**
Las clases teóricas serán impartidas por la plataforma de Google Meets.

3.4.8. Instalaciones.

Instalaciones donde se va a impartir el curso de capacitación para personal aspirante a nivel I en el método de ultrasonido (Laboratorio de Ciencia de los Materiales de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE).

3.5. Alcance del Curso de Capacitación

Se elabora un manual de capacitación para personal de Nivel I en el método de Ultrasonido Nivel I, orientado a soldadura. El contenido teórico se basa en los lineamientos de la Guía Temática IAEA-TECDOC -628/Rev. 3., que especifica 8 unidades desarrolladas para que en conjunto cubran los requerimientos para el aprendizaje del contenido teórico y práctico de cada unidad, estrategias metodológicas, duración de la unidad y evaluaciones. Para la implementación del contenido práctico se hace uso de normativas, procedimientos y manuales. Las evaluaciones teórica y práctica son direccionadas únicamente para productos soldados.

3.6. Objetivos del Curso de Capacitación

- Elaborar el contenido teórico conforme a los lineamientos de la Guía Temática IAEA-TECDOC -628/Rev. 3.
- Elaborar la documentación requerida para las evaluaciones y entrenamiento para la capacitación del personal en Nivel I en conformidad con la Norma ISO 9712:2012.

- Alcanzar los resultados de aprendizaje establecidos para cada unidad del manual de capacitación.

3.7. Organización de la Capacitación

3.7.1. Administración del programa de capacitación

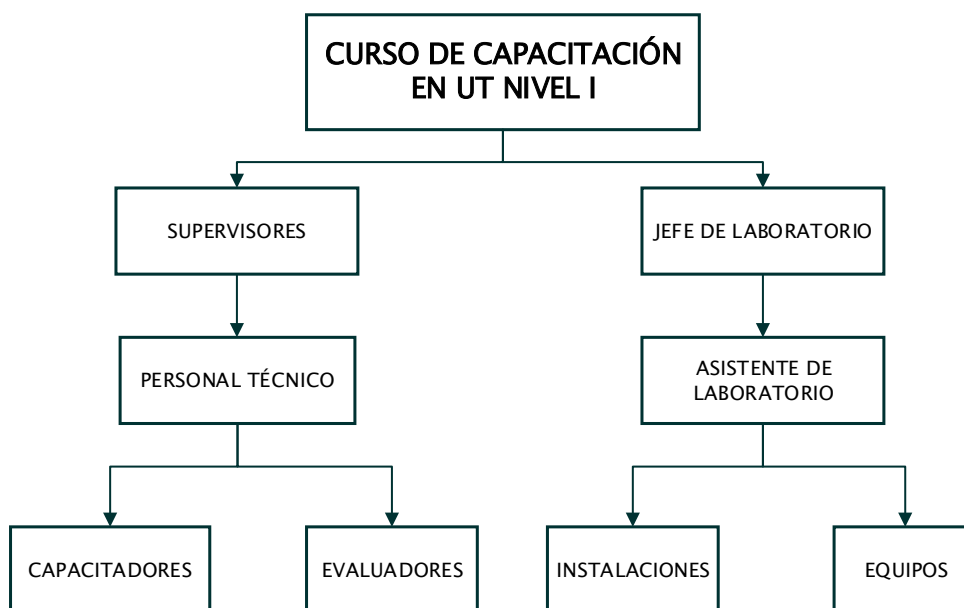
Para el centro de capacitación se ha desarrollado una estructura de administración que garantice una eficiente organización y manejo de equipos, personal técnico, logística y espacios físicos.

3.7.1.1. Estructura Recomendada de Administración para el Evento de Capacitación

Se pretende suplir las necesidades para la ejecución del curso de capacitación, analizando diferentes aspectos como los siguientes; representados en la Figura 23.

Figura 23

Estructura organizacional recomendada del curso de capacitación.



Cada nivel es analizado en concordancia con los recursos disponibles en la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE.

3.7.1.2. Responsabilidades del Personal para la Capacitación

Para cada uno de los niveles de la estructura organizacional presentada en la Figura 23. se detallan las siguientes responsabilidades y formación para cada cargo.

Tabla 12

Responsabilidades y nivel de formación del personal de capacitación.

| Cargo | Responsabilidades | Formación |
|-------------------------|--|--|
| Supervisores | <ul style="list-style-type: none"> - Evaluar el desempeño del personal técnico. - Gestionar horarios del personal técnico. - Revisar y aprobar los procedimientos. - Verificar que se cumplan los procedimientos de ejecución del método de END. | <ul style="list-style-type: none"> - Ingeniero/a mecánico/a. - Conocimientos en Soldadura y Ciencia de materiales. - Nivel II o Nivel III en END. |
| Capacitadores | <ul style="list-style-type: none"> - Preparar el material teórico y práctico a impartir. - Elaborar los procedimientos de aplicación del método en END y manejo del equipo. - Mantener actualizados los procedimientos. | <ul style="list-style-type: none"> - Experiencia básica en el método de ultrasonido. - Conocimientos previos en Soldadura y Ciencia de materiales. |
| Jefe de laboratorio | <ul style="list-style-type: none"> - Facilitar el acceso a las instalaciones del Laboratorio de END de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE - Aplicar los protocolos de bioseguridad. - Ejecutar acciones de mejora de ser necesarias. | <ul style="list-style-type: none"> - Ingeniero/a mecánico/a. - Conocimientos en END, Soldadura y Ciencia de materiales. - Título de 4to nivel |
| Ayudante de laboratorio | <ul style="list-style-type: none"> - Conservar los equipos e implementos en buen estado. - Llevar un registro de uso de laboratorio. - Mantener las instalaciones en orden. | <ul style="list-style-type: none"> - Ingeniero/a mecánico/a o mecatrónico/a. - Conocimientos en Soldadura y Ciencia de materiales. |
| Evaluadores | <ul style="list-style-type: none"> - Ejecutar las evaluaciones, general, específica y práctica a los aspirantes. - Manejar de forma confidencial el material de evaluación (teórico y práctico). - Verificar el cumplimiento de horas de capacitación del Nivel a alcanzar. - Notificar las calificaciones obtenidas a los aspirantes. | <ul style="list-style-type: none"> - Ingeniero/a mecánico/a. - Conocimientos en Soldadura y Ciencia de materiales. - Nivel III en END. |

3.8. Índice del Contenido de Manual de Capacitación



Contenidos del Manual de Capacitación

| UNIDAD N° | TEMA: | N° DE HORAS |
|--|---|-------------|
| 1 | Conocimientos Generales | 4 |
| CONTENIDOS: <ul style="list-style-type: none">1. Conocimientos Generales.<ul style="list-style-type: none">1.1. Ensayos No Destructivos en los Materiales.<ul style="list-style-type: none">1.1.1. Definiciones1.1.2. Características y Razones para Usar END.1.1.3. Secuencia para la aplicación de los END.1.1.4. Descripción y Campo de Aplicación de los END más comunes.1.1.5. Ventajas y Limitaciones en las Aplicaciones de los Ensayos No Destructivos.1.1.6. Responsabilidades del personal certificado como Nivel I, II y III.1.2. Materiales.<ul style="list-style-type: none">1.2.1. Propiedades de los Materiales (Metálicos y No Metálicos).1.2.2. Discontinuidades Inherentes, de Proceso y en Servicio. | | |
| 2 | Terminología, Principios Físicos y Fundamentos de los ultrasonidos. | 8 |
| CONTENIDOS: <ul style="list-style-type: none">2. Terminología, Principios Físicos y Fundamentos del Ultrasonido.<ul style="list-style-type: none">2.1. Conceptos generales.<ul style="list-style-type: none">2.1.1. Definición del ultrasonido.2.1.2. Historia del método de ultrasonido.2.1.3. Aplicaciones de la energía ultrasónica.2.1.4. Propiedades del sonido y propagación de ondas mecánicas.2.2. Conceptos Relacionados a la Frecuencia, Amplitud, Longitud de Onda y Velocidad de Propagación.<ul style="list-style-type: none">2.2.1. Frecuencia.2.2.2. Amplitud.2.2.3. Velocidad de propagación.2.2.4. Longitud de Onda.2.3. Impedancia Acústica.2.4. Influencia de los Tipos de Onda en la Técnica de Ensayo.<ul style="list-style-type: none">2.4.1. Ondas Longitudinales o de Compresión.2.4.2. Ondas Transversales o de Corte.2.4.3. Ondas Superficiales.2.4.4. Ondas de Lamb.2.5. Reflexión y Refracción.<ul style="list-style-type: none">2.5.1. Reflexión.2.5.2. Refracción y Modos de Conversión.2.5.3. Atenuación.2.5.4. Ley de Snell y Ángulos Críticos.2.6. Transferencia de la Onda Ultrasónica de un Medio a Otro.<ul style="list-style-type: none">2.6.1. Generación De Ondas Ultrasónicas.2.6.2. Perdidas Ultrasónicas en Diferentes Medios.2.7. Efecto Piezoeléctrico, Características y Tipos de Cristales, Constantes Piezoeléctricas.<ul style="list-style-type: none">2.7.1. Definición del Efecto Piezoeléctrico.2.7.2. Características de los Cristales.2.7.3. Tipos de cristales.2.7.4. Constantes Piezoeléctricas. | | |

- 2.8. Transductores Ultrasónicos.
 - 2.8.1. Tipos de Transductores.
 - 2.8.2. Sensibilidad, Resolución y Amortiguamiento.
- 2.9. Trayectoria Sónica; Campo Cercano, Campo Lejano; Divergencia de Haz.
 - 2.9.1. Campo Cercano (Zona de Fresnel)
 - 2.9.2. Campo Lejano (Zona de Fraunhofer).
 - 2.9.3. Divergencia del Haz.
 - 2.9.4. Lóbulos Laterales.
- 2.10. Influencia de la Velocidad del Sonido y Tamaño del Transductor.
- 2.11. Influencia de la Frecuencia y Diámetro del Transductor.
 - 2.11.1. Influencia de la Frecuencia del Transductor.
 - 2.11.2. Influencia del Diámetro del Transductor.

| | | |
|-----------------------|--|-------------------------|
| UNIDAD N° 3 | TEMA: Técnicas de ensayo y sus limitaciones. | N° DE HORAS 4 |
|-----------------------|--|-------------------------|

- CONTENIDOS:**
- 3. Técnicas de Ensayo y sus Limitaciones.
 - 3.1. Técnica Pulso-Eco (Impulsos).
 - 3.1.1. Por Contacto Directo.
 - 3.1.2. Por Inmersión.
 - 3.1.3. Transductor de Emisión y Recepción (Pitch-Catch).
 - 3.2. Técnica de Transmisión.
 - 3.3. Técnica de Resonancia.
 - 3.4. Métodos de Acoplamiento.
 - 3.5. Ensayos con Sistemas Automáticos y en Líneas de Producción.

| | | |
|-----------------------|---------------------------------------|-------------------------|
| UNIDAD N° 4 | TEMA: Equipos y accesorios. | N° DE HORAS 4 |
|-----------------------|---------------------------------------|-------------------------|

- CONTENIDOS:**
- 4. Equipamiento y Accesorios.
 - 4.1. Descripción del Equipo Básico de Ensayo con Representación de la Información en Modo A-Scan.
 - 4.2. B-Scan, C-Scan y Sistemas Computarizados.
 - 4.2.1. Modo de Representación B-Scan.
 - 4.2.2. Modo de Representación C-Scan.
 - 4.2.3. Sistemas Computarizados.
 - 4.3. Equipos Analógicos y Digitales para la Medición de Espesores.
 - 4.3.1. Equipos Analógicos.
 - 4.3.2. Equipos Digitales.
 - 4.4. Controles y Funciones.
 - 4.4.1. Funciones.
 - 4.4.2. Uso de la Pantalla.
 - 4.4.3. Grabadores.
 - 4.4.4. Alarmas de Puertas.
 - 4.4.5. Corrección Electrónica de Distancia/Amplitud.
 - 4.4.6. Transductores – Estructura, Tipos de Cristales, Frecuencia (Relación Espesor/Cristal).
 - 4.4.7. Dispersión del Haz.
 - 4.4.8. Sensibilidad, Resolución y Amortiguamiento.
 - 4.4.9. Acoplantes.

| | | |
|-----------------------|--|-------------------------|
| UNIDAD N° 5 | TEMA: Calibración del sistema de ensayo. | N° DE HORAS 8 |
|-----------------------|--|-------------------------|

- CONTENIDOS:**
- 5. Calibración del Sistema de Ensayo.
 - 5.1. Definición de Calibración.
 - 5.2. Requisitos de Calibración y Reflectores.
 - 5.3. Requisitos de Bloques de Calibración.

- 5.3.1. Bloque de Calibración de 5 Niveles de Espesor.
- 5.3.2. Bloque de Calibración IIW Tipo 1.
- 5.3.3. Bloque Miniatura de Calibración de Haz Angular.
- 5.3.4. Bloque NAVSHIPS.
- 5.3.5. Bloque de Calibración ASME.
- 5.3.6. Bloque de Calibración ASME para Tuberías.
- 5.4. Requisitos de los Reflectores.
 - 5.4.1. Reflectores de Fondo Plano (FBH).
 - 5.4.2. Reflector Lateral Perforado (SDH).
- 5.5. Efectos Variables y Precisión de la Transmisión.
 - 5.5.1. Frecuencia.
 - 5.5.2. Impedancia Acústica.
 - 5.5.3. Ángulos de Incidencia.
 - 5.5.4. Ángulos Críticos.
- 5.6. Calibración de la Distancia para Transductores de Simple y Doble Cristal (Emisor/Receptor)
 - 5.6.1. Calibración de Transductor de Cristal Simple.
 - 5.6.2. Calibración de Transductor de Cristal Doble.
- 5.7. Transductores Angulares.
 - 5.7.1. Calibración del Camino Sónico (Distancia, Ángulo).
 - 5.7.2. Distancia Proyectada, Variables P/E, Factores de Transmisión.
 - 5.7.3. Distancia Proyectada Acortada.
 - 5.7.4. Calibración por Haz Angular con el Equipo EPOCH 1000i.
- 5.8. Comprobación de la Calibración: Diferencias de la Velocidad de Propagación Entre el Bloque de Calibración y la Pieza de Prueba, Comparación con los Bloques de Referencia.
 - 5.8.1. Diferencia en la Velocidad de Propagación entre el Bloque de Calibración y la Pieza de Prueba.
 - 5.8.2. Diferencia en la Velocidad de Propagación entre el Bloque de Calibración una Pieza de Prueba.
 - 5.8.3. Comparación con los Bloques de Referencia.
- 5.9. Calibración de la Inspección.
 - 5.9.1. Ajuste de Sensibilidad por la Técnica de Reflector Simple
 - 5.9.2. Relación Señal-Ruido.
 - 5.9.3. Zona Muerta.
 - 5.9.4. Poder de Resolución.

| UNIDAD N° | TEMA: | N° DE HORAS |
|-----------|--------------------------|-------------|
| 6 | Aplicaciones específicas | 4 |

| CONTENIDOS: | | |
|-------------|---|--|
| 6. | Aplicaciones Específicas. | |
| 6.1. | Inspección de Probetas de Geometrías Simples. | |
| 6.1.1. | Examinación de Laminas. | |
| 6.1.2. | Examinación de Palanquillas. | |
| 6.1.3. | Examinación de Piezas Fundidas. | |
| 6.2. | Medición de Espesores. | |
| 6.2.1. | Influencia del Tipo de Material. | |
| 6.2.2. | Influencia de la Condición Superficial. | |
| 6.3. | Influencia de la Geometría y Estructura. | |
| 6.4. | Detección de Corrosión. | |

| UNIDAD N° | TEMA: | N° DE HORAS |
|-----------|---|-------------|
| 7 | Códigos, Estándares, Especificaciones y Procedimientos. | 1 |

| CONTENIDOS: | | |
|-------------|--|--|
| 7. | Códigos, Estándares, Especificaciones y Procedimientos. | |
| 7.1. | Conocimientos Generales. | |
| 7.2. | Códigos y Estándares. | |
| 7.2.1. | Estructura de las Normas y Estándares de Inspección por ultrasonido. | |
| 7.2.2. | Normas ASTM (American Society for Testing and Materials). | |

- 7.2.3. Código ASME (American Society of Mechanical Engineers).
- 7.2.4. Normas API (American Petroleum Institute).
- 7.2.5. Normas AWS (American Welding Society).
- 7.3. Realización de la Inspección Según las Instrucciones Escritas, Selección de Parámetros.
 - 7.3.1. Objetivos.
 - 7.3.2. Alcance.
 - 7.3.3. Responsabilidades.
 - 7.3.4. Detalles Técnicos.
 - 7.3.5. Procedimiento de Calibración.
 - 7.3.6. Procedimiento de Inspección.
- 7.4. Registro de Resultados.
 - 7.4.1. Resultados Según AWS D1.1.
 - 7.4.2. Resultados Según ASME BPVC Sec. V.
- 7.5. Preparación de los Reportes de Inspección.

| UNIDAD N° | TEMA: | N° DE HORAS |
|-----------|-------------------------------------|-------------|
| 8 | Registro y Evaluación de Resultados | 4 |

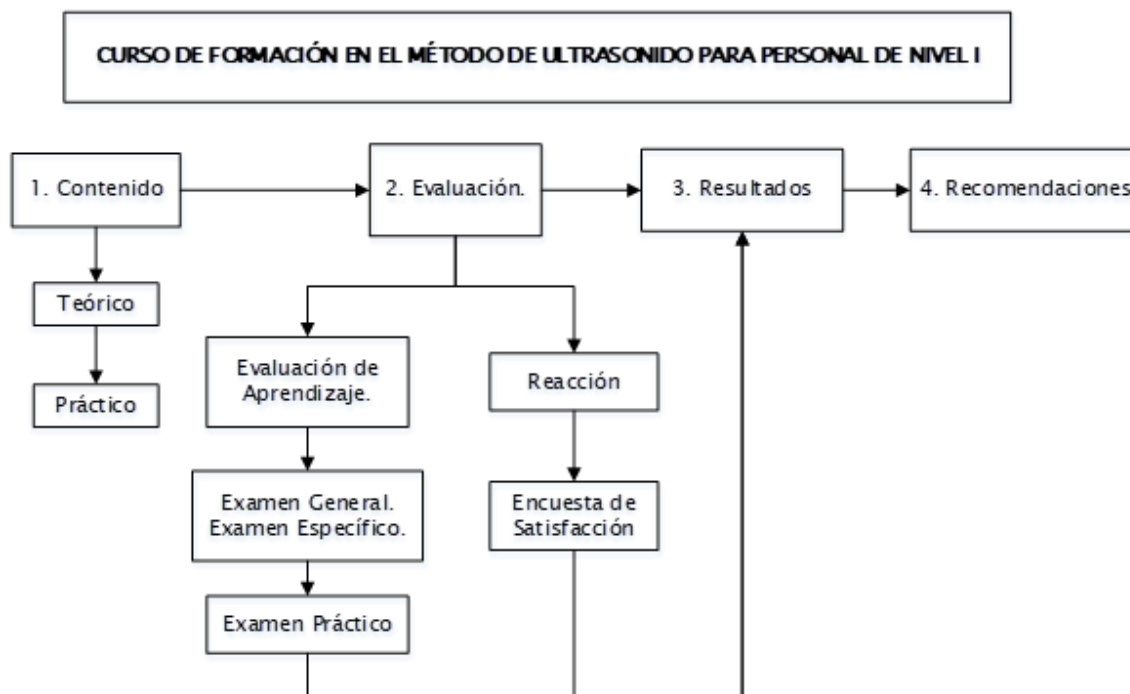
- CONTENIDOS:**
- 8. Registro y Evaluación de Resultados.
 - 8.1. Registro de los Resultados de la Inspección.
 - 8.1.1. Posición de las Discontinuidades
 - 8.1.2. Amplitud del Eco.
 - 8.1.3. Criterios de Aceptación
 - 8.1.4. Ejemplo de Reporte.

3.9. Secuencia Planteada para el Desarrollo del Evento de Capacitación

En la Figura 24 se visualiza el esquema de desarrollo del evento de capacitación, que consta de 4 etapas:

Figura 24

Esquema de desarrollo del evento de capacitación.



De manera inicial la capacitación consta en impartir el contenido teórico y práctico en las horas correspondientes a los participantes, al finalizar la capacitación se realiza las evaluaciones: aprendizaje y reacción a los mismos, dando paso a la obtención de resultados para obtener recomendaciones para el programa de capacitación efectuado.

3.10. Formas de Evaluación de Capacitación

La evaluación se enfoca al aprendizaje y la reacción. El organismo evaluador (tercera parte) será responsable de brindar los resultados de la evaluación de aprendizaje (examen general, específico y práctico) al organismo de formación, Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE.

Al finalizar el evento de capacitación, se tomará la evaluación de reacción (encuesta de satisfacción) con formato ER-ESPE-ENDP-01. Será responsabilidad del organismo de formación desarrollar la encuesta de satisfacción.

Capítulo IV

Análisis de Resultados

4.1. Resultado de experimentación de ensayo para capacitación.

4.1.1. Probetas de Entrenamiento

Cada probeta de entrenamiento cumple con los requerimientos mínimos para el tamaño de las discontinuidades planares $\geq 5\text{mm}$, discontinuidades naturales o artificiales $\geq 5\text{mm}$, requerimientos mínimos que establece ISO/TS 22809:2007 Ensayos No Destructivos: recomendaciones para tipos de discontinuidades para probetas de evaluación práctica.

4.1.1.1. Placa de Entrenamiento UT01-18X

La Junta a tope con preparación de bisel en X: UT01-18X contiene 5 capas de soldadura, se aplicó un incremento de intensidad de corriente y velocidades de avance en la cuarta y quinta capa. El material de aporte fue E7018-1(1/8") con proceso de soldadura SMAW. Los parámetros para la soldadura están descritos en el Procedimiento de Soldadura con formato WPS-ESPE-ENDP-01. Obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 13

Resultados de la probeta de entrenamiento UT01-18X.

| N° | Probeta | Discontinuidades | | | Tipo | Longitud [mm] | Profundidad [mm] | Evaluación | OBSERVACIONES |
|----|----------|------------------------|------------------------|--------------|------|---------------|------------------|------------|------------------------------------|
| | | Superficiales Internas | Superficiales Externas | Volumétricas | | | | | |
| 1 | UT01-18X | X | - | - | A | 14 | 12.51 | R | Inclusión de escoria en el centro. |
| 2 | | X | - | - | A | 13 | 12.25 | R | Inclusión de escoria en el centro. |
| 3 | | X | - | - | A | 39 | 12.29 | R | Inclusión de escoria en el centro. |
| 4 | | X | - | - | A | 18 | 12.33 | R | Inclusión de escoria en el centro. |
| 5 | | X | - | - | A | 3 | 13.90 | R | Inclusión de escoria en el centro. |
| 6 | | X | - | - | A | 37 | 15.10 | R | Inclusión de escoria en el centro. |
| 7 | | X | - | - | D | 2 | 16.29 | A | Inclusión de escoria. |
| 8 | | X | - | - | A | 12 | 16.37 | R | Inclusión de escoria. |
| 9 | | X | - | - | B | 25 | 15.12 | A | Inclusión de escoria a un lado. |

| | | | | | | | | |
|----|---|---|---|---|----|-------|---|---------------------------------|
| 10 | X | - | - | A | 26 | 15.08 | R | Inclusión de escoria a un lado. |
|----|---|---|---|---|----|-------|---|---------------------------------|

Nota: A: Aceptado, R: Rechazado

Figura 25

Soldadura de la placa de entrenamiento UT01-18X.



Figura 26

Placa de entrenamiento UT01-18X.



Figura 27

Placa de entrenamiento UT01-18X.

**Figura 28**

Placa de entrenamiento UT01-18X.



Para visualizar más detalles referirse al documento: MTR-ESPE-ENDP-01.

4.1.1.2. Placa de Entrenamiento UT02-18X

La Junta a tope con preparación de bisel en X: UT02-18X contiene 5 capas de soldadura, se aplicó un incremento de intensidad de corriente y material de aporte E7018 (1/8") húmedo

en la cuarta capa. El proceso de soldadura fue realizado con SMAW. Los parámetros para la soldadura están descritos en el Procedimiento de Soldadura con formato WPS-ESPE-ENDP-01.

Obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 14

Resultados de la probeta de entrenamiento UT02-18X.

| N° | Probeta | Discontinuidades | | | Tipo | Longitud [mm] | Profundidad [mm] | Evaluación | OBSERVACIONES |
|----|----------|------------------------|------------------------|--------------|------|---------------|------------------|------------|---|
| | | Superficiales Internas | Superficiales Externas | Volumétricas | | | | | |
| 1 | UT02-18X | X | - | - | A | 20 | 13.00 | R | Inclusión de escoria en el centro. |
| 2 | | X | - | - | A | 105 | 13.66 | R | Inclusión de escoria en el centro. Porosidad. |
| 3 | | - | - | X | A | 140 | 14.96 | R | Inclusión de escoria en el centro/lado. Porosidad. |

Nota: A: Aceptado, R: Rechazado

Figura 29

Soldadura de la placa de entrenamiento UT02-18X.



Figura 30

Placa de entrenamiento UT02-18X.



Para visualizar más detalles referirse al documento: MTR-ESPE-ENDP-02.

4.1.1.3. Placa de Entrenamiento UT03-18X

La Junta a tope con preparación de bisel en X: UT03-18X contiene 5 capas de soldadura, se aplicó un incremento de velocidad de avance con un material de aporte E7018-1 (1/8") húmedo en la segunda capa, también una alta intensidad de corriente y no se efectúa limpieza en la cuarta capa. Los parámetros para la soldadura están descritos en el Procedimiento de Soldadura con formato WPS-ESPE-ENDP-01. Obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 15.

Resultados de la probeta de entrenamiento UT03-18X.

| N° | Probeta | Discontinuidades | | | Tipo | Longitud [mm] | Profundidad [mm] | Evaluación | OBSERVACIONES |
|----|----------|------------------------|------------------------|--------------|------|---------------|------------------|------------|--|
| | | Superficiales Internas | Superficiales Externas | Volumétricas | | | | | |
| 1 | UT03-18X | - | - | X | A | 25 | 3.81 | R | Inclusión de escoria en el centro. |
| 2 | | - | - | X | A | 60 | 6.25 | R | Inclusión de escoria en el centro. Porosidad. |
| 3 | | - | - | X | C | 35 | 12.42 | A | Concavidad en la Raíz. Porosidad. |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|----|-------|---|--------------------------------------|
| 4 | - | - | X | A | 35 | 3.74 | R | Concavidad en la Raíz. Porosidad. |
| 5 | - | - | X | A | 37 | 12.30 | R | Porosidad. |
| 6 | - | - | X | A | 25 | 3.45 | R | Concavidad de la Raíz. |
| 7 | - | - | X | A | 22 | 4.24 | R | Concavidad de la Raíz. |
| 8 | - | - | X | A | 25 | 3.81 | R | Inclusión de escoria en el centro. |

Nota: A: Aceptado, R: Rechazado

Figura 31

Soldadura de la placa de entrenamiento UT03-18X.



Figura 32

Placa de entrenamiento UT03-18X.



Para visualizar más detalles referirse al documento MTR-ESPE-ENDP-03.

4.1.1.4. Placa de Entrenamiento UT04-26X

La Junta a tope con preparación de bisel X: UT04- 26X contiene 5 capas de soldadura, se agrega en la segunda capa alambre de cobre con longitud de 25 [mm], en la cuarta capa se suelda con una alta intensidad de corriente y 10 [min] culminada la soldadura de esta capa se coloca un trapo húmedo por una hora en el centro de la junta soldada. El material de aporte fue E7018-1(1/8") con proceso de soldadura SMAW. Los parámetros para la soldadura están descritos en el Procedimiento de Soldadura con formato WPS-ESPE-ENDP-04. Obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 16

Resultados de la probeta de entrenamiento UT04-26X.

| N° | Probeta | Discontinuidades | | | Tipo | Longitud [mm] | Profundidad [mm] | Evaluación | OBSERVACIONES |
|----|----------|------------------------|------------------------|--------------|------|---------------|------------------|------------|------------------------------------|
| | | Superficiales Internas | Superficiales Externas | Volumétricas | | | | | |
| 1 | UT04-26X | - | - | X | A | 20 | 20.02 | R | Inclusión de escoria en el centro. |
| 2 | | - | - | X | A | 30 | 8.86 | R | Inclusión de escoria en el centro. |
| 3 | | - | - | X | A | 1 | 11.41 | R | Inclusión de escoria en el centro. |
| 4 | | - | - | X | A | 40 | 7.60 | R | Porosidad. Fisura Volumétrica. |
| 5 | | - | - | X | A | 7 | 25.36 | R | Porosidad. Fisura Volumétrica. |
| 6 | | - | - | X | A | 20 | 26.35 | R | Inclusión de Escoria. |
| 7 | | - | - | X | D | 28 | 16.40 | A | Inclusión de Escoria. |
| 8 | | - | - | X | A | 20 | 6.27 | R | Inclusión de Escoria. |
| 9 | | - | - | X | A | 12 | 8.08 | A | Inclusión de Escoria. |
| 10 | | - | - | X | A | 58 | 7.65 | R | Concavidad en la Raíz. |

Nota: A: Aceptado, R: Rechazado

Figura 33

Placa de entrenamiento UT04-26X.



Para visualizar más detalles referirse al documento MTR-ESPE-ENDP-04.

4.1.1.5. Placa de Entrenamiento UT05-12V

La Junta a tope con preparación de bisel en V: UT05-12 contiene 4 capas de soldadura, en la segunda capa se aplicó un incremento de intensidad de corriente de aprox. 50 [A] y se colocan diminutos polvos de escoria de soldadura. El material de aporte fue E7018-1(1/8") con proceso de soldadura SMAW. Los parámetros para la soldadura están descritos en el Procedimiento de Soldadura con formato WPS-ESPE-ENDP-02. Obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 17

Resultados de la probeta de entrenamiento UT05-12V.

| N° | Probeta | Discontinuidades | | | Tipo | Longitud [mm] | Profundidad [mm] | Evaluación | OBSERVACIONES |
|----|----------|---------------------------|---------------------------|--------------|------|------------------|---------------------|------------|---------------|
| | | Superficiales Internas | Superficiales Externas | Volumétricas | | | | | |
| 1 | UT05-12V | - | - | X | C | 15 | 10.96 | R | Porosidad. |
| 2 | | - | - | X | A | 27 | 8.07 | A | Porosidad. |
| 3 | | - | - | X | A | 26 | 7.96 | A | Porosidad. |
| 4 | | - | - | X | B | 47 | 6.52 | R | Porosidad. |
| 5 | | - | - | X | D | 10 | 10.25 | R | Porosidad. |

Nota: A: Aceptado, R: Rechazado

Figura 34

Placa de entrenamiento UT05-12V.



Figura 35

Soldadura de la placa de entrenamiento UT05-12V.



Para visualizar más detalles referirse a al documento MTR-ESPE-ENDP-05.

4.1.1.6. Tubería de Entrenamiento PIPE01

La Junta a tope con preparación de bisel en V: PIPE01 contiene 5 capas de soldadura, en la segunda capa se coloca una varilla de electrodo de tungsteno de longitud de 90 [mm] y 40 [mm] en la ubicación de 0° a 90° y en 270°-360° respectivamente. Se utiliza un proceso combinado GTAW-SMAW, con material de aporte E7018-1(1/8") para proceso de soldadura SMAW y varilla de aporte ER70S-6(3/32") para proceso de soldadura GTAW. Los parámetros para la soldadura están descritos en el Procedimiento de Soldadura con formato WPS-ESPE-ENDP-03. Obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 18

Resultados de la probeta de entrenamiento PIPE01.

| N° | Probeta | Discontinuidades | | | Tipo | Longitud [mm] | Profundidad [mm] | Evaluación | OBSERVACIONES |
|----|---------|------------------------|------------------------|--------------|-----------|---------------|------------------|------------|-------------------------------|
| | | Superficiales Internas | Superficiales Externas | Volumétricas | | | | | |
| 1 | PIPE01 | - | - | X | Relev. | 85 | 6.79 | R | Inclusión de escoria lateral. |
| 2 | | - | - | X | Relev. | 25 | 7.19 | R | Inclusión de tungsteno. |
| 3 | | - | - | X | Relev. | 13 | 8.03 | R | Inclusión de escoria. |
| 4 | | - | - | X | No Relev. | 7 | 8.27 | R | Inclusión de tungsteno. |
| 5 | | - | - | X | Relev. | 32 | 7.82 | R | Inclusión de escoria. |
| 6 | | - | - | X | Relev. | 25 | 6.21 | R | Inclusión de escoria. |
| 7 | | - | - | X | | | | | |
| 8 | | - | - | X | | | | | |
| 9 | | - | - | X | Relev. | 20 | 6.75 | R | Inclusión de escoria. |

Nota: A: Aceptado, R: Rechazado

Figura 36

Tubería de entrenamiento PIPE01.



Figura 37

Tubería de entrenamiento PIPE01.



Para visualizar más detalles referirse al documento MTR-ESPE-ENDP-06.

4.1.1.7. Tubería de Entrenamiento PIPE02

La Junta a tope en V: PIPE02 contiene 5 capas de soldadura, en la segunda capa se coloca una varilla de electrodo de tungsteno de longitud de 120 [mm] y 100 [mm] en la ubicación de 0° a 180° y en 270°-360° respectivamente. Se utiliza un proceso combinado GTAW-SMAW, con material de aporte E7018-1(1/8") para proceso de soldadura SMAW y varilla de aporte ER70S-6(3/32") para proceso de soldadura GTAW. Los parámetros para la soldadura están descritos en el Procedimiento de Soldadura con formato WPS-ESPE-ENDP-03. Obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 19

Resultados de la probeta de entrenamiento PIPE02.

| N° | Probeta | Discontinuidades | | | Tipo | Longitud [mm] | Profundidad [mm] | Evaluación | OBSERVACIONES |
|----|---------|------------------------|------------------------|--------------|-----------|---------------|------------------|------------|------------------------------------|
| | | Superficiales Internas | Superficiales Externas | Volumétricas | | | | | |
| 1 | PIPE02 | - | - | X | Relev. | 18 | 9.15 | R | Inclusión de escoria. |
| 2 | | - | - | X | Relev. | 55 | 8.71 | R | Inclusión de escoria. |
| 3 | | - | - | X | Relev. | 15 | 9.32 | R | Inclusión de escoria. Porosidad |
| 4 | | - | - | X | Relev. | 17 | 8.76 | R | Inclusión de escoria. Porosidad |
| 5 | | - | - | X | Relev. | 10 | 9.17 | R | Inclusión de escoria. Porosidad |
| 6 | | - | - | X | No Relev. | 2 | 4.10 | A | Porosidad |
| 7 | | - | - | X | Relev. | 14 | 9.26 | R | Inclusión de escoria. Porosidad |
| 8 | | - | - | X | Relev. | 76 | 9.11 | R | Inclusión de escoria. Porosidad |
| 9 | | - | - | X | No Relev. | 33 | 2.99 | R | Porosidad |

Nota: A: Aceptado, R: Rechazado

Figura 38

Tubería de entrenamiento PIPE02.



Figura 39

Tubería de entrenamiento PIPE02.



Para visualizar más detalles referirse a al documento MTR-ESPE-ENDP-07.

4.1.2. Probetas de Prueba Práctica

El organismo de formación Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, designa a una persona encargada del resguardo y tutela de los informes maestros y probetas utilizadas para realizar la evaluación del examen práctico.

Por cuestiones de confidencialidad con el organismo de formación, para los resultados en esta sección se detallan en los informes maestros de cada una de las probetas de examen práctico, donde se encuentra las ubicaciones de las discontinuidades, tamaño, tipo y criterios de aceptación.

Los informes maestros con formato:

- MRE-ESPE-ENDP-01
- MRE-ESPE-ENDP-02

- MRE-ESPE-ENDP-03
- MRE-ESPE-ENDP-04

Cada probeta de examen práctico cumple con los requerimientos mínimos de tamaño de discontinuidades planares $\geq 5\text{mm}$, discontinuidades naturales o artificiales $\geq 5\text{mm}$, requerimientos mínimos que establece ISO/TS 22809:2007 Ensayos no destructivos: recomendaciones para tipos de discontinuidades en muestras de ensayo para examen.

4.2. Análisis de Resultados de Capacitación.

4.2.1. Evento de Capacitación

Se realizó el evento de capacitación en el Laboratorio de Ciencia de los Materiales, impartido los días del 10 de agosto del 2021 al 16 de agosto del 2021.

4.2.1.1. Día 1 – martes 10 de agosto del 2021

El día 1 del evento de capacitación realizado el martes 10 de agosto del 2021, se impartieron los temas correspondientes al capítulo I – Conocimientos Generales y Capítulo II – Terminología, Principios Físicos y Fundamentos del Ultrasonido.

Figura 40

Evento de capacitación, día 1.



Figura 41

Evento de capacitación, día 1.

**Figura 42**

Evento de capacitación, día 1.



4.2.1.2. Día 2 – miércoles 11 de agosto del 2021

El día 2 del evento de capacitación realizado el miércoles 11 de agosto del 2021, se impartieron los temas correspondientes al capítulo III – Técnicas de Ensayo y sus Limitaciones; y Capítulo IV – Equipamiento y Accesorios.

Figura 43.

Evento de capacitación, día 2.

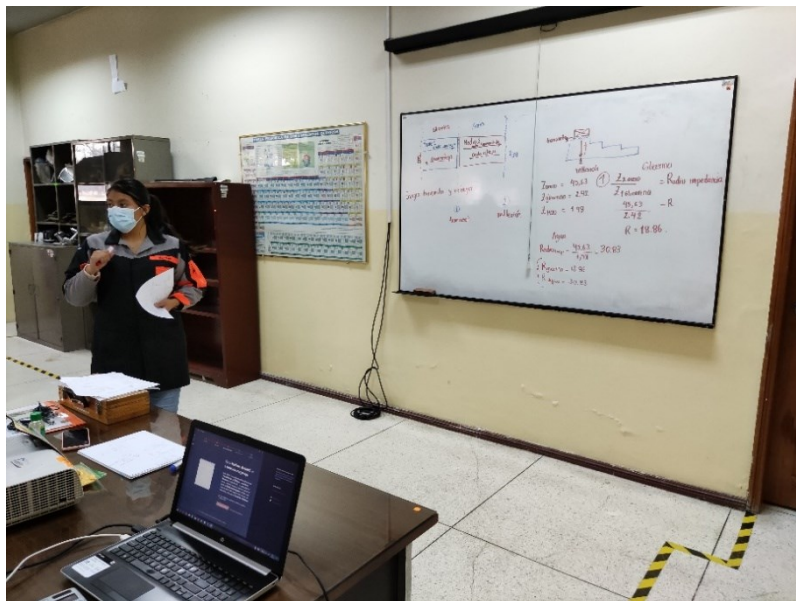


Figura 44.

Evento de capacitación, día 2.



Figura 45

Evento de capacitación, día 2.



4.2.1.3. Día 3 – jueves 12 de agosto del 2021

El día 3 del evento de capacitación realizado el jueves 12 de agosto del 2021, se impartieron los temas correspondientes al capítulo V – Calibración del Sistema de Ensayo, en el cual se empezó a impartir las clases prácticas con el equipo EPOCH 1000i y los bloques de calibración IIW Tipo 1 y de 5 Niveles de espesor.

Figura 46

Evento de capacitación, día 3.



Figura 47

Evento de capacitación, día 3.

**Figura 48**

Evento de capacitación, día 3.

**Figura 49**

Evento de capacitación, día 3.



4.2.1.4. Día 4 – viernes 13 de agosto del 2021

El día 4 del evento de capacitación realizado el viernes 13 de agosto del 2021, se impartieron los temas correspondientes al Capítulo VI – Aplicaciones Específicas, Capítulo VII – Códigos, Estándares, Especificaciones y Procedimientos; y Capítulo VIII – Registro de Resultados de la Inspección.

Figura 50

Evento de capacitación, día 4.



Figura 51

Evento de capacitación, día 4.

**Figura 52**

Evento de capacitación, día 4.

**Figura 53**

Evento de capacitación, día 4.



4.2.1.5. Día 5– Lunes 16 de agosto del 2021

El día 5 del evento de capacitación realizado el lunes 16 de agosto del 2021, se realiza a los participantes la evaluación de aprendizaje: general, específico y práctico por parte del evaluador (tercera parte).

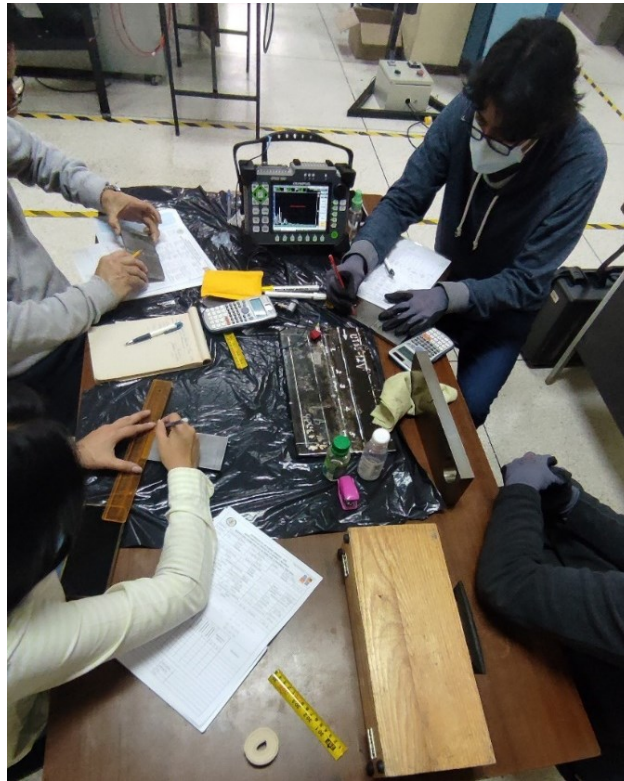
Figura 54

Evento de capacitación, día 5.



Figura 55

Evento de capacitación, día 5.

**Figura 56.**

Evento de capacitación, día 5.



4.2.2. Resultados de la Evaluación de Reacción

Al finalizar el evento de capacitación realizado desde el 10 al 16 de agosto del 2021. Se realizan las evaluaciones de reacción y aprendizaje a los participantes.

Se analiza las evaluaciones de reacción es una encuesta que se realiza a cada uno de los participantes del evento de capacitación con código de formato: ER-ESPE-ENDP-01.

La evaluación de reacción consta de cuatro secciones que son calificadas bajo la escala de Likert: Instructores, Contenidos, Material de Apoyo y Logística.

Tabla 20

Escala de Likert.

| EscaLa | Totalmente Desacuerdo | En Desacuerdo | Más o menos de acuerdo | De acuerdo | Totalmente de acuerdo |
|---------------------|--------------------------|---------------|---------------------------|------------|--------------------------|
| Calificación | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |

Nota: Recuperado de (Ospina Rave et al., 2003).

Para la interpretación de los resultados de la evaluación de reacción la calificación de mayores e iguales a 3 son aceptables, mientras que si son menores a 3 son inaceptables. Los rangos son definidos con el propósito de evaluar la reacción de los participantes al evento de capacitación. Se evalúa cada sección en cada uno de sus ítems.

4.2.2.1. Evaluación de los Instructores

Se obtienen los siguientes resultados en la sección instructores en cada uno de los ítems:

Tabla 21

Resultados de las Evaluaciones de los Instructores.

| Encuestados | Ítem 1 | Ítem 2 | Ítem 3 | Ítem 4 | Ítem 5 |
|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| 2 | 5 | 5 | 5 | 4 | 5 |
| 3 | 4 | 5 | 4 | 5 | 5 |

| | | | | | |
|------------------|----|----|----|----|----|
| 4 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| 5 | 4 | 5 | 5 | 5 | 4 |
| 6 | 5 | 5 | 5 | 4 | 4 |
| 7 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 |
| 8 | 5 | 5 | 4 | 5 | 4 |
| Total | 38 | 40 | 38 | 38 | 36 |
| Promedio: | | | 38 | | |

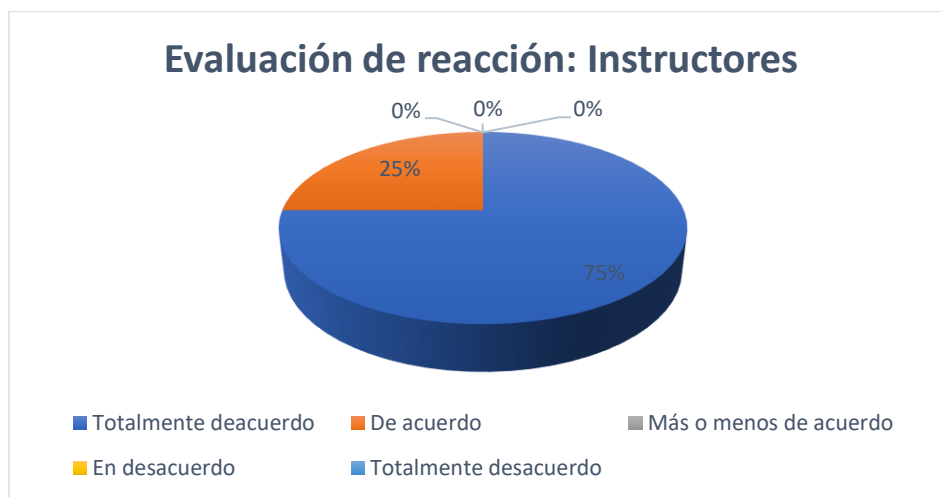
Para realizar el análisis por ítem se define los siguientes rangos, el valor de 40 corresponde a la calificación más alta:

- 0 al 10 es necesario un cambio de instructores.
- 11 al 20 es necesario evaluar a los instructores para desarrollar mejoras en la enseñanza.
- 21 al 30 los instructores son adecuados, pero se pueden introducir mejoras.
- 31 al 40 los instructores fueron adecuados para realizar el evento de capacitación.

Resultado: Se obtiene como resultado en la sección instructores un valor de 38 que representa un 75%, que indica que los instructores fueron adecuados para realizar el evento de capacitación.

Figura 57

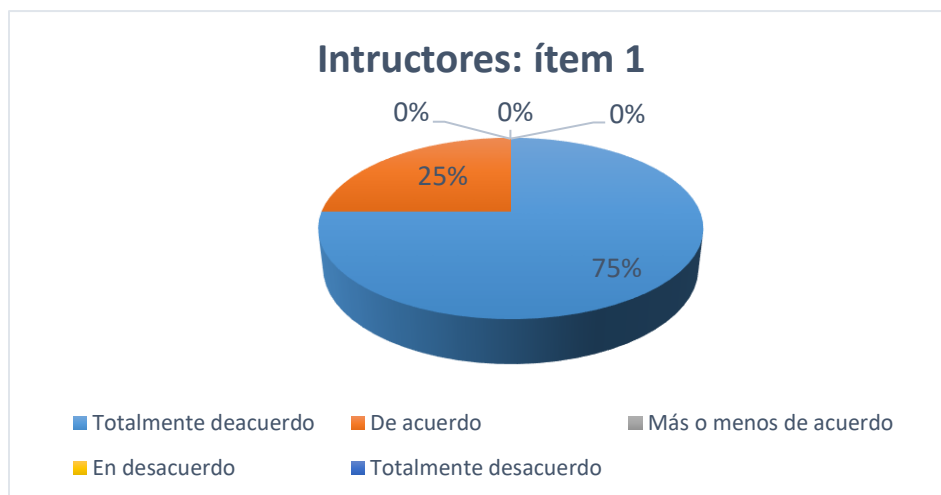
Resultados de la evaluación a los instructores.



- **Ítem N° 1. ¿El instructor brindó las explicaciones claras y comprensibles en cada unidad?**

Figura 58

Resultados de la evaluación a los instructores – Ítem 1.



Análisis: Se obtiene un valor de 38 que representa el 75% de los participantes están totalmente de acuerdo que las explicaciones fueron claras y comprensibles en el desarrollo de cada unidad.

- **Ítem N° 2. ¿Presentó de manera ordenada y coherente los temas de cada unidad?**

Figura 59.

Resultados de la evaluación a los instructores – Ítem 2.

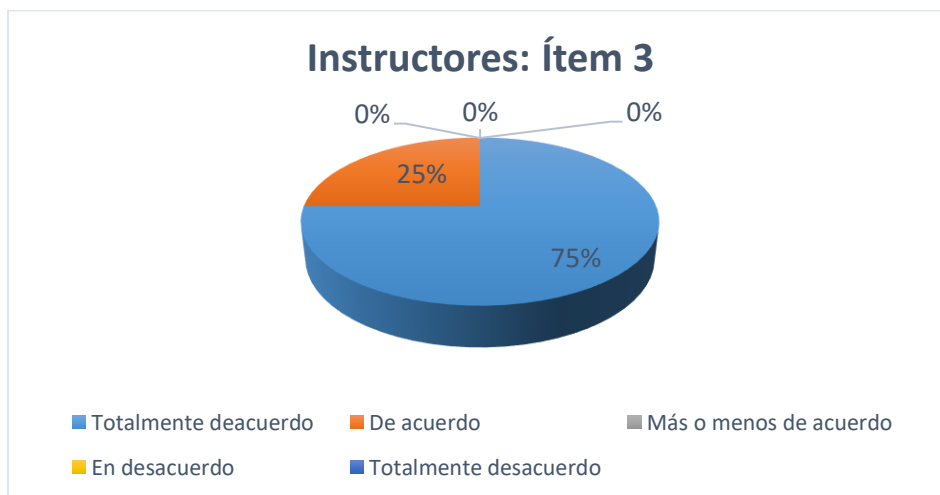


Análisis: Se obtiene un valor de 40 que representa el 100% de los participantes están totalmente de acuerdo que se presenta de manera ordenada y coherente los temas en cada unidad.

- **Ítem N° 3. ¿Se atiende adecuadamente las preguntas de los participantes?**

Figura 60

Resultados de la evaluación a los instructores – Ítem 3.

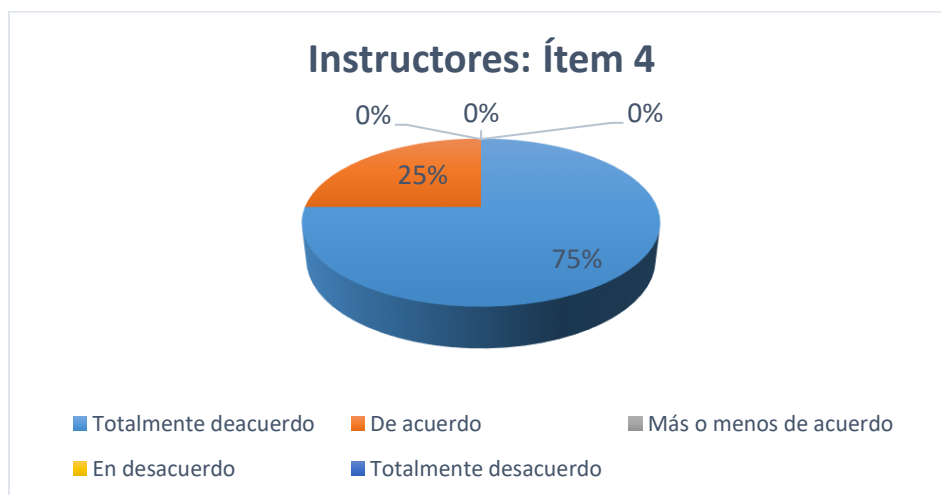


Análisis: Se obtiene un valor de 38 que representa el 75% de los participantes están totalmente de acuerdo que se responden de forma adecuada las dudas de los participantes.

- **Ítem N° 4. ¿El instructor usó eficientemente el tiempo?**

Figura 61

Resultados de la evaluación a los instructores – Ítem 4.

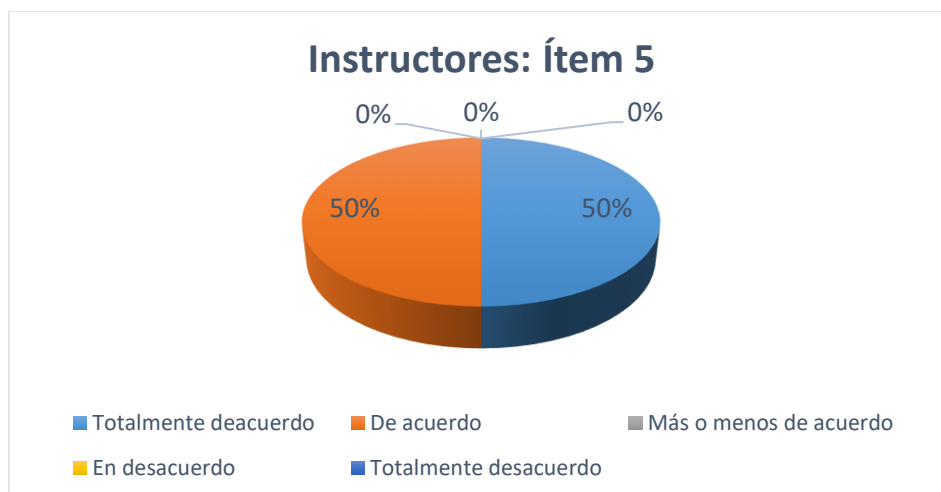


Análisis: Se obtiene un valor de 38 que representa el 75% de los participantes están totalmente de acuerdo que se utiliza de manera adecuada el tiempo para el desarrollo de la capacitación.

- **Ítem N° 5. ¿Generó un ambiente de participación?**

Figura 62

Resultados de la evaluación a los instructores – Ítem 5.



Análisis: Se obtiene un valor de 36 que representa el 50% de los participantes están totalmente de acuerdo que se genera un ambiente de participación en el desarrollo de la capacitación.

4.2.2.2. Contenidos

Se obtienen los siguientes resultados en la sección contenidos en cada uno de los ítems:

Tabla 22.

Resultados de las Evaluaciones de los Contenidos.

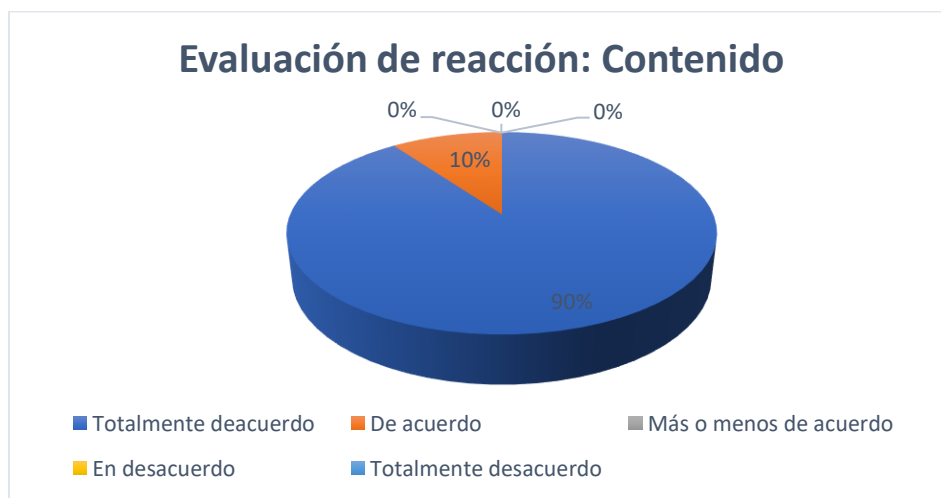
| Encuestados | Ítem 1 | Ítem 2 | Ítem 3 | Ítem 4 | Ítem 5 |
|------------------|-----------|-----------|-------------|-----------|-----------|
| 1 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| 2 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| 3 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| 4 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 |
| 5 | 5 | 4 | 4 | 5 | 5 |
| 6 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| 7 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| 8 | 5 | 4 | 5 | 5 | 5 |
| Total | 40 | 38 | 39 | 40 | 39 |
| Promedio: | | | 39.2 | | |

Para realizar el análisis por ítem se define los siguientes rangos, el valor de 40 corresponde a la calificación más alta:

- 0 al 10 es necesario un cambio en los contenidos del manual de capacitación.
- 11 al 20 es necesario evaluar el contenido del manual de capacitación para desarrollar mejoras significativas para la enseñanza.
- 21 al 30 el contenido del manual de capacitación es adecuado, pero se pueden introducir mejoras.
- 31 al 40 los contenidos del manual de capacitación fueron adecuados para realizar el evento de capacitación.

Figura 63

Resultados de la evaluación a los contenidos.



Resultado: Se obtiene como resultado en la sección contenido un valor de 39.2 que representa un 90%, que indica que los contenidos fueron adecuados para realizar el evento de capacitación.

- **Ítem N° 1. ¿El contenido presentado fue acorde a la planificación planteada?**

Figura 64

Resultados de la evaluación a los contenidos – Ítem 1.

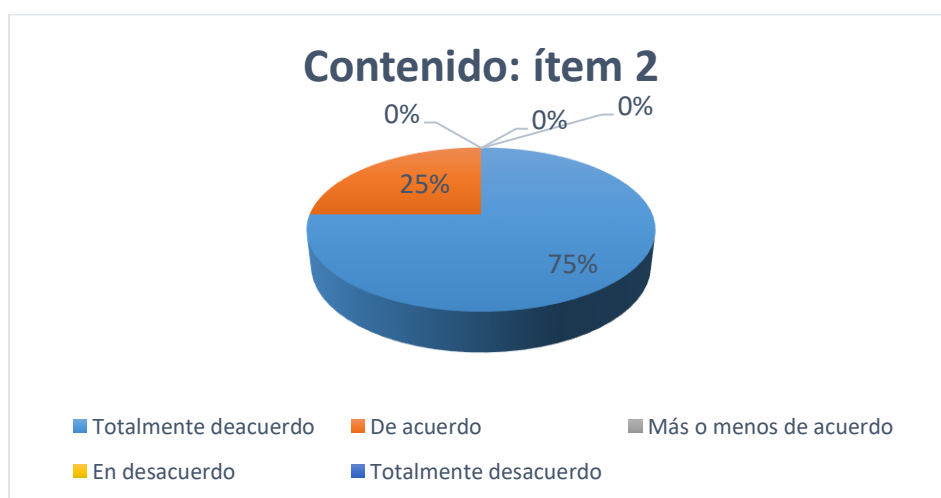


Resultado: Se obtiene como resultado un valor de 40 que representa un 100%, que indica que el contenido fue presentado de acuerdo con la planificación planteada para efectuar el evento de capacitación.

- **Ítem N° 2. ¿Los contenidos de cada unidad son coherentes con los objetivos de cada unidad?**

Figura 65

Resultados de la evaluación a los contenidos – Ítem 2

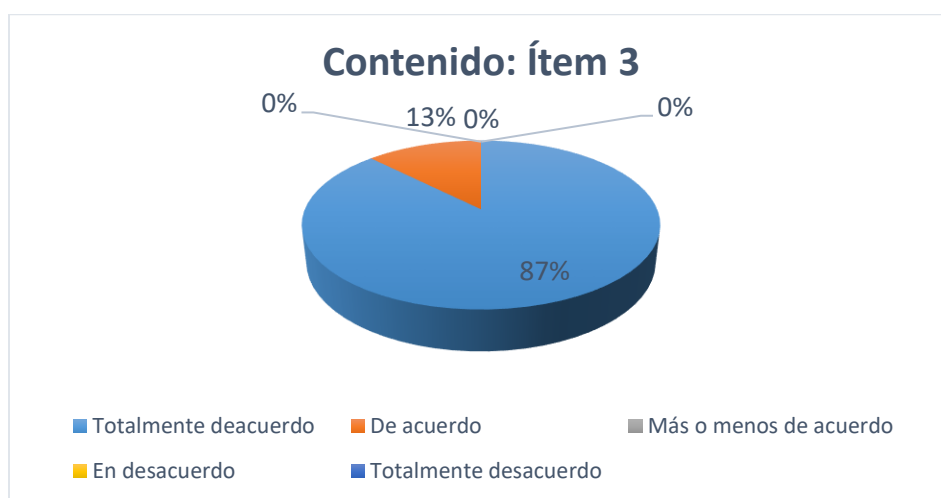


Resultado: Se obtiene como resultado un valor de 38 que representa un 75%, que indica que los contenidos desarrollados para cada unidad son coherentes a los objetivos planteados en cada unidad.

- **Ítem N° 3. ¿Se brindan ejemplos prácticos de los temas tratados en cada unidad?**

Figura 66

Resultados de la evaluación a los contenidos – Ítem 3.



Resultado: Se obtiene como resultado un valor de 39 que representa un 87%, que indica que los contenidos tienen ejemplos prácticos para cada unidad.

- **Ítem N° 4. ¿Se presentan contenidos actualizados?**

Figura 67

Resultados de la evaluación a los contenidos – Ítem 4.

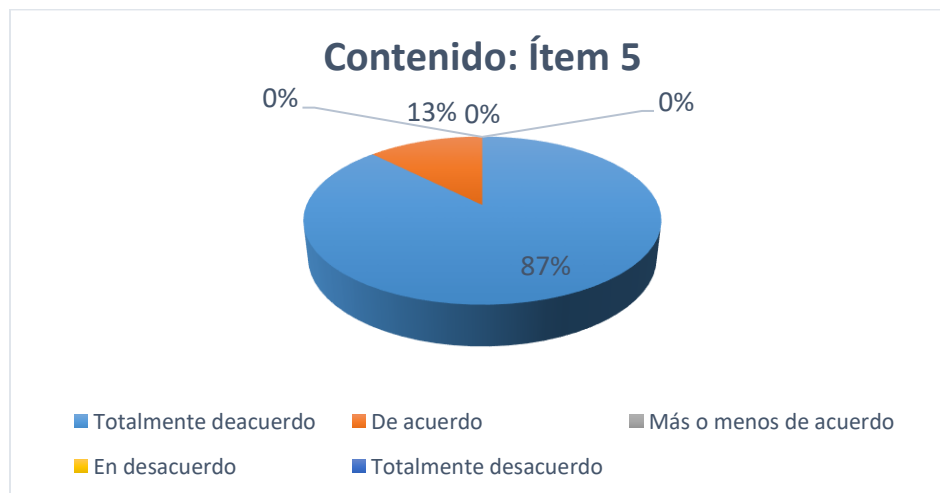


Resultado: Se obtiene como resultado un valor de 40 que representa un 100%, que indica que los contenidos presentados son actuales.

- **Ítem N° 5. ¿Los contenidos aprendidos son aplicables en su campo laboral?**

Figura 68

Resultados de la evaluación a los contenidos – Ítem 4.



Resultado: Se obtiene como resultado un valor de 39 que representa un 87%, que indica que los contenidos son de utilidad en el campo laboral de los participantes.

4.2.2.3. Material de Apoyo

Se obtienen los siguientes resultados en la sección material de apoyo en cada uno de los

ítems:

Tabla 23

Resultados de las Evaluaciones del Material de Apoyo.

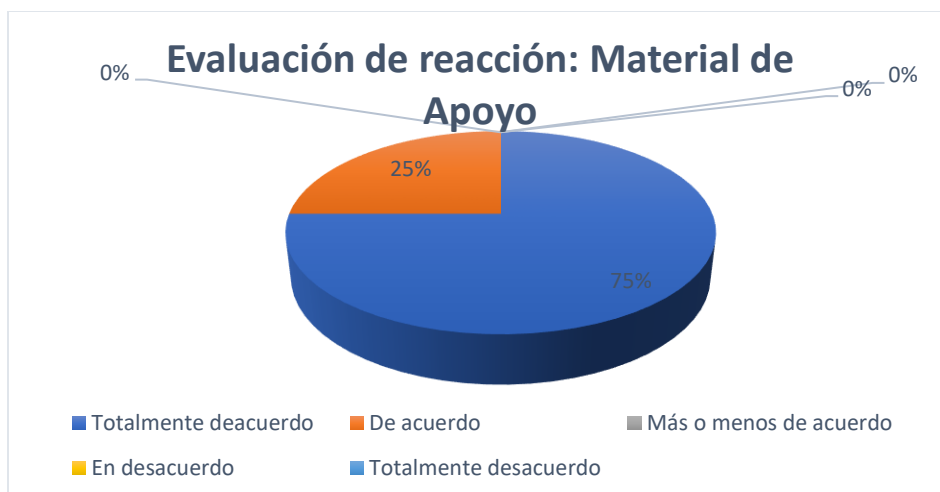
| Encuestados | Ítem 1 | Ítem 2 | Ítem 3 | Ítem 4 | Ítem 5 |
|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| 2 | 5 | 5 | 5 | 4 | 5 |
| 3 | 5 | 4 | 5 | 5 | 5 |
| 4 | 5 | 5 | 4 | 4 | 5 |
| 5 | 5 | 4 | 5 | 5 | 5 |
| 6 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| 7 | 4 | 5 | 4 | 5 | 4 |
| 8 | 5 | 4 | 5 | 5 | 5 |
| Total | 39 | 37 | 38 | 38 | 39 |
| Promedio: | 38 | | | | |

Para realizar el análisis por ítem se define los siguientes rangos, el valor de 40 corresponde a la calificación más alta:

- 0 al 10 es necesario un cambio en los materiales de apoyo utilizados.
- 11 al 20 es necesario evaluar el material de apoyo para desarrollar mejoras significativas para la enseñanza.
- 21 al 30 el material de apoyo es adecuado, pero se pueden introducir mejoras.
- 31 al 40 los materiales de apoyo fueron adecuados para realizar el evento de capacitación.

Figura 69

Resultados de la evaluación al material de apoyo.

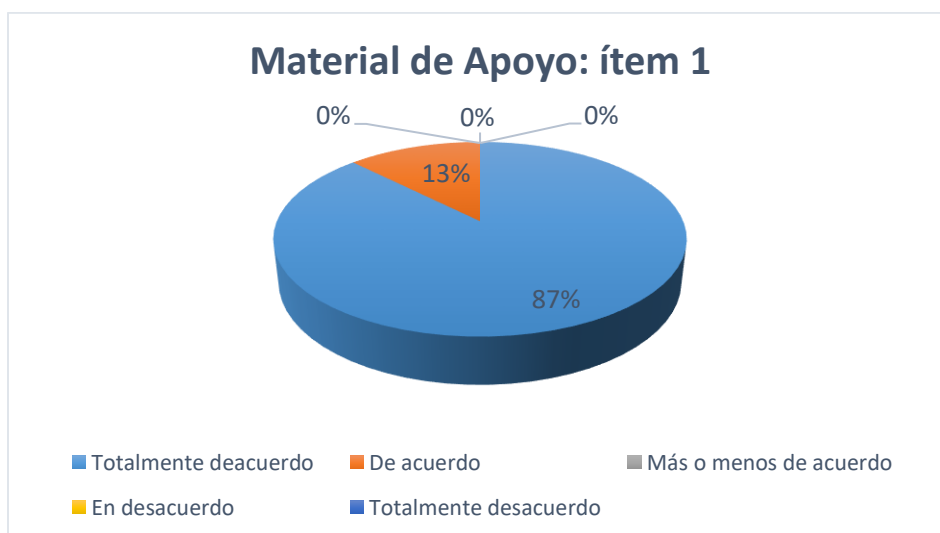


Resultado: Se obtiene como resultado en la sección de material de apoyo un valor de 38 que representa un 75%, que los participantes están totalmente de acuerdo donde se indica que los materiales de apoyo (presentaciones, equipamiento y herramientas) utilizado fueron adecuados para realizar el evento de capacitación.

- **Ítem N° 1. ¿Los materiales tienen buena presentación y organización?**

Figura 70

Resultados de la evaluación al material de apoyo – ítem 1.

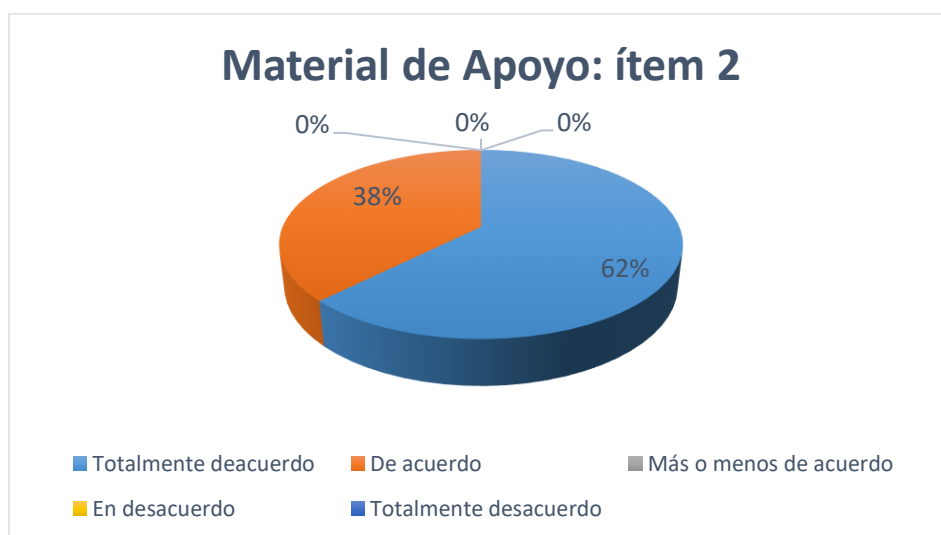


Resultado: El resultado es un valor de 39 que representa un 87%, donde los participantes están totalmente de acuerdo con el material de apoyo (presentaciones) tiene buena presentación y organización.

- **Ítem N° 2. ¿Permiten obtener conocimiento de las temáticas de las unidades del curso?**

Figura 71

Resultados de la evaluación al material de apoyo – ítem 2.

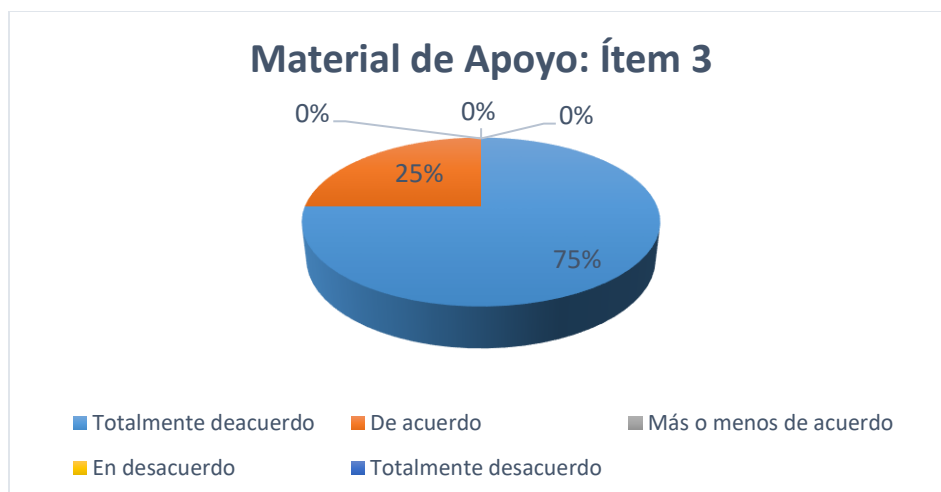


Resultado: El resultado es un valor de 37 que representa un 62%, donde este porcentaje de los participantes están totalmente de acuerdo con el material de apoyo (presentaciones) permite obtener conocimiento más amplio de las temáticas tratadas.

- **Ítem N° 3. ¿Utilizó medios variados y adecuados de apoyo al aprendizaje?**

Figura 72

Resultados de la evaluación al material de apoyo – ítem 3.

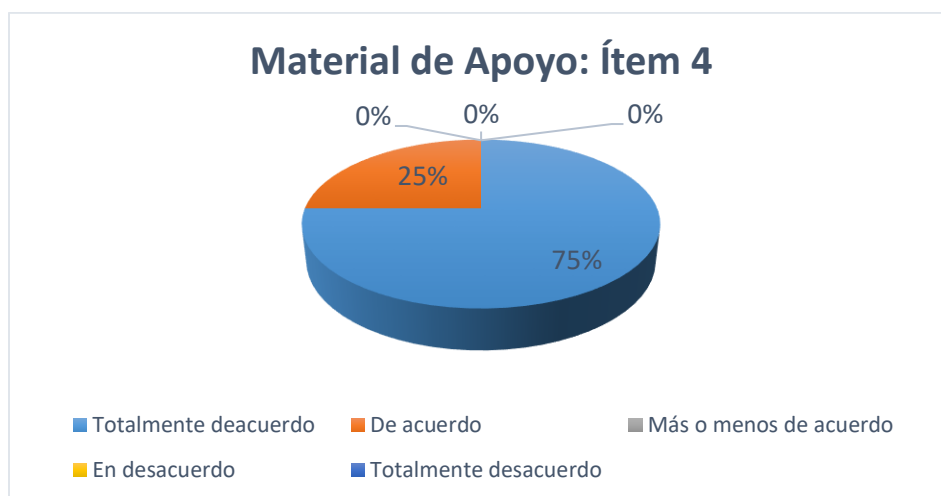


Resultado: El resultado es un valor de 38 que representa un 75%, donde este porcentaje de los participantes están totalmente de acuerdo en el uso de diversos medios (videos/conferencias/ejercicios prácticos) es adecuado para apoyar en el desarrollo del aprendizaje.

- **Ítem N° 4. ¿Se utilizó equipamiento y herramientas para el apoyo al aprendizaje?**

Figura 73

Resultados de la evaluación al material de apoyo – ítem 4.



Resultado: El resultado es un valor de 38 que representa un 75%, donde este porcentaje de los participantes están totalmente de acuerdo en el uso de equipamiento y herramientas para un mejor desarrollo del aprendizaje.

4.2.2.4. Logística

Se obtienen los siguientes resultados en la sección logística en cada uno de los ítems:

Tabla 24

Resultados de las Evaluaciones de la logística.

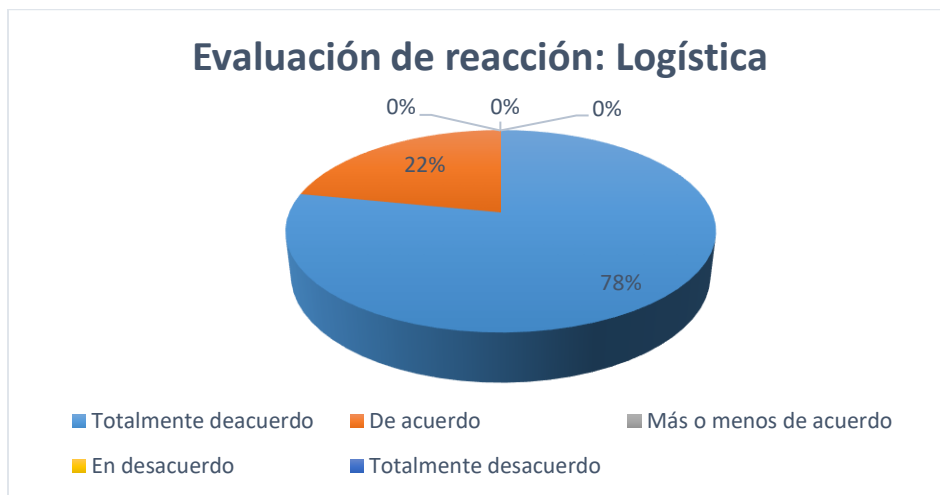
| Encuestados | Ítem 1 | Ítem 2 | Ítem 3 | Ítem 4 |
|-----------------|--------|--------|--------|--------|
| 1 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| 2 | 5 | 4 | 4 | 5 |
| 3 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| 4 | 5 | 5 | 4 | 5 |
| 5 | 5 | 4 | 5 | 5 |
| 6 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| 7 | 4 | 5 | 4 | 5 |
| 8 | 5 | 4 | 5 | 5 |
| Total | 39 | 37 | 37 | 40 |
| Promedio | 38.25 | | | |

Para realizar el análisis por ítem se define los siguientes rangos, el valor de 40 corresponde a la calificación más alta:

- 0 al 10 es necesario un cambio en toda la organización logística
- 11 al 20 es necesario evaluar la organización logística para desarrollar mejoras significativas
- 21 al 30 la organización logística es adecuada, pero se pueden introducir mejoras.
- 31 al 40 la organización logística fue adecuada para realizar el evento de capacitación.

Figura 74

Resultados de las Evaluaciones de la logística.



Resultado: Se obtiene como resultado en la sección logística un valor de 38.25 que representa un 78%, que los participantes están totalmente de acuerdo que se tuvo una adecuada organización logística para el evento de capacitación.

- **Ítem N° 1. ¿Existió una buena organización del evento de capacitación?**

Figura 75

Resultados de la evaluación a la logística – ítem 1.



Resultado: Se obtiene como resultado un valor de 39 que representa un 87%, que los participantes están totalmente de acuerdo que se tuvo una adecuada organización del evento de capacitación.

- **Ítem N° 2. ¿Las condiciones físicas/ambientales (espacio, sonido, iluminación) favorecieron la realización del evento?**

Figura 76

Resultados de la evaluación a la logística – ítem 2.



Resultado: Se obtiene como resultado un valor de 37 que representa un 62%, que los participantes están totalmente de acuerdo que se tuvo una adecuada organización logística para el evento de capacitación.

- **Ítem N° 3. ¿Fue notificada la fecha, lugar y hora del curso?**

Figura 77

Resultados de la evaluación a la logística – ítem 3.



Resultado: Se obtiene como resultado un valor de 37 que representa un 62%, que los participantes están totalmente de acuerdo que se tuvo una adecuada notificación de lugar, horarios para el desarrollo evento de capacitación

- **Ítem N° 4. ¿El servicio brindado para los recesos fue adecuado?**

Figura 78

Resultados de la evaluación a la logística – ítem 4.



Resultado: Se obtiene como resultado un valor de 40 que representa un 100%, que los participantes están totalmente de acuerdo el servicio brindado fue adecuado evento de capacitación.

4.2.3. Resultados de la Evaluación de Aprendizaje

El evaluador (tercera parte) entrega al organismo de formación Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE las calificaciones de las evaluaciones de aprendizaje: general, específica y práctica, realizadas a los participantes. Se adjunta el documento: ESPE- CEV-UT-20210816, que indica las respectivas calificaciones.

4.2.3.1. Evaluación General

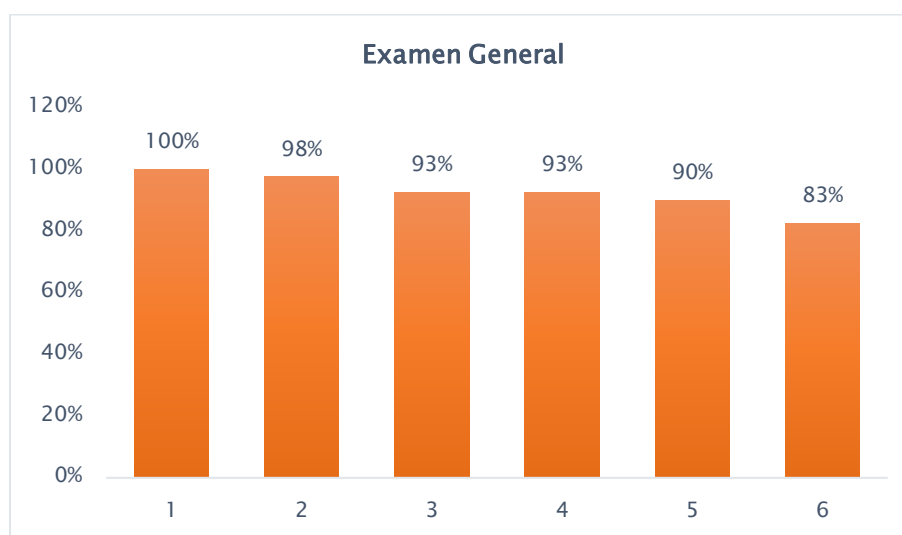
Tabla 25

Resultados de la evaluación genera.

| Evaluado/a | Nota 40/40 | Calificación de Examen General |
|-----------------|------------|--------------------------------|
| D | 40 | 100% |
| B | 39 | 98% |
| A | 37 | 93% |
| E | 37 | 93% |
| C | 36 | 90% |
| F | 33 | 83% |
| Promedio | 37 | 93% |

Figura 79

Diagrama de barras de los resultados del examen general.



Resultado: Se obtiene como resultado en la evaluación general un rango de porcentaje entre el 83-100% que representa un promedio 93%, que indica que los participantes aprobaron el examen general, ya que la nota mínima de aprobación es de 70%. Los conocimientos acerca de los principios básicos del método de ultrasonido industrial fueron alcanzados por el programa de formación propuesto.

4.2.3.2. Evaluación Específica

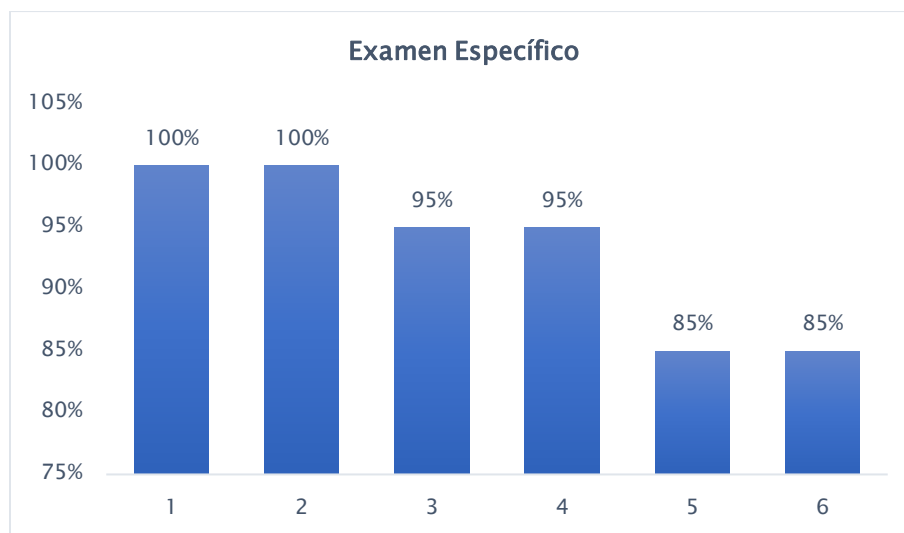
Tabla 26

Resultados de la evaluación específica.

| Evaluado/a | Nota 20/20 | Calificación de Examen Específico |
|-----------------|-------------|-----------------------------------|
| D | 20 | 100% |
| B | 20 | 100% |
| A | 19 | 95% |
| C | 19 | 95% |
| E | 17 | 85% |
| F | 17 | 85% |
| Promedio | 18.7 | 93% |

Figura 80

Diagrama de barras de los resultados del examen específico.



Resultado: Se obtiene como resultado en la evaluación específica valores en porcentaje entre el 85-100% que representa un promedio 93%, que indica que los participantes aprobaron el examen específico, debido a que la nota mínima de aprobación es de 70%. Los conocimientos acerca de normativas, especificaciones, códigos, cálculos y procedimientos de método de ultrasonido industrial fueron adecuados por el programa de formación propuesto.

4.2.3.3. Evaluación Práctica

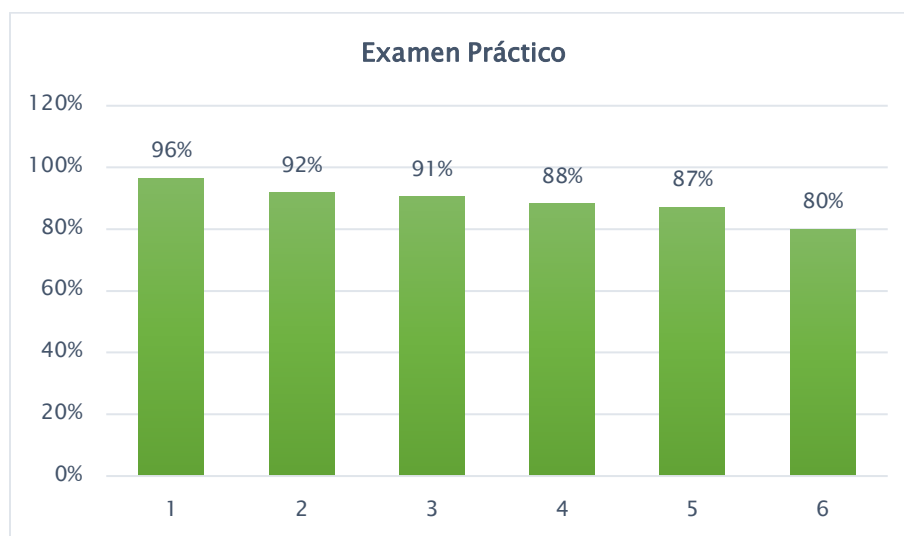
Tabla 27

Resultados de la evaluación específica.

| Evaluado/a | Nota 85/85 | Calificación de Examen Práctico |
|-----------------|-------------|---------------------------------|
| A | 82 | 96% |
| C | 78 | 92% |
| B | 77 | 91% |
| F | 75 | 88% |
| D | 74 | 87% |
| E | 68 | 80% |
| Promedio | 75.7 | 89% |

Figura 81

Diagrama de barras de los resultados del examen específico.



Resultado: Se obtiene como resultado en la evaluación específica valores en porcentaje entre el 80-96% que representa un promedio 89%, que indica que los participantes aprobaron el examen práctico, debido a que la nota mínima de aprobación es de 70%. Los participantes son capaces de inspeccionar probetas en un formato respectivo mediante el uso y calibración del equipamiento, aplicando la tónica de ultrasonido indicada por el evaluador.

4.3. Análisis de Normativa Local (INEN-ISO/TR 25107)

La normativa local INEN-ISO/TR 25107: Ensayos No Destructivos. Directrices para los Programas de Formación de Ensayos No Destructivos (END), establece una guía temática para un programa de curso de formación del personal en END, además de los requisitos mínimos que un aspirante debe cumplir para acceder al examen de tercera parte.

4.3.1. Recomendaciones para implementación del centro de capacitación con Normativa Local (INEN-ISO/TR 25107) en la técnica de ultrasonido.

4.3.1.1. Análisis de Contenidos de los Programas de Formación

Se analizan y comparan los contenidos de la Guía Temática IAEA TECDOC 268:2013 con la normativa local ISO/TR 25107:2006 en la Tabla 28.

Tabla 28

Comparación entre los contenidos del IAEA TECDOC y la ISO/TR 25107.

| Capítulo | IAEA TECDOC 628:2013 | ISO/TR 25107:2006 |
|-----------------|---|--|
| | Conocimientos Generales | Introducción a la terminología e historia de los END |
| 1 | <ul style="list-style-type: none"> • Métodos de END en general, describe las aplicaciones de cada método, así como las limitaciones de estos. • Responsabilidades del personal Nivel I, II y III. • Propiedades de los materiales. • Discontinuidades inherentes, de procedo y de servicio. | <ul style="list-style-type: none"> • Responsabilidades del personal de END. • Reseña histórica de los END y del método de Ultrasonido. • Terminología de los END y del método de Ultrasonido. |

| | | |
|---|--|---|
| | <p>Terminología, Principios Físicos y Fundamentos del Ultrasonido</p> <ul style="list-style-type: none"> Definición e historia del método de ultrasonido. Aplicaciones y propiedades del sonido. Principios físicos, propiedades del sonido. Tipos de ondas, fenómenos físicos que afectan al sonido. Características de los transductores, principios de funcionamiento. Características del campo sónico. | <p>Principios Físicos del método y conocimientos asociados</p> <ul style="list-style-type: none"> Principios físicos, propiedades del sonido. Tipos de ondas, fenómenos físicos que afectan al sonido. Características de los transductores, principios de funcionamiento. Características del campo sónico. |
| 2 | | |
| | <p>Técnicas de ensayo y sus limitaciones</p> <ul style="list-style-type: none"> Descripción de las técnicas de ultrasonido: Contacto directo, inmersión, transmisión y resonancia. Métodos de acoplamiento. Sistemas automáticos. | <p>Conocimiento sobre el producto y capacidad del método y sus técnicas derivadas</p> <ul style="list-style-type: none"> Discontinuidades inherentes, de procedo y de servicio. Técnicas de ensayo de acuerdo con las discontinuidades esperadas. Influencia de la geometría y la estructura del material en la inspección. |
| 3 | | |
| | <p>Equipos y accesorios</p> <ul style="list-style-type: none"> Modos de representación de un equipo de UT. Equipos analógicos y digitales. Controles y funciones de un equipo de ultrasonido. Acoplamientos. | <p>Equipo</p> <ul style="list-style-type: none"> Modos de representación de un equipo de UT. Equipos analógicos y digitales. Controles y funciones de un equipo de ultrasonido. Acoplamientos. |
| 4 | | |
| | <p>Calibración del sistema de ensayos</p> <ul style="list-style-type: none"> Calibración del sistema de ensayos con un transductor de simple y doble cristal. Calibración del sistema de ensayos con un transductor angular. Requerimientos de los bloques de calibración. Efectos variables. | <p>Información previa al ensayo</p> <ul style="list-style-type: none"> Instrucciones escritas preparadas por un Nivel II o III. Requisitos y objetivos. |
| 5 | | |
| | <p>Aplicaciones específicas</p> <ul style="list-style-type: none"> Técnicas de ensayo para planchas, fundición y palanquillas. Medición de espesores. Detección de corrosión. | <p>Ensayo</p> <ul style="list-style-type: none"> Requerimientos de los bloques de calibración. Técnicas de ensayo por ultrasonido: Contacto directo, inmersión. |
| 6 | | |

| | | |
|---|---|--|
| | | <ul style="list-style-type: none"> • Calibración del sistema de ensayos con un transductor de simple y doble cristal. • Calibración del sistema de ensayos con un transductor angular. • Medición de espesores. |
| | Códigos, Estándares, Especificaciones y Procedimientos | Evaluación e informe |
| 7 | <ul style="list-style-type: none"> • Códigos y estándares. • Procedimientos de calibración e inspección según normativa vigente. • Registro de resultados. • Preparación de los reportes de inspección. | <ul style="list-style-type: none"> • Registro de resultados. • Criterios de aceptación. • Procedimiento de inspección. • Reporte de resultados de inspección y cálculo de resultados. |
| | Reporte y evaluación de resultados | Aspectos sobre la calidad |
| 8 | <ul style="list-style-type: none"> • Reporte de resultados: Posición del defecto, amplitud del eco y criterios de aceptación. | <ul style="list-style-type: none"> • Cualificación del personal que realiza el ensayo. • Verificación del equipo. |

Nota: Se hace una comparación entre la guía temática del IAEA TECDOC 628:2013 con la que fue realizado el manual de capacitación, con la normativa local ISO/TR 25107:2006 (IAEA, 2013).

Aunque las normativas presentadas en la Tabla 28. comparten los contenidos propuestos para la elaboración de un curso de capacitación, estas difieren en el tiempo de instrucción teórica y práctica. En la Tabla 29. se muestra un análisis de las horas de formación en base a las temáticas presentadas por las normas antes mencionadas.

Tabla 29

Comparación para la duración de la formación en base a las temáticas presentadas.

| Temática | IAEA TECDOC 628:2013 | ISO/TR 25107:2006 |
|--|------------------------|-------------------|
| | Horas de entrenamiento | |
| Conocimientos generales | 4 | 8 |
| Aplicaciones específicas | 4 | |
| Terminología, Principios Físicos y Fundamentos del Ultrasonido | 8 | 10 |
| Técnicas de ensayo y sus limitaciones | 4 | 24 |
| Calibración del sistema de ensayos | 8 | |
| Equipos y accesorios | 4 | 12 |

| | | |
|---|-----------|-----------|
| Códigos, Estándares, Especificaciones y Procedimientos | 4 | 8 |
| Reporte y evaluación de resultados | 4 | |
| Total | 40 | 62 |

4.3.2. Propuesta para el Centro de Capacitación

Se hace la propuesta para el centro de capacitación con el fin de cumplir los requisitos mínimos para la formación del personal en el método de END Ultrasonido Nivel I dirigido al sector de los productos soldados, para que los aspirantes a posterior sean elegibles para los exámenes de cualificación que permiten la certificación de tercero parte.

4.3.2.1. Estructura Organizacional del Centro de Capacitación

Para el funcionamiento del centro de capacitación, se propone un comité técnico conformado por 5 miembros. Figura 82.

4.3.2.1.1. Responsabilidades del Comité Técnico de Capacitación

Los puntos detallados a continuación deben ser revisados por el comité técnico propuesto de la siguiente forma.

Tabla 30

Responsabilidades del comité de capacitación.

| Requisito | Responsabilidad |
|----------------------------------|---|
| Administración de los aspirantes | <ul style="list-style-type: none"> • Publicación de los precios, modos y fechas límite de pago de los respectivos cursos. • Programación del curso (fecha, hora, lugar). • Alojamiento y comida (Opcional). • Equipos necesarios por utilizar por parte del aspirante y el centro de capacitación. • Equipos de protección personal • Material didáctico para los aspirantes. |
| Evaluación de los aspirantes | <ul style="list-style-type: none"> • Evaluaciones teóricas y prácticas al aspirante. |
| Programas de capacitación | <ul style="list-style-type: none"> • Dar a conocer el temario del programa de capacitación a los aspirantes. • Programas actualizados según el desarrollo del entorno. • Folletos, guías y manuales entregados al aspirante. |
| Infraestructura | <ul style="list-style-type: none"> • Salones de clase con iluminación y ventilación adecuada (el área se define según el número de participantes). |

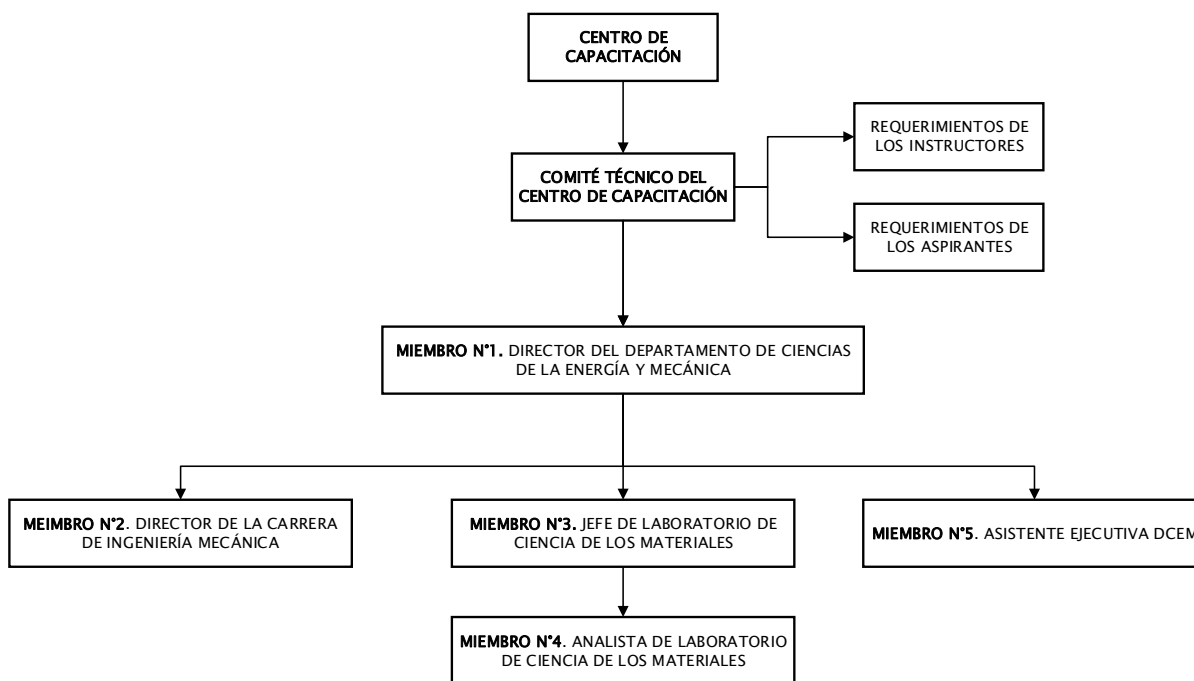
| | |
|---------------------------------------|---|
| | <ul style="list-style-type: none"> • Pizarras, proyectores, equipos de video. • Laboratorios con iluminación y ventilación adecuada. • Equipos y herramientas (equipo de ultrasonido, patrones de calibración). |
| Probetas soldadas | <ul style="list-style-type: none"> • Disponibilidad de las probetas de entrenamiento/prueba (según el número de participantes). • Informes maestros de las probetas. |
| Biblioteca técnica | <ul style="list-style-type: none"> • Normas, códigos y estándares (correspondientes para el método). • Acceso de los participantes a la biblioteca técnica. |
| Personal docente | <ul style="list-style-type: none"> • Personal calificado según en método de END Nivel III. |
| Registro de la capacitación | <ul style="list-style-type: none"> • Registro de los aspirantes (nombres completos, dirección, fechas de inicio y fin, horas de duración, instructor designado). • Registro de los instructores (formación, experiencia, calificación y certificación en el método de END, nivel y sector respectivo). • Encuestas de satisfacción (evaluación de reacción). |
| Gestión del organismo de capacitación | <ul style="list-style-type: none"> • Designación del personal encargado de la gestión de calidad. |

Nota: Se describe a detalle las responsabilidades de cada uno de los integrantes del comité técnico de capacitación propuesto. Recuperado de (ISO, 2005).

Normativas de Referencia: ISO 9712:2012, IAEA TECDOC 628:2013, ISO/TR 25107:2006, ISO/TR 25104:2005.

Figura 82

Estructura organizacional planteada para el centro de capacitación.



Este proyecto es impulsado por el Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica (DCEM), por lo tanto, los miembros del comité propuesto forman parte de este.

4.3.2.2. Recomendaciones para formar el centro de capacitación

Las recomendaciones indicadas a continuación, se elaboraron en base al desarrollo del presente proyecto y evento de capacitación, donde se evidencia algunos requerimientos y necesidades que se presentaron.

4.3.2.2.1. Equipamiento

El equipamiento de Ultrasonido convencional es primordial para el proceso de formación práctica y evaluación a los participantes.

- Adquisición de un mayor número de equipos de Ultrasonido para detección de fallas y medición de espesores, con un mínimo de 1 equipo por cada 2 participantes.

- Adquisición de transductores de distintas formas, dimensiones y frecuencias de haz recto y haz angular, mínimo 10 transductores por cada equipo.
- Adquisición de cables coaxiales para la conexión de los transductores a los equipos de ultrasonido.

Nota: La compra o alquiler de equipamiento suple esta necesidad y estos deben disponer de sus respectivos certificados de calibración actualizados.

4.3.2.2.2. Patrones

Los patrones de calibración son necesarios para los procedimientos de calibración y verificación del equipamiento, así como son pieza fundamental para la etapa de formación práctica de los participantes.

Se recomienda contar con un mínimo de 3 bloques de calibración por cada equipo de ultrasonido disponible.

- Adquisición de bloques de calibración como:
 - Bloque de calibración AWS de distancia y sensibilidad DS (Acero, aluminio).
 - Bloque de calibración AWS de resolución RC (Acero, aleaciones especiales).
 - Bloque de calibración según el Código ASME Sección V T-434.2-1 (Curvas DAC) [Nivel II].
 - Bloque de calibración para tubería según el Código ASME Sección V T-434.3-1.
 - Bloque de calibración de 5 niveles de espesor (Cobre, Acero inoxidable, aluminio).
- Almacenamiento adecuado de los patrones de calibración, preferentemente en el Laboratorio de Metrología de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, para su conservación. Se disponen de los siguientes bloques.
 - Bloque de calibración IIW Tipo I.

- Bloque de calibración IIW Tipo II.
- Bloque de resolución 30 FBH.
- Placa de referencia ASME N-625.
- Bloque NAVSHIPS.

4.3.2.2.3. Personal

El personal que imparte el curso de capacitación (instructor) debe cumplir con los siguientes requisitos:

- Certificación de Nivel III en el método de END aplicable (Ultrasonido industrial en el sector de los productos soldados).
- Documentación que respalden las cualificaciones y certificaciones del instructor en el método aplicable.

4.3.2.2.4. Instalaciones

Se recomienda que el área para impartir las clases teóricas del curso de formación sean las aulas de clase o auditorios de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE en modalidad presencial, donde se requiere una capacidad máxima para 16 participantes. Para la modalidad semipresencial, se dictará el contenido teórico por medio de las plataformas virtuales como Google Meets.

El contenido práctico se impartirá únicamente de forma presencial en los laboratorios de Ciencia de los Materiales.

Las aulas designadas y el Laboratorio de Ciencia de los Materiales deben contar con buena ventilación e iluminación, además de cumplir con las normas de bioseguridad pertinentes:

- Distanciamiento social de 2 m.
- Uso de mascarilla en todo momento.

- Lavado frecuente de manos.
- Uso de alcohol.

Nota: Previo el ingreso al laboratorio de Ciencia de los Materiales, se debe poner en conocimiento las normas de seguridad para el área y verificar que todos los asistentes dispongan y utilicen el Equipo de Protección Personal adecuado.

4.3.2.2.5. Probetas de Entrenamiento

Las probetas de entrenamiento con su respectivo informe maestro, deberán ser resguardados por una persona designada por el Comité Técnico de Capacitación, de tal manera que estos estén disponibles para el desarrollo del curso de capacitación.

Si se desea ampliar el alcance del curso de capacitación, se deben desarrollar probetas de entrenamiento dirigidas a los sectores de la industria como, por ejemplo:

- Productos fundidos con discontinuidades inherentes y otros materiales con discontinuidades de proceso, que podrían ser fabricados en la asignatura de Procesos de Conformado y Fundición con los estudiantes de pregrado de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE.
- Productos forjados que podrían ser fabricados en el Laboratorio de Ciencia de los Materiales con los estudiantes de pregrado de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE.
- Acero inoxidable con discontinuidades inducidas.
- Materiales revestidos (Cladd Materials) ya que son utilizados en plantas petroquímicas y refinerías.

4.3.2.2.6. Probetas de Examen Práctico

Las probetas de examen práctico, al igual que las probetas de entrenamiento, deben contar con su respectivo informe maestro, que deberán ser resguardados por una persona

designada por el Comité Técnico de Capacitación, de tal manera que estos estén disponibles para la evaluación práctica.

Si se desea ampliar el alcance del curso de capacitación, se deben desarrollar probetas de evaluación práctica como son:

- Productos fundidos con discontinuidades inherentes y otros materiales con discontinuidades de proceso, que podrían ser fabricados en la asignatura de Procesos de Conformado y Fundición con los estudiantes de pregrado de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE.
- Productos forjados que podrían ser fabricados en el Laboratorio de Ciencia de los Materiales con los estudiantes de pregrado de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE.
- Acero inoxidable con discontinuidades inducidas.
- Materiales revestidos (Cladd Materials) ya que son utilizados en plantas petroquímicas y refinerías.

La Norma ISO 9712:2012 determina en el Anexo B, Tabla B.1, el número mínimo y el tipo de probetas para el examen práctico, clasificadas según el sector productivo al que van dirigidas, tanto para Nivel I como Nivel II. Se establece como mínimo por cada sector productivo 2 probetas.

4.3.2.2.7. Contenido

Se recomienda mantener actualizados los contenidos de cada unidad del manual de capacitación MC-ESPE-ENDP-01 y las ayudas didácticas DP-ESPE-ENDP-01 de forma anual. El Comité Técnico designa al personal Nivel III para su revisión y aprobación.

Crear un área donde se disponga de la biblioteca técnica de fácil acceso a las normativas, códigos y estándares para los participantes.

Capítulo V

Conclusiones y Recomendaciones

5.1. Conclusiones

- El manual de capacitación MC-ESPE-ENDP-01 cumple con los lineamientos de la guía temática IAEA TECDOC 628:2013, este contempla las horas de formación establecidas en el estándar ISO 9712:2012 para el método de Ultrasonido Industrial Nivel I. En la unidad VII del manual de capacitación correspondiente a Códigos, Estándares, Especificaciones y Procedimientos se desarrolló un procedimiento de calibración e inspección en base al código AWS D1.1:2020.
- El manual de capacitación y las ayudas didácticas desarrolladas en base a los lineamientos de la guía temática IAEA TECDOC 628:2013 consta de 8 unidades en las que se detallan los conocimientos generales del método de ultrasonido para calificación y certificación nivel I; principios físicos, técnicas de ensayo, uso del equipamiento, calibración del sistema de ensayos, aplicaciones específicas, uso de normativas y registro de resultados.
- Al finalizar el evento de capacitación impartido en la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, se analizaron los resultados obtenidos en las evaluaciones de reacción (encuesta de satisfacción), dando como resultado una respuesta positiva por parte de los participantes en el contenido impartido y evaluaciones de aprendizaje teóricas (Examen general y específico), obteniendo un resultado una aprobación del 93% y en lo referente al examen práctico se obtuvo una aprobación del 89%; lo que indica que el manual de capacitación y las ayudas didácticas son apropiadas para la propuesta del curso de formación planteada dentro de este proyecto.

- Como material de apoyo para el curso de capacitación, se desarrollaron probetas de entrenamiento con sus respectivos informes maestros, como lo son placas con juntas en V y X fabricadas con proceso SMAW y juntas tubulares con preparación de bisel en V fabricadas con proceso GTAW/SMAW.
- Es factible el desarrollo de la propuesta del curso de formación para Nivel I en el método de ultrasonido industrial ya que se cumple con las instalaciones y los contenidos desarrollados inclusive son adecuados en comparación con los requerimientos de la Normativa Ecuatoriana NTE INEN ISO/TR 25107:2006, proponiendo la formación, estructura y responsabilidades de un Comité Técnico para el manejo del Centro de Capacitación.

5.2. Recomendaciones

- Conformar un Comité Técnico con el personal del Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica DCEM, con el fin de garantizar el manejo, administración general y organización de los cursos de capacitación.
- Incorporar por parte del Comité Técnico propuesto un Instructor Inspector Nivel III certificado bajo la norma ISO 9712:2012 en el método de END de Ultrasonido Industrial, dirigido a los productos soldados.
- Adquisición de equipamiento necesario para cumplir la mínima demanda de participantes al curso de formación, como lo son equipos de detección de fallas, medición de espesores, patrones de calibración, transductores, entre otros; esto permite un mejor manejo de las clases prácticas con los participantes. El desarrollo de las explicaciones para diferentes configuraciones permite ser planteadas y analizadas en base a comparaciones con diferente equipamiento.

- Fabricación de un mayor número de probetas de entrenamiento, con la finalidad de disponer una diversidad de casos aplicables a la industria actual, esto se podría desarrollar en conjunto con los estudiantes de pregrado en la asignatura de Procesos de conformado y fundición, generando discontinuidades inherentes y de proceso.
- Desarrollar una propuesta de curso de formación para el método de END ultrasonido industrial Nivel II y demás métodos especificados en la norma ISO 9712:2012.

Anexos

- Anexo a. Manual de capacitación.
- Anexo b. Ayudas didácticas: diapositivas.
- Anexo c. Procedimientos de Soldadura Utilizados WPS.
- Anexo d. Informes independientes UT y RT.
- Anexo e. Informes maestros para probetas de entrenamiento y examen práctico.
- Anexo f. Formatos de inspección.
- Anexo g. Procedimiento de inspección.
- Anexo h. Guía de Ponderación para Nivel I.
- Anexo i. Formato de evaluación de reacción.
- Anexo j. Registro de asistencia.
- Anexo k. Verificación de medidas de los patrones de calibración.
- Anexo l. Banco de preguntas recomendados.

Bibliografía

- ACOSEND. (2016). *Reglamento para Inspectores de Ensayos No Destructivos*. ACOSEND.
- AENOR. (2012). *UNE-EN ISO 9712*. AENOR.
- ASME. (2018). ASME Code for Pressure Piping. B31.1-2018. *Chemical Engineer*, 76(8), 95–108. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-818648-0.00002-8>
- ASTM. (2015). ASTM E797. Standard Practice for Measuring Thickness by Manual Ultrasonic Pulse-Echo Contact Method. *Practice*, 95(Reapproved), 1–7.
- Casadevall, D. (2017). *Acústica*.
- Castillo, S., & Inostroza, M. (2013). Ensayos No Destructivos Mediante Ultrasonido en Equipos Termicos. *Universidad Del Bío-Bío*.
- Gómez de León, E. (2009). *Ultrasonidos Nivel II* (FUNDACIÓN CONFEMETAL (ed.)).
- IAEA. (2013). *Training Guidelines in Non-destructive Testing Techniques*. 1731, 2016–2021.
- IAEA. (2018). *Training Guidelines in Non-destructive Testing Techniques* (Issue 1731).
- ISO. (2005). *Non-destructive testing - Guidelines for NDT personnel training organizations - ISO/TR 25108*.
- ISO. (2007). *Non-destructive testing — Discontinuities in specimens for use in qualification examinations - ISO/TS 22809*.
- Lincoln Electric. (n.d.). *Lincoln 7018-1* (Vol. 300, Issue 1, p. 2).
- Martínez, J. L. (2018). *PRORED | La reflexión en las ondas y radioenlaces*. Radioenlace. <https://www.prored.es/la-reflexion-en-las-ondas-y-radioenlaces/>
- Mundo Microscopio. (2014). *Longitud de Onda (Definición y Ejemplos)*. <https://www.mundomicroscopio.com/longitud-de-onda/>
- Olympus. (2009). *Serie EPOCH™ 1000 Manual del usuario*.

Ospina Rave, B. E., Sandoval, J. de J., Aristizábal Botero, C. A., & Ramírez Gómez, M. C. (2003). La escala de Likert en la valoración de los conocimientos y las actitudes de los profesionales de enfermería en el cuidado de la salud. *Investigación y Educación En Enfermería*, 23(1), 14–29.

Santos De La Cruz, E., Cancino Vera, N., Yenque Dedios, J., Ramírez Morales, D., & Palomino Pérez, M. (2014). El Ultrasonido Y Su Aplicación. *Industrial Data*, 8(1), 025.
<https://doi.org/10.15381/idata.v8i1.6153>