

INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR AERONÁUTICO

CARRERA DE MECÁNICA AERONÁUTICA

**“ELABORACIÓN DE UNA GUÍA PRÁCTICA PARA LA MEDICIÓN DE
ESPEORES POR ULTRASONIDO EN UNA ESTACIÓN DE TRABAJO”**

POR:

ARMENDÁRIZ RENGEL SOLANGE ESMERALDA

**Trabajo de Graduación como requisito previo para la obtención del Título
de:**

**TECNÓLOGA EN MECÁNICA AERONÁUTICA
MENCIÓN MOTORES**

2013

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente Trabajo de Graduación fue realizado en su totalidad por la SRTA. ARMENDÁRIZ RENGEL SOLANGE ESMERALDA, como requerimiento parcial para la obtención del título de TECNÓLOGA EN MECÁNICA AERONÁUTICA MENCIÓN MOTORES.

SGOS. TÉC. AVC. BASANTES MARCO
DIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN

Latacunga, Septiembre 04, 2013.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional.

A mi Madre, por ser el pilar más importante, quien ha sabido formarme con buenos sentimientos, consejos, hábitos y valores que me han servido para culminar mi carrera profesional.

De igual manera dedico este trabajo a mi hermano que siempre ha estado junto a mí, brindándome su apoyo.

También dedico a mi tía Elvia, a quien quiero como a una madre, por compartir momentos significativos conmigo y por siempre estar dispuesta a escucharme y ayudarme en cualquier momento.

Armendáriz Rengel Solange Esmeralda

AGRADECIMIENTO

Primeramente doy las gracias a Dios, por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente, por protegerme y darme fuerzas para superar obstáculos y dificultades a lo largo de toda mi vida.

A mi Madre, que con su demostración de cariño y apoyo incondicional me ha enseñado a no desfallecer ni rendirme ante nada y siempre perseverar a través de sus sabios consejos.

A mi hermano, por compartir momentos de alegría, tristeza y demostrarme que siempre podré contar con él.

De igual manera agradezco a mi tía Elvia, por su apoyo incondicional y por demostrarme la gran fe que tiene en mí.

También agradezco al Sgos. Téc. Avc. Basantes Marco, director de proyecto de grado, por su valiosa guía y asesoramiento a la realización de la misma.

Armendáriz Rengel Solange Esmeralda

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PÁGINAS PRELIMINARES

| | |
|----------------------------|-------|
| Portada | i |
| Certificación | ii |
| Dedicatoria..... | iii |
| Agradecimiento | iv |
| Índice de contenidos | v |
| Índice de tablas | xi |
| Índice de figuras..... | xii |
| Índice de anexos..... | xvi |
| Resumen | xvii |
| Summary | xviii |

CAPÍTULO I

EL TEMA

| | |
|---------------------------------------|---|
| 1.1 Antecedentes | 1 |
| 1.2 Justificación e importancia | 2 |
| 1.3 Objetivos..... | 2 |
| 1.3.1 Objetivo general | 2 |
| 1.3.2 Objetivos específicos | 3 |
| 1.4 Alcance | 3 |

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

| | |
|---|---|
| 2.1 Ensayos no destructivos | 4 |
| 2.2 Elementos básicos de un ensayo no destructivo | 4 |
| 2.2.1 Fuente..... | 4 |
| 2.2.2 Modificación | 4 |
| 2.2.3 Detección | 4 |

| | |
|---|----|
| 2.2.4 Indicación | 5 |
| 2.2.5 Interpretación | 5 |
| 2.2.6 Evaluación | 5 |
| 2.2.7 Defecto..... | 5 |
| 2.3 Personal..... | 5 |
| 2.3.1 Nivel 1 | 5 |
| 2.3.2 Nivel 2..... | 5 |
| 2.3.3 Nivel 3..... | 6 |
| 2.4 Aplicación de NDI | 6 |
| 2.4.1 Defectología..... | 6 |
| 2.4.2 Caracterización | 6 |
| 2.4.3 Metrología..... | 6 |
| 2.5 Clasificación de las prácticas no destructivas..... | 7 |
| 2.5.1 Pruebas no destructivas superficiales | 7 |
| 2.5.1.1 Inspección visual..... | 7 |
| 2.5.1.2 Líquidos penetrantes..... | 8 |
| 2.5.1.3 Partículas magnéticas | 9 |
| 2.5.1.4 Corrientes inducidas..... | 10 |
| 2.5.2 Pruebas no destructivas de hermeticidad..... | 11 |
| 2.5.3 Pruebas no destructivas volumétricas | 11 |
| 2.5.3.1 Radiografía | 12 |
| 2.5.3.2 Ultrasonido | 13 |
| 2.5.3.2.1 Orígenes de la prueba por ultrasonido | 13 |
| 2.5.3.2.2 Definición y propósito de la prueba por ultrasonido | 14 |
| 2.5.3.2.3 Principio del método de ultrasonido..... | 15 |
| 2.5.3.2.4 Ventajas de la inspección por ultrasonido | 17 |
| 2.5.3.2.5 Limitaciones de la inspección por ultrasonido | 18 |
| 2.5.3.2.6 Métodos y técnicas de inspección ultrasónica | 19 |
| 2.5.3.2.6.1 Técnicas de inspección | 19 |
| 2.5.3.2.6.1.1 Contacto directo | 19 |
| 2.5.3.2.6.1.2 Inmersión | 20 |
| 2.5.3.2.6.2 Métodos de inspección..... | 21 |
| 2.5.3.2.6.2.1 Pulso -eco | 21 |
| 2.5.3.2.6.2.2 Onda continua..... | 22 |

| | |
|--|----|
| 2.5.3.2.7 Formas de presentación de los resultados | 23 |
| 2.5.3.2.7.1 Presentación tipo A-Scan | 23 |
| 2.5.3.2.7.2 Presentación tipo B-Scan | 24 |
| 2.5.3.2.7.3 Presentación tipo C-Scan..... | 25 |
| 2.5.3.2.7.4 Presentación digital o analógica | 25 |
| 2.5.3.2.8 Aplicaciones de la inspección ultrasónica..... | 27 |
| 2.5.3.2.8.1 Detección de discontinuidades | 28 |
| 2.5.3.2.8.2 Medición de espesores..... | 28 |
| 2.5.3.2.9 Bloques de calibración | 29 |
| 2.5.3.2.9.1 Bloque escalonado o de pasos..... | 31 |
| 2.5.3.2.10 Transductores | 31 |
| 2.5.3.2.10.1 Transductor piezoeléctrico..... | 32 |
| 2.5.3.2.10.2 Piezoelectricidad | 32 |
| 2.5.3.2.10.3 Material piezoeléctrico (cuarzo) | 33 |
| 2.5.3.2.10.4 Componentes de un transductor | 33 |
| 2.5.3.2.10.5 Clasificación de los transductores | 34 |
| 2.5.3.2.11 Suministrador de energía | 35 |
| 2.5.3.2.12 Cable coaxial..... | 36 |
| 2.5.3.2.13 Acoplante | 37 |
| 2.5.3.2.13.1 Características de un líquido acoplante | 37 |
| 2.5.3.2.13.2 Tipos de acoplantes | 37 |

CAPÍTULO III

DESARROLLO DEL TEMA

| | |
|--|----|
| 3.1 Preliminares | 39 |
| 3.2 Equipo de medición de espesores por ultrasonido UM-2D..... | 39 |
| 3.2.1 Introducción | 39 |
| 3.2.2 Especificaciones técnicas | 40 |
| 3.2.2.1 Rango de medición | 40 |
| 3.2.2.2 Resolución de pantalla | 40 |
| 3.2.2.3 Capacidad de memoria | 40 |
| 3.2.2.4 Frecuencia de medición | 40 |
| 3.2.2.5 Rango de velocidad de sonido | 40 |

| | |
|--|----|
| 3.2.2.6 Batería | 40 |
| 3.2.2.7 Dimensiones | 40 |
| 3.2.2.8 Temperatura de trabajo | 40 |
| 3.2.2.9 Humedad relativa | 40 |
| 3.2.2.10 Peso | 40 |
| 3.2.3 Nombres y funciones para el UM-2D..... | 41 |
| 3.2.3.1 Ilustraciones de las teclas y sus funciones | 41 |
| 3.2.3.1.1 Tecla encender o resetear..... | 41 |
| 3.2.3.1.2 Tecla menú | 41 |
| 3.2.3.1.3 Tecla enter | 41 |
| 3.2.3.1.4 Tecla de calibración | 42 |
| 3.2.3.1.5 Teclas de operación | 42 |
| 3.2.3.1.6 Tecla de velocidad de sonido | 42 |
| 3.3 Guía práctica para medición de espesores por ultrasonido en una estación de trabajo | 43 |
| 3.3.1 Guía práctica para componentes sin recubrimiento..... | 43 |
| 3.3.2 Guía práctica para componentes con recubrimiento | 47 |
| 3.3.3 Guía práctica para mantenimiento del equipo de inspección..... | 51 |
| 3.3.4 Guía de procedimientos para cambio de unidades en el equipo de inspección | 52 |
| 3.3.5 Guía de procedimientos para ajuste de probeta en el equipo de inspección | 53 |
| 3.3.6 Guía de procedimientos para cambio de resolución en el equipo de inspección | 54 |
| 3.3.7 Guía de procedimientos para configuración y operación de captura mínima en el equipo de inspección | 55 |
| 3.3.8 Guía de procedimientos para configuración y operación de dos puntos de calibración en el equipo de inspección | 56 |
| 3.3.9 Guía de procedimientos para configuración del idioma en el equipo de inspección..... | 58 |
| 3.3.10 Guía de procedimientos para calibración del equipo de inspección | 59 |
| 3.3.11 Guía de métodos de medición de espesores con el equipo de inspección | 60 |
| 3.3.12 Lista de velocidades de sonido de materiales | 65 |

| | |
|---|-----|
| 3.3.13 Reporte de inspección por ultrasonido | 67 |
| 3.3.13.1 Instrucciones de llenado del reporte de inspección | 68 |
| 3.3.14 Aplicación de la guía práctica para medición de espesores sin recubrimiento | 69 |
| 3.3.14.1 Guía práctica para inspección ultrasónica del bloque de referencia P/N: NDTUT-RB-01 sin recubrimiento | 69 |
| 3.3.14.2 Guía práctica para inspección ultrasónica del bloque de referencia P/N: NDTUT-RB-02 sin recubrimiento | 81 |
| 3.3.14.3 Guía práctica para inspección ultrasónica del bloque de referencia P/N: NDTUT-RB-04 con dos puntos de calibración | 86 |
| 3.3.14.4 Guía práctica para inspección ultrasónica del bloque de referencia P/N: NDTUT-RB-04 con captura mínima activada | 91 |
| 3.3.14.5 Guía práctica para inspección ultrasónica del bloque de referencia P/N: NDTUT-RB-03 | 97 |
| 3.3.15 Aplicación de la guía práctica para medición de espesores con recubrimiento | 101 |
| 3.3.15.1 Guía práctica para inspección ultrasónica del bloque de referencia P/N: NDTUT-RB-01 con recubrimiento | 101 |
| 3.3.15.2 Guía práctica para inspección ultrasónica del bloque de referencia P/N: NDTUT-RB-02 con recubrimiento | 106 |
| 3.4 Estudio económico | 109 |
| 3.4.1 Costos primarios | 109 |
| 3.4.2 Costos secundarios..... | 109 |
| 3.4.2 Costo total del proyecto..... | 109 |

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

| | |
|---------------------------|-----|
| 4.1 Conclusiones | 110 |
| 4.2 Recomendaciones | 111 |
| GLOSARIO | 112 |
| NOMENCLATURA | 115 |

| | |
|------------------------------|-----|
| BIBLIOGRAFÍA | 117 |
| ANEXOS | 118 |
| HOJA DE VIDA | 140 |
| LEGALIZACIÓN DE FIRMAS | 142 |
| CESIÓN DE DERECHOS | 143 |

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

| | |
|---|----|
| Tabla 2.1. Características del cuarzo | 33 |
|---|----|

CAPÍTULO III DESARROLLO DEL TEMA

| | |
|---|-----|
| Tabla 3.1. Probetas a usar de acuerdo al diámetro de la tubería | 63 |
| Tabla 3.2. Velocidades de sonido de los materiales | 65 |
| Tabla 3.3. Costos primarios de equipos y unidades implementadas | 109 |
| Tabla 3.4. Costos secundarios del proyecto | 109 |
| Tabla 3.5. Costo total del proyecto | 109 |

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

| | |
|--|----|
| Figura 2.1. Inspección visual de álabes del compresor | 8 |
| Figura 2.2. Proceso del END por líquidos penetrantes | 8 |
| Figura 2.3. Pernos inspeccionados por líquidos penetrantes | 9 |
| Figura 2.4. Inspección por partículas magnéticas | 10 |
| Figura 2.5. Inspección por corrientes inducidas | 11 |
| Figura 2.6. Esquema de inspección por radiografía industrial | 12 |
| Figura 2.7. Aplicación típica de inspección por radiografía industrial | 13 |
| Figura 2.8. Espectro de ondas acústicas | 15 |
| Figura 2.9. Diagrama de inspección por pulso-eco | 16 |
| Figura 2.10. Inspección por ultrasonido | 17 |
| Figura 2.11. Esquema de inspección por contacto directo | 19 |
| Figura 2.12. Esquema de inspección por inmersión | 20 |
| Figura 2.13. Esquema de inspección por contacto directo | 21 |
| Figura 2.14. Aplicación del método de contacto por transparencia | 22 |
| Figura 2.15. Presentación A-Scan | 24 |
| Figura 2.16. Presentación B-Scan | 24 |
| Figura 2.17. Presentación C-Scan | 25 |
| Figura 2.18. Equipo medidor de espesores | 28 |
| Figura 2.19. Calibración del equipo medidor de espesores | 30 |
| Figura 2.20. Bloque de calibración de acero en 4 pasos | 31 |
| Figura 2.21. Transductor de contacto | 34 |
| Figura 2.22. Transductor dúplex | 35 |
| Figura 2.23. Baterías recargables AA | 36 |
| Figura 2.24. Cable coaxial de medidor de espesores | 36 |
| Figura 2.25. Ultragel (inhibidor de la corrosión) | 37 |

CAPÍTULO III

DESARROLLO DEL TEMA

| | |
|---|----|
| Figura 3.1. Conexión de probeta y encendido del equipo de inspección | 43 |
| Figura 3.2. Conexión de probeta y encendido del instrumento de inspección | 47 |
| Figura 3.3. Método doble de medida | 60 |
| Figura 3.4. Método de precisión de medida | 61 |
| Figura 3.5. Medida continua a lo largo de una línea | 62 |
| Figura 3.6. Muestra de tubería | 63 |
| Figura 3.7. Muestra de probeta | 64 |
| Figura 3.8. Vista inferior de la probeta | 64 |
| Figura 3.9. Bloque de referencia de aluminio P/N: NDTUT-RB-01 | 69 |
| Figura 3.10. Equipo de medición de espesores y acoplante | 70 |
| Figura 3.11. Encendido del equipo de medición de espesores | 70 |
| Figura 3.12. Función de configuración del sistema | 71 |
| Figura 3.13. Unidades métricas | 71 |
| Figura 3.14. Unidades imperiales | 72 |
| Figura 3.15. Configuración de probeta (Probeta PT-08)..... | 72 |
| Figura 3.16. Cambio de resolución (alta)..... | 73 |
| Figura 3.17. Configuración de captura mínima (apagada) | 73 |
| Figura 3.18. Ajuste de dos puntos de calibración(apagado) | 74 |
| Figura 3.19. Configuración del idioma | 74 |
| Figura 3.20. Cambio de modo de operación | 75 |
| Figura 3.21. Limpieza de bloque P/N: NDTUT-RB-01 para ser examinado | 75 |
| Figura 3.22. Ajuste de velocidad de sonido | 76 |
| Figura 3.23. Gota de acoplante en el bloque de calibración | 76 |
| Figura 3.24. Probeta en contacto con el bloque de calibración | 77 |
| Figura 3.25. Probeta sin contacto con el bloque de calibración | 77 |
| Figura 3.26. Equipo listo para almacenar información en el archivo #1 | 78 |
| Figura 3.27. Probeta PT-08 en contacto con la superficie del bloque #1 | 78 |
| Figura 3.28. Medición del espesor del primer escalón del bloque #1 | 79 |
| Figura 3.29. Limpieza del bloque de referencia después de la inspección | 79 |
| Figura 3.30. Lectura de datos de espesores del primer escalón del bloque #1 ... | 80 |
| Figura 3.31. Bloque de referencia de aluminio P/N: NDTUT-RB-02 | 81 |

| | |
|---|-----|
| Figura 3.32. Bloque de referencia de aluminio con acoplante | 82 |
| Figura 3.33. Probeta en contacto con el bloque de referencia de aluminio | 83 |
| Figura 3.34. Espesor medido del segundo escalón del bloque de referencia | 83 |
| Figura 3.35. Medición del quinto escalón del bloque de referencia | 84 |
| Figura 3.36. Limpieza final del bloque de referencia de aluminio | 84 |
| Figura 3.37. Lectura de datos de la medición del segundo escalón el bloque | 85 |
| Figura 3.38. Configuración de dos puntos de calibración | 87 |
| Figura 3.39. Preparación de superficies de láminas de aluminio | 87 |
| Figura 3.40. Calibración del espesor menor..... | 88 |
| Figura 3.41. Ajuste del espesor menor | 88 |
| Figura 3.42. Medición y ajuste del espesor mayor | 89 |
| Figura 3.43. Medición de espesores intermedios | 89 |
| Figura 3.44. Limpieza final de bloque de referencia #4 | 90 |
| Figura 3.45. Ajuste de captura mínima (encendido) | 92 |
| Figura 3.46. Preparación de láminas ALCLAD 2024 T3 para su inspección | 92 |
| Figura 3.47. Medición del espesor #1(menor) | 93 |
| Figura 3.48. Medición del espesor #2 | 93 |
| Figura 3.49. Medición del espesor #3 | 94 |
| Figura 3.50. Medición del espesor #4 | 94 |
| Figura 3.51. Captura del espesor mínimo de las cuatro medidas anteriores | 95 |
| Figura 3.52. Almacenamiento de láminas del bloque #4 | 95 |
| Figura 3.53. Cambio al modo estándar | 98 |
| Figura 3.54. Preparación de la superficie del bloque P/N: NDTUT-RB-03 | 98 |
| Figura 3.55. Ajuste de la velocidad de sonido del acero | 99 |
| Figura 3.56. Medición de espesores de tubo con escalones internos | 99 |
| Figura 3.57. Limpieza del bloque de referencia #3 | 100 |
| Figura 3.58. Lectura de resultados del primer escalón del bloque #3 | 100 |
| Figura 3.59. Cambio al modo de medición con recubrimiento | 102 |
| Figura 3.60. Preparación de la superficie con recubrimiento del bloque #1 | 102 |
| Figura 3.61. Lectura de resultados del primer escalón del bloque #3 | 103 |
| Figura 3.62. Probeta en contacto con la superficie recubierta del bloque #1 | 103 |
| Figura 3.63. Medición del tercer escalón recubierto del bloque #1 | 104 |
| Figura 3.64. Limpieza final del bloque #1 | 104 |
| Figura 3.65. Lectura de datos almacenados en la medición del tercer escalón .. | 105 |

| | |
|--|-----|
| Figura 3.66. Preparación de la superficie recubierta del bloque #2 | 107 |
| Figura 3.67. Medición del segundo escalón del bloque #2 | 107 |
| Figura 3.68. Limpieza final del bloque #2 | 108 |
| Figura 3.69. Lectura de datos almacenados del primer escalón del bloque #2 . | 108 |

ÍNDICE DE ANEXOS

| | |
|---|-----|
| Anexo A: Trabajo final | 119 |
| Anexo B: Certificado de calibración del equipo medidor de espesores | 121 |
| Anexo C: Bloque de calibración P/N: NDTUT-RB-01 | 123 |
| Anexo D: Bloque de calibración P/N: NDTUT-RB-02 | 125 |
| Anexo E: Bloque de calibración P/N: NDTUT-RB-03 | 127 |
| Anexo F: Normas ASTM para medición de espesores por ultrasonido | 130 |
| Anexo G: Trazabilidad del material utilizado para la elaboración de los bloques de calibración | 138 |

RESUMEN

El presente trabajo de graduación contiene de manera detallada la elaboración de una guía práctica de inspección no destructiva (NDI) para medición de espesores por el método de ultrasonido, se realizó según el programa analítico de la cátedra Materiales y Procesos para fortalecer la experiencia en la formación académica de los alumnos de mecánica aeronáutica.

Para iniciar se detalla la concepción del tema y se fundamenta la necesidad de poseer un equipo de medición de espesores, además se establecen los objetivos a alcanzarse de una manera ordenada para así obtener resultados adecuados.

La presente guía práctica contiene una Hoja de Reportes de Inspección que servirá como fuente de investigación a todo aquel que presente interés por los métodos de NDT dentro y fuera del ámbito aeronáutico.

Para realizar la inspección se implementó un equipo de medición de espesores que utiliza el ultrasonido para mencionado objetivo, el mismo que cuenta también con gel acoplante y cable de datos, los mismos que se encuentran en condiciones satisfactorias para instruir apropiadamente al estudiante.

SUMMARY

This includes graduate work in detail the development of a practical guide for Nondestructive Inspection (NDI) thickness measurement by the ultrasound method, was performed according to the analytical program of Materials and Processes to strengthen the academic experience of students aeronautical mechanics.

To start, is detailed the conception of the subject and makes the case for owning a thickness measurement equipment, and sets forth the objectives to be reached in an orderly manner in order to obtain adequate results.

This practical guide contains a sheet Inspection Reports that will serve as a source of research to all who present interest in NDT methods inside and outside the aviation field.

To perform the inspection, were implemented a thickness ultrasonic gauge, the same which also has coupling gel and data cable, the same are in satisfactory condition to properly instruct the student.

CAPÍTULO I

EL TEMA

1.1 Antecedentes

El Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico (ITSA) ubicado en la ciudad de Latacunga – Provincia de Cotopaxi, conocedor de la necesidad de profesionales dentro del campo aeronáutico, prepara y capacita personal técnico con un alto nivel de conocimientos en esta área, para enfrentar los retos del futuro y satisfacer al mercado actual con profesionales de calidad.

Para preparar profesionales de calidad el Instituto necesita contar con equipos de alta tecnología para facilitar la instrucción, por lo cual se han realizado estudios con el objetivo de identificar las necesidades de los estudiantes y docentes respecto a la materia de ensayos no destructivos. Primero se realizaron una serie de análisis, empezando por la situación actual de los talleres de Mecánica, los cuales contenían una estación de NDT, pero esta no constaba de equipos para la medición de espesores por ultrasonido.

También se utilizaron algunas técnicas de investigación como son la observación y la entrevista, en lo que respecta a la observación fue realizada en los talleres del instituto y la entrevista fue realizada a los señores docentes del ITSA arrojando resultados favorables en los cuales se comprueba la necesidad de poseer una guía práctica en una estación de trabajo para medición de espesores para aumentar el interés – aprendizaje y de esta forma adquirir mayor experiencia en lo que respecta a Pruebas no destructivas (NDT).

1.2 Justificación e importancia

La Carrera de Mecánica Aeronáutica no cuenta con una estación de trabajo para la medición de espesores por ultrasonido, por tal razón es necesario implementar la estación para que los conocimientos impartidos sobre este tema no solo sean en forma teórica sino también en la práctica logrando así que el estudiante pueda identificar y analizar de mejor manera el funcionamiento y operación del equipo de medición; ya que en las aerolíneas comerciales del país existen varios equipos para inspecciones no destructivas.

La inspección por medición de espesores es importante en toda la vida de la aeronave ya que permite tener un control del desgaste de ciertos componentes que están expuestos a condiciones que lo obligan a perder sus propiedades por situaciones desfavorables.

En tal virtud, es relevante adquirir conocimientos de esta estación de una manera práctica, visualizando cómo opera su equipo y sus componentes, contando también con bloques de referencia para ampliar la comprensión en lo que respecta a calibración del equipo.

Los beneficiarios de este trabajo serán los estudiantes los cuales cursen materias referentes a ensayos no destructivos así como también las personas interesadas en adquirir conocimientos sobre este tema. En base a todo esto se justifica la ejecución del presente proyecto.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Elaborar una guía práctica para la medición de espesores por ultrasonido en una estación de trabajo con el fin de optimizar el inter-aprendizaje en las asignaturas de materiales y procesos así como también en control de la corrosión, impartidas en la Carrera de Mecánica Aeronáutica del Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico.

1.3.2 Objetivos específicos

- Recopilar información técnica referente a la aplicación del ultrasonido para la medición de espesores en estaciones de trabajo.
- Determinar requerimientos técnicos para el diseño e implementación de la estación de trabajo.
- Elaborar una guía práctica de operación y mantenimiento para el equipo de medición de espesores.
- Elaborar las hojas de reportes de inspección para registrar la secuencia de examinación.
- Realizar pruebas funcionales del equipo basándose en la guía práctica.

1.4 Alcance

El presente proyecto tiene como alcance:

- La elaboración de una estación de trabajo que contenga el equipo de medición de espesores, sus componentes y sus respectivos accesorios.
- El presente proyecto contemplará una guía práctica ya que cada instructor que emplee la maqueta lo desarrollará en base a un mismo fin que es la medición de espesores.
- El beneficio que brinda este proyecto está directamente ligado con los estudiantes de la Carrera de Mecánica Aeronáutica, principalmente para quienes están cursando las asignaturas que tienen relación con los ensayos no destructivos y el desgaste, y con los docentes que imparten estas asignaturas.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Ensayos no destructivos

Los Ensayos no Destructivos (también llamado END, PND, o en inglés NDT de nondestructive testing) son técnicas de inspección que se utilizan para verificar la sanidad interna y externa de los materiales, sin deteriorarlos ni alterar o afectar de forma permanente sus propiedades, sean éstas físicas, químicas o mecánicas. Los ensayos no destructivos implican un daño imperceptible o nulo.

2.2 Elementos básicos de un ensayo no destructivo

2.2.1 Fuente

Un fundamento que puede usarse con el fin de obtener información de la pieza bajo prueba.

2.2.2 Modificación

Este medio de sondeo debe cambiar o ser modificado como resultado de las variaciones o discontinuidades dentro del objeto sometido a prueba.

2.2.3 Detección

Un detector que puede determinar los cambios en el medio de sondeo.

2.2.4 Indicación

Una forma de indicar o registrar las señales del detector.

2.2.5 Interpretación

Determinación de si una indicación es no relevante, relevante o falsa.

2.2.6 Evaluación

Valoración de una indicación relevante.

2.2.7 Defecto

Una o varias discontinuidades que no presentan especificaciones.

2.3 Personal

Es necesario que el personal responsable de llevar a cabo los ensayos, este entrenado y altamente calificado, comprendiendo a cabalidad todo lo concerniente a equipos, técnicas, materiales y procedimientos de ensayo de acuerdo a los siguientes niveles de calificación:

2.3.1 Nivel 1

El personal con calificación “Nivel I” debe estar preparado para realizar, según instrucciones escritas, calibración de equipos, ensayos y evaluación de resultados.

2.3.2 Nivel 2

El personal con calificación “Nivel II” debe estar preparado para realizar; calibración de equipos, interpretar y evaluar resultados con respecto a códigos y

especificaciones. Debe estar en capacidad de preparar instrucciones escritas y reportar resultados de ensayo.¹

2.3.3 Nivel 3

El personal con calificación “Nivel III” debe ser responsable de establecer técnicas, interpretar códigos y designar el método de ensayo junto con la técnica a ser usada. Debe tener una gran experiencia práctica en esta técnica y estar familiarizado con otras técnicas de ensayos no destructivos.

2.4 Aplicación de NDI

La amplia aplicación de los métodos de ensayos no destructivos en materiales se encuentra resumida en los tres grupos siguientes:

2.4.1 Defectología

Permite la detección de discontinuidades, evaluación de la corrosión y deterioro por agentes ambientales; detección de fugas.

2.4.2 Caracterización

Evaluación de las características químicas, estructurales, mecánicas y tecnológicas de los materiales y propiedades físicas (elásticas, eléctricas y electromagnéticas).

2.4.3 Metrología

Control de espesores; medidas de espesores por un solo lado, medidas de espesores con recubrimiento.

¹ <http://www.sistendca.com/DOCUMENTOS/Curso%20Ultrasonido%20Basico.pdf>

2.5 Clasificación de prácticas no destructivas (PND)

La clasificación de las pruebas no destructivas se basa en la posición en donde se localizan las discontinuidades que pueden ser detectadas.

2.5.1 Pruebas no destructivas superficiales

Estas pruebas proporcionan información acerca de la sanidad superficial de los materiales inspeccionados. Los métodos de PND superficiales son:

- Inspección Visual (VT, IV o VI)
- Líquidos Penetrantes (PT o LT)
- Partículas Magnéticas (MT o PM)
- Electromagnetismo o Eddy Current (ET o PE)

En el caso de utilizar VT y PT se tiene la limitante para detectar únicamente discontinuidades superficiales (abiertas a la superficie); y con MT y ET se tiene la posibilidad de detectar tanto discontinuidades superficiales como sub-superficiales (las que se encuentran debajo de la superficie pero muy cercanas a ella).²

2.5.1.1 Inspección visual

Esta técnica es utilizada para todas las técnicas de NDI, es decir se aplica en todo momento, la capacidad del técnico para este método depende del grado de agudeza visual ya que el medio principal para realizar este son sus ojos.

² www.es.wikipedia.org/index.php?title=Ensayo_no_destructivo&oldid=65582490



Figura 2.1. Inspección visual de álabes de compresor

Fuente: http://commons.wikimedia.org/wiki/Visual_inspection_

2.5.1.2 Líquidos penetrantes

Básicamente es un método de ensayos no destructivos para encontrar discontinuidades superficiales en materiales no porosos. El penetrante, cuando es aplicado al material, entra en cualquier discontinuidad superficial por acción capilar, que es una propiedad de los líquidos debido a su viscosidad y tensión superficial. Después de un cierto tiempo, removido el exceso de penetrante de la superficie, el penetrante puede ser extraído de la discontinuidad con un revelador y por tanto detectado visualmente.³

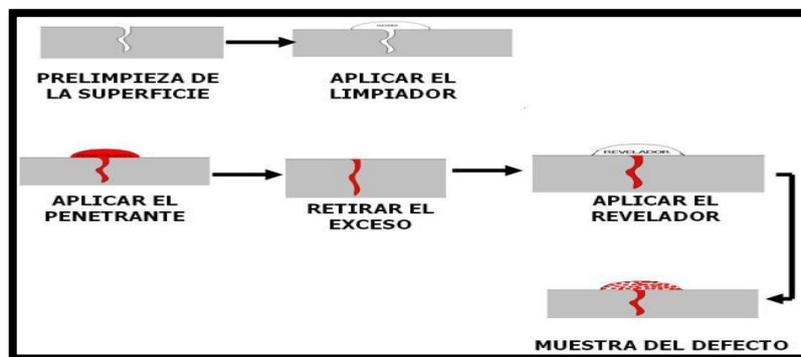


Figura 2.2. Proceso del END por líquidos penetrantes

Fuente: http://pipeisometric.com/liquidos_penetrantes.html

³ http://pipeisometric.com/liquidos_penetrantes.html

Existen dos tipos básicos de líquidos penetrantes, fluorescentes y no fluorescentes. La característica distintiva principal entre los dos tipos es:

- Los líquidos penetrantes fluorescentes contienen un colorante que fluoresce bajo la luz negra o ultravioleta.
- Los líquidos penetrantes no fluorescentes contienen un colorante de alto contraste bajo luz blanca.



Figura 2.3. Pernos inspeccionados por líquidos penetrantes

Fuente: <http://aqualified.com/aircraft-ndt/aviation-liquid-penetrant/>

2.5.1.3 Partículas magnéticas

Es un método para detectar discontinuidades superficiales y subsuperficiales abiertas a la superficie en materiales ferromagnéticos (Fe, Ni, Co, Acero).⁴

⁴ www.es.wikipedia.org/index.php?title=Ensayo_no_destructivo&oldid=65582490

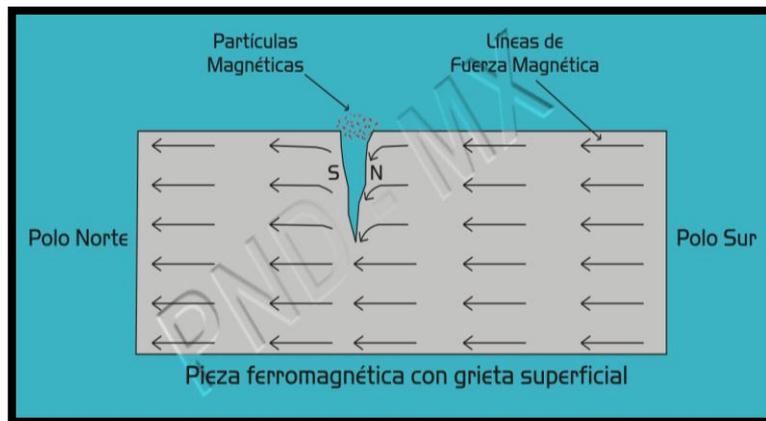


Figura 2.4. Inspección por partículas magnéticas

Fuente: <http://html.rincondelvago.com/pruebas-no-destructivas.html>

El proceso consiste en someter la pieza, o parte de esta, a un campo magnético.

En la región magnetizada de la pieza, las discontinuidades existentes, o sea, falta de continuidad de las propiedades magnéticas del material, procesarán un campo de flujo magnético. Con la aplicación de partículas ferromagnéticas, ocurrirá una aglomeración de estas en los campos de fuga, una vez que son atraídas debido al surgimiento de polos magnéticos. La aglomeración indicará un contorno del campo de fuga, provisionando la visualización de la forma y de la extensión de la discontinuidad.

2.5.1.4 Corrientes Inducidas o eddy current

El método de corrientes de Eddy (Foucault) se basa en los principios de la inducción magnética, el mismo que es explicado a continuación:

- a. La corriente alterna fluyendo a través de la bobina a una frecuencia elegida genera un campo magnético alrededor de la bobina.
- b. Cuando la bobina se coloca cerca de un material eléctricamente conductor, se inducen corrientes de Foucault en el material.
- c. Si un defecto en el material conductor modifica la circulación de corrientes de Foucault, el acoplamiento magnético con la probeta es cambiado y una señal

de defecto puede ser leído por la medición de la variación de impedancia de la bobina.

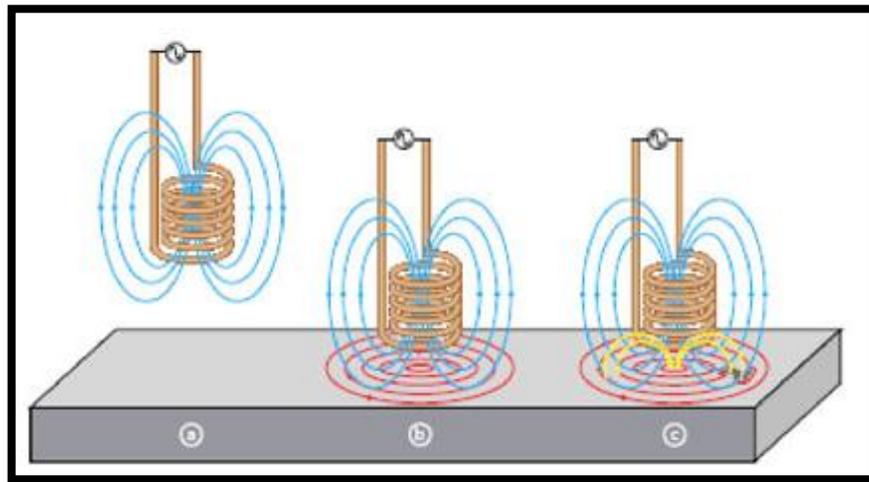


Figura 2.5. Inspección por corrientes inducidas

Fuente: <http://www.olympus-ims.com/en/eddycurrenttesting/>

2.5.2 Pruebas no destructivas de hermeticidad

Estas pruebas proporcionan información del nivel en que pueden ser contenidos los fluidos en recipientes, sin que escapen a la atmósfera o queden fuera de control. Los métodos de PND de hermeticidad son:

- Pruebas de Fuga
- Pruebas por Cambio de Presión (Neumática o hidrostática)
- Pruebas de Burbuja

2.5.3 Pruebas no destructivas volumétricas

Estas pruebas proporcionan información acerca de la sanidad interna de los materiales inspeccionados. Los métodos de PND volumétricos son:

- Radiografía Industrial (RT o RX)
- Ultrasonido Industrial (UT)

Estos métodos permiten la detección de discontinuidades internas y sub-superficiales.

2.5.3.1 Radiografía (RX)

La inspección por radiografía industrial es un procedimiento de inspección no destructiva de tipo físico, diseñado para detectar discontinuidades macroscópicas y variaciones en la estructura interna o configuración física de un material.

Su principio se basa en el que utiliza cierta radiación de energía, con longitudes de onda muy cortas, puede penetrar en materiales muy densos y luego reaccionar con una emulsión especial en una película, dejando una imagen del material penetrado.⁵

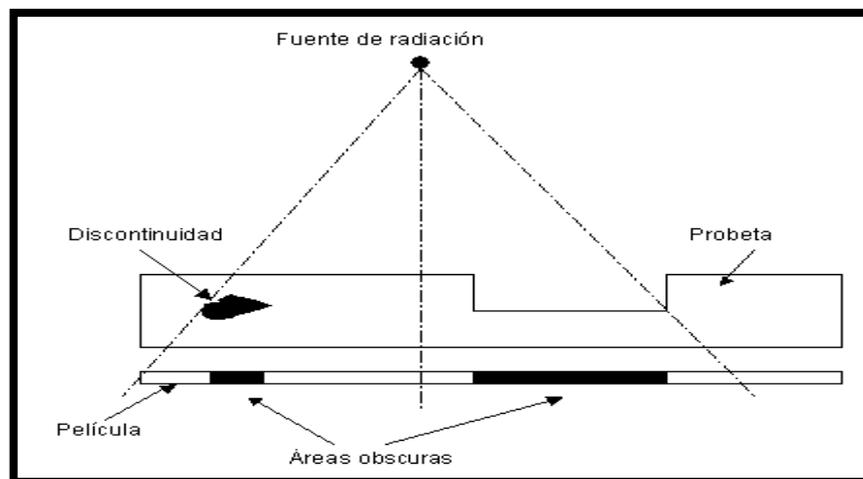


Figura 2.6. Esquema de inspección por radiografía industrial

Fuente: <http://www.revistaciencias.com/publicaciones.php>

Esta imagen no puede ser visualizada hasta que la película haya sido procesada a través de una serie de soluciones químicas que producen un negativo. El proceso es muy similar al revelado de la película de una cámara fotográfica común.

⁵ <http://www.revistaciencias.com/publicaciones.php>



Figura 2.7. Aplicación típica de inspección por radiografía industrial
Fuente: <http://html.rincondelvago.com/pruebas-no-destructivas.html>

2.5.3.2 Ultrasonido

2.5.3.2.1 Orígenes de la prueba por ultrasonido

El origen de la técnica de Inspección Ultrasónica se remonta al antiguo ensayo por percusión de una muestra de material con un martillo y la percepción del sonido que esta emitía.

Así por ejemplo, durante muchos años fue práctica común entre los trabajadores ferrocarrileros, golpear las ruedas de los vagones con un martillo para detectar discontinuidades en ellas.

Los ensayos de sonoridad resultaban muy simples pero poco confiables para la detección de discontinuidades, dada su baja sensibilidad. Sin embargo, por estos antecedentes, en 1924 el investigador soviético Sokolov considero conveniente registrar las discontinuidades, a partir de una técnica basada en la interpretación de la caída de la intensidad acústica en un material, al aplicarle sonido por medio de una fuente de energía sónica constante.⁶

⁶ GARCIA,A.(2008).*Ultrasonido Industrial*.ICAEND.Mexico.

No fue sino hasta 1930 cuando se reconoció el uso de la energía ultrasónica en END y como consecuencia de esto, los investigadores soviéticos y alemanes se dedicaron al desarrollo del método de inspección ultrasónica. No obstante, faltaba que la tecnología empleada evolucionara ya que los aparatos de ultrasonido presentaban problemas en su manejo y en su capacidad para emitir y recibir las ondas ultrasónicas. Adicionalmente, las superficies frontal y posterior del material a ser ensayado tenían que ser accesibles para colocar en ellas los transmisores de emisión y recepción.⁷

Diez años después, el Dr. Floyd A. Firestone desarrolló el primer detector de discontinuidades del tipo conocido como pulso—eco con el que se requería acceso a la muestra por un solo lado, debido a que el sistema maneja energía reflejada y no la pérdida de energía transmitida como se había usado hasta entonces.

Los avances en instrumentación y tecnología electrónica han permitido en la actualidad contar con los equipos necesarios para hacer posible el desarrollo de la inspección ultrasónica como ahora se conoce; es decir un equipo de inspección rápido y confiable.

2.5.3.2.2 Definición y propósito de la prueba por ultrasonido

La inspección por ultrasonido se define como un procedimiento de inspección no destructivo de tipo mecánico, diseñado para detectar discontinuidades y variaciones en la estructura interna de un material mediante una vibración mecánica con un rango mayor al audible por el oído humano, la cual se transmite a través de un medio físico y es orientado, registrado y medido en Hertz con la ayuda de un aparato creado para este fin.

Para comprender mejor el concepto de ultrasonido es necesario revisar la información concerniente al espectro de ondas acústicas. Dicho espectro es la

⁷ GARCIA,A.(2008).*Ultrasonido Industrial*.ICAEND.Mexico.

serie resultante del análisis de las ondas de sonido, la cual es expresada en términos de frecuencias, en él se observan tres regiones o zonas.

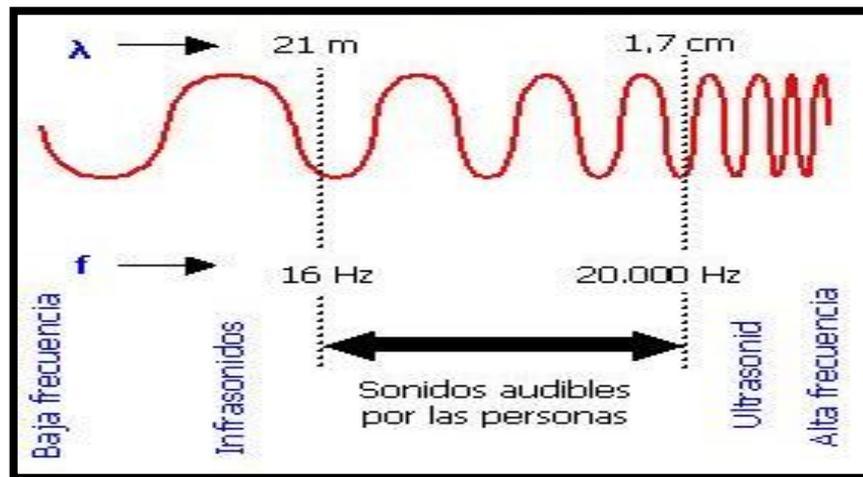


Figura 2.8. Espectro de ondas acústicas

Fuente: www.educarchile.cl/Portal.Base/Web/VerContenido.aspx?ID=133069

- **Infrasónica:** Compreendida entre el rango de frecuencia de 1 a 16 ciclos por segundo (c/s) o Hertz (Hz).
- **Sónica o audible:** Compreendida en el rango entre 16 Hertz y 20 KHz. Cabe recordar que una onda es audible no solo por su frecuencia sino también por su intensidad que se mide en decibelios.
- **Ultrasónica:** Es la zona del espectro que comprende las frecuencias mayores de 20 KHz (0.02MHz). El límite superior de sus frecuencias no está definido físicamente. En el caso de los materiales metálicos las frecuencias utilizables en END para el control de discontinuidades varían entre 0.2 MHz y 25 MHz.

2.5.3.2.3 Principio del método

El principio en el que se basa el método de inspección por ultrasonido es la impedancia acústica (Z), que es la resistencia que oponen los materiales al paso de una onda ultrasónica y es igual al producto de la velocidad de propagación de un modo de la vibración dado por la densidad del material.

Para realizar la prueba, el sonido es transmitido a través del material de prueba por medio de un transductor ultrasónico. La interacción de este sonido con el material puede indicar la velocidad, densidad, espesor y, por supuesto, la presencia de anomalías como son las discontinuidades o fallas del mismo.

La figura 2.9 representa un diagrama general del sistema de inspección por ultrasonido. Los elementos esenciales del sistema son:

1. Equipo electrónico de ultrasonido.
2. Cable coaxial.
3. Transductor.
4. Material a inspeccionar

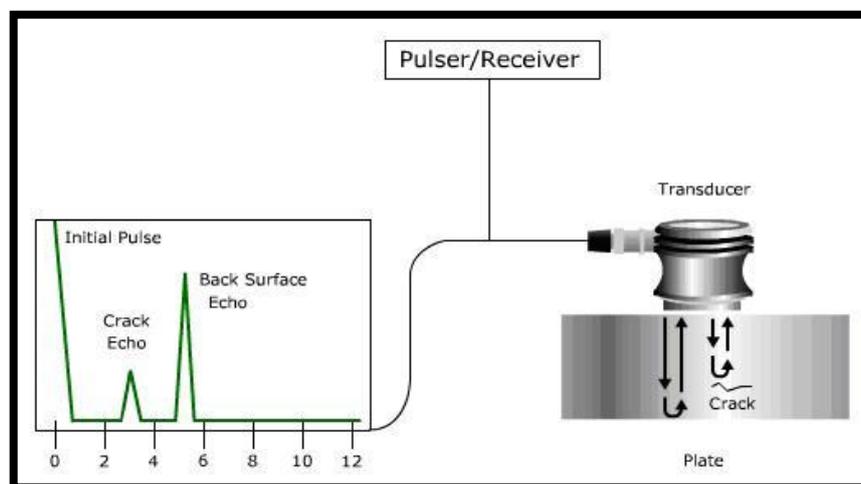


Figura 2.9. Diagrama de inspección por pulso-eco

Fuente: <http://www.virtualengg.com/ultrasonic.html>

Los tres primeros elementos constituyen el medio de inspección, mientras que el cuarto es el objeto sujeto a examen.

El equipo electrónico de ultrasonido cuyas características se describirán más adelante, genera pulsos eléctricos muy breves, del orden de microsegundos, con una diferencia de potencial entre los 100 y los 1000 voltios y con una frecuencia de repetición entre los 125 y 5000 pulsos por segundo.

Los pulsos eléctricos generados por el equipo son conducidos por el cable coaxial hasta el transductor, el cual mediante un cristal que tiene propiedades piezoeléctricas los transforma en vibraciones mecánicas con frecuencias entre las 0.25 y 25 MHz. Estas vibraciones son transmitidas al material en examinación, donde se propagan y reflejan en la superficie opuesta, o bien pueden ser reflejadas, atenuadas o dispersadas por una discontinuidad. Los pulsos reflejados son captados por el transductor, el cual los transforma en impulsos eléctricos que son analizados y representados en una pantalla de un tubo de rayos catódicos, en una gráfica o en un digitalizador de imágenes.



Figura 2.10. Inspección por ultrasonido

Fuente: <http://www.slideshare.net/omarmo/ultrasonido-13865879>

Cuando se emplea la pantalla de tubo de rayos catódicos, se visualiza en tiempo real el pulso inicial, el pulso de la reflexión proveniente de la pared posterior y las reflexiones provenientes de las discontinuidades presentes en el material. Dichas reflexiones se localizan entre el impulso inicial y el reflejo de la pared posterior, en una posición en la pantalla que es proporcional a la magnitud y a la localización de la discontinuidad en el espesor del objeto.

2.5.3.2.4 Ventajas de la inspección por ultrasonido

Las principales ventajas de la inspección por ultrasonido al compararlo con otros métodos de inspección volumétrica son:

1. La prueba se efectúa más rápidamente que empleando la técnica de radiografía.
2. Se tiene una mayor exactitud al determinar la posición de las discontinuidades internas; estimando sus dimensiones, orientación y naturaleza.
3. Alta sensibilidad para detectar reflectores pequeños (discontinuidades).
4. Alta capacidad de penetración, lo que le permite localizar discontinuidades a gran profundidad en un material.
5. Buena resolución que le permite diferenciar dos discontinuidades próximas entre sí.
6. Solo requiere acceso por un lado del objeto a inspeccionar.
7. Normalmente la interpretación de las indicaciones se hace de forma inmediata.
8. No requiere de condiciones especiales de seguridad como el caso de radiografía.

2.5.3.2.5 Limitaciones de la inspección por ultrasonido

Las principales limitaciones de la inspección ultrasónica al compararla con otros sistemas de inspección volumétrica superficial son:

1. Baja velocidad de inspección cuando se emplean métodos manuales.
2. Requiere de personal con una buena preparación técnica y gran experiencia.
3. Dificultad para inspeccionar piezas con geometría compleja, espesores muy delgados o de configuración irregular.
4. Dificultad para detectar o evaluar las discontinuidades cercanas a la superficie sobre la que se introduce el ultrasonido.
5. Requiere de patrones de calibración y referencia.
6. Es afectado por las características estructurales del material, por ejemplo el tamaño del grano y el tipo de material a ser inspeccionado.
7. Alto costo del equipo.
8. Se requiere de agentes acoplantes.

2.5.3.2.6 Métodos y técnicas de inspección ultrasónica

La aplicación del ultrasonido en la inspección de materiales puede hacerse por diferentes métodos y técnicas que serán explicados a continuación.

Estos métodos y técnicas pueden adoptar diferentes variantes, y probablemente por este motivo no existe una clasificación tan clara y definida como en el caso de otras técnicas de inspección; sin embargo, a continuación se propone una clasificación para poder explicar las ventajas y aplicaciones de cada una.

2.5.3.2.6.1 Técnicas de inspección

2.5.3.2.6.1.1 Contacto directo

Se denomina así a esta técnica, cuando el transductor se coloca directamente sobre la superficie del material sujeto a inspección y la transmisión del ultrasonido se logra por medio de una película de acoplante para crear una continuidad en ésta.

Esta técnica es actualmente una de las más empleadas, sus principales ventajas pueden ser: que solo requiere acceso por un lado de la pieza a examinarse, se puede aplicar sobre partes y componentes ya ensamblados o de difícil movimiento, o cuando no es práctico emplear la inspección por inmersión.

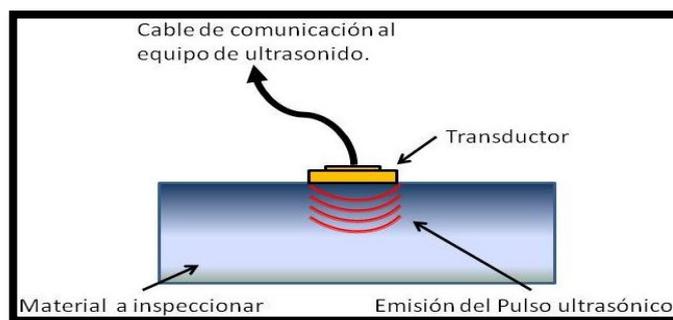


Figura 2.11. Esquema de inspección por contacto directo

Fuente: http://gaslppower.com/rmsonic/%C2%BFcomo_funciona_el_ultrasonido

El contacto directo presenta como mayor inconveniente, la dependencia de la indicación con respecto a la orientación y a la forma de las discontinuidades, ya que cuando se trata de discontinuidades alargadas, éstas deben estar orientadas perpendicularmente al haz ultrasónico de tal forma que lo reflejen parcial o totalmente. Esta limitación es más patente en piezas de gran espesor. Además, esta técnica se ve fuertemente influida por las características del acabado superficial de la pieza; por otra parte, la inspección de grandes áreas puede ser lenta al compararse con otros métodos de inspección.⁸

2.5.3.2.6.1.2 Inmersión

Se denomina de esta forma cuando el transductor y la pieza a examinar quedan sumergidos en el medio acoplante y que generalmente es agua. Esta técnica tiene una variante conocida como de inmersión local o de columna líquida.

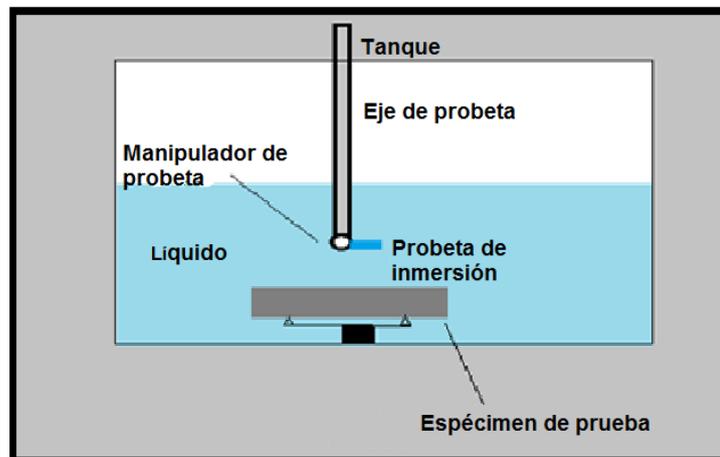


Figura 2.12. Esquema de inspección por inmersión

Fuente: Investigación de campo

El método de inspección por inmersión tiene las siguientes ventajas:

- No existe desgaste del transductor por fricción.
- Pueden ser inspeccionados objetos o piezas de diferentes tamaños y formas.
- Pueden emplearse los tipos de pulso-eco o de onda continua (de transparencia).

⁸ GARCIA,A.(2008).*Ultrasonido Industrial*.ICAEND.Mexico.

- El registro de los datos es confiable y exacto.
- Pueden ser empleados transductores de muchas formas, tamaños y estilos (planos, cóncavos, redondos, rectangulares y de brocha).
- Versatilidad y adaptabilidad del equipo.

Dentro de sus limitaciones se pueden mencionar las siguientes:

- La necesidad de sumergir la pieza en agua, lo que puede ser algunos casos dañino para el material; esto puede reducirse agregando inhibidores de corrosión o cambiando de medio acoplante.
- En muchos casos el equipo de inspección es demasiado grande, por lo que requiere mucho espacio.
- Las burbujas de aire que se adhieren a la pieza de prueba son un problema, por ello deben adicionarse al agua agentes humectantes.

2.5.3.2.6.2 Métodos de inspección

2.5.3.2.6.2.1 Pulso - eco (impulsos)

Consiste en transmitir la energía ultrasónica en impulsos cortos, éstos se transmitirán al cuerpo de tal forma que el tiempo que tarde en recibirse la energía reflejada en la discontinuidad o en la pared posterior, permitirá determinar la distancia a la cual se encuentra esta, tomando para ello como referencia la superficie en la que entra el haz ultrasónico.

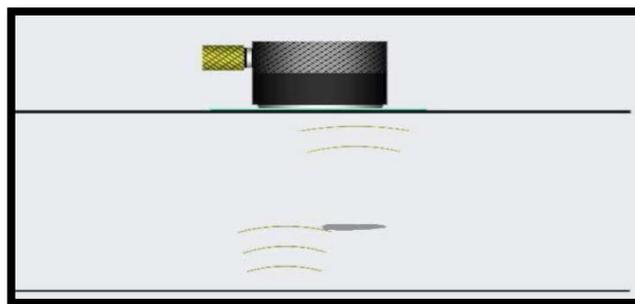


Figura 2.13. Esquema de inspección por contacto directo

Fuente: <http://www.slideshare.net/omarmo/ultrasonido-13865879>

2.5.3.2.6.2.2 Onda continua o de transparencia

En esta técnica, la energía ultrasónica es transmitida mediante vibraciones continuas y lo que se mide es la pérdida de energía acústica conforme las ondas se desplazan a través de zonas específicas de un material.

La técnica de transparencia emplea dos transductores, uno emite y el otro recibe y se fundamenta en las variaciones que se producen en la transmisión de la energía ultrasónica como consecuencia de la presencia de discontinuidades o cambios en la microestructura, dichas variaciones quedan registradas por la indicación en la pantalla del equipo.

Su aplicación puede ser en materiales con acabado superficial burdo o con una atenuación elevada que ocasione que la onda al llegar a la pared posterior, sea tan débil que al hacer el viaje de regreso no sea detectada.

Otra de sus aplicaciones se lleva a cabo cuando las caras o superficies de un material no son paralelas; o también en uniones soldadas, donde las condiciones geométricas y la orientación de las discontinuidades probables hacen impráctico el uso del método de reflexión.

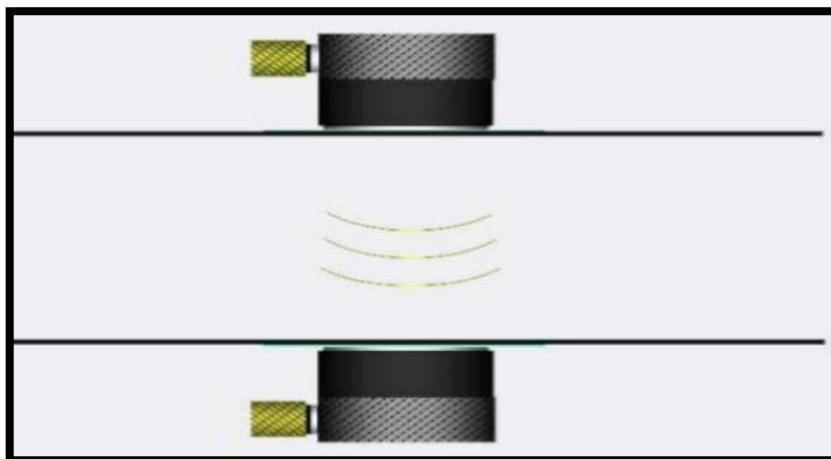


Figura 2.14. Ejemplo de aplicación del método de contacto por transparencia

Fuente: <http://www.slideshare.net/omarmo/ultrasonido-13865879>

Las limitaciones principales de la técnica por transparencia son:

- Las discontinuidades no pueden ser localizadas en profundidad ya que solo se registra el pulso transmitido, cuya posición solo depende del espesor de la pieza.
- La necesidad de mantener los transductores (emisor y receptor) perfectamente alineados, hace que este procedimiento sea lento y tedioso en inspecciones manuales.
- Existe una gran influencia del acoplamiento transductor-pieza, que a veces puede ser confundida con la presencia de discontinuidades o cualquier heterogeneidad.
- Se requiere acceso a ambos lados de la pieza para la mayoría de los casos, lo que no siempre es posible.
- Existe una gran dificultad para interpretar el tipo de discontinuidad.

2.5.3.2.7 Formas de presentación de los resultados

2.5.3.2.7.1 Presentación tipo “A” (A-Scan)

Este tipo de presentación es la más común en los equipos de ultrasonido para detección de discontinuidades.

Esta presentación, es básicamente la que muestra el osciloscopio del equipo de ultrasonido, en la cual el desplazamiento horizontal de una señal luminosa revela la existencia de indicaciones. En función de la localización y la amplitud de la señal, se pueden predecir la dimensión y la profundidad a la que se encuentra la indicación.⁹

⁹ www.sistendca.com/DOCUMENTOS/Curso%20Ultrasonido%20Basico

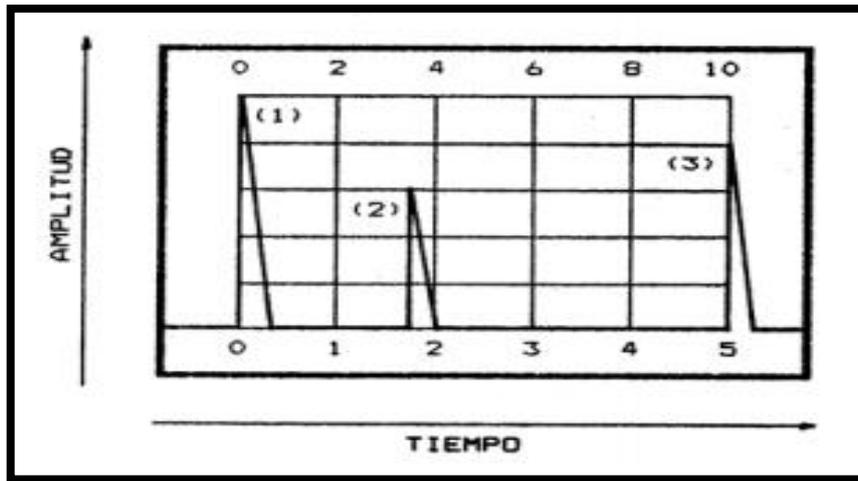


Figura 2.15. Presentación A-Scan

Fuente: www.sistendca.com/DOCUMENTOS/Curso%20Ultrasonido%20Basico

2.5.3.2.7.2 Presentación tipo "B" (B-Scan)

Este tipo de presentación, generalmente se aplica cuando se desea conocer la continuidad de la pieza sujeta a inspección, mostrándose una sección transversal del material inspeccionado. En este caso se emplea una pantalla de video o un graficador en el que se muestran las reflexiones de las superficies frontal y posterior del material de prueba, así como la longitud y profundidad de las indicaciones.

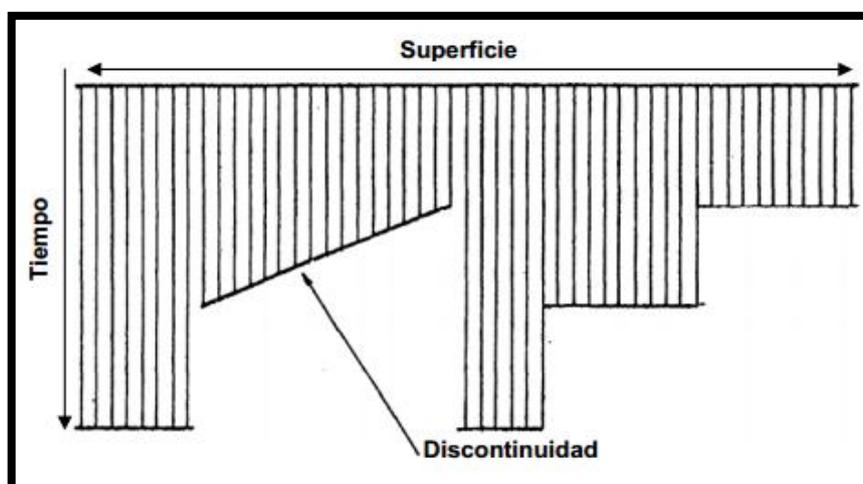


Figura 2.16. Presentación B-Scan

Fuente: www.sistendca.com/DOCUMENTOS/Curso%20Ultrasonido%20Basico

2.5.3.2.7.3 Presentación tipo “C”(C-Scan)

Este tipo de presentación es similar en sus características a la presentación, solo que ésta muestra la pieza sujeta a inspección en una proyección de vista superior o de planta, que en cierta forma es similar a una radiografía en la que se proyectan los detalles internos, y en caso de existir una discontinuidad se obtiene un contorno de la misma.

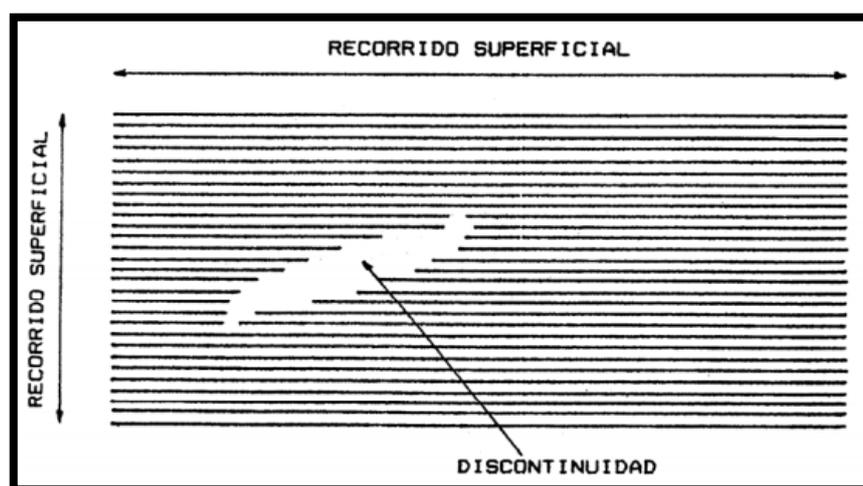


Figura 2.17. Presentación C-Scan

Fuente: www.sistendca.com/DOCUMENTOS/Curso%20Ultrasonido%20Basico

La presentación C tiene una compuerta (período sensible de exploración) para definir los límites de interés, que generalmente es el espesor de la pieza; siendo solo la información hallada en la compuerta la que se procesa. En este barrido, no se utilizan las reflexiones frontal y posterior, solo la reflexión de la discontinuidad.

2.5.3.2.7.4 Presentación digital o analógica

Esta es la presentación más simple que se tiene en ultrasonido y se emplea principalmente en los equipos para medir espesores.

En la inspección ultrasónica, las técnicas y sus variantes son establecidas tomando en cuenta:

- Las características geométricas de la pieza.
- Las características estructurales del material.
- Las probables discontinuidades.
- La accesibilidad a la zona de inspección.
- El nivel de calidad requerido de los materiales.
- La cantidad de piezas a inspeccionar de manera continua.

Con base en lo anterior, se adoptara la solución adecuada en función de los recursos humanos y materiales disponibles.

Las técnicas de inspección normalmente están orientadas hacia la detección de discontinuidades, por lo que deben adecuarse a la naturaleza, morfología, orientación, posición y tamaño de las mismas.

Asimismo, estas técnicas están supeditadas a las características de la muestra de ensayo: naturaleza y estado, forma, tamaño, accesibilidad, condición o estado de acabado y curvatura de la superficie de exploración.

Los medios disponibles son numerosos y variados, lo que abre un campo amplio de posibilidades que son cubiertas por una extensa gama de técnicas de inspección.

La forma de la muestra y la característica de las discontinuidades que se desean medir o detectar, así como el número de piezas a inspeccionar implican (una vez seleccionado el método o la técnica), la elección del tipo de sistema a emplear, ya que la examinación de un componente o pieza por ultrasonido supone un movimiento transductor-pieza que permita una exploración total de la zona de interés, siendo este movimiento manual o automático.

Los ensayos manuales, generalmente son del tipo de contacto directo y utilizan la técnica de reflexión (pulso-eco). En este tipo de inspección, el técnico desplaza el transductor sobre la pieza por deslizamiento o contacto intermitente. Ante una indicación, una discontinuidad u otras causas, el técnico puede

detenerse y explorar más detenidamente la zona registrando y analizando la información que se presenta, tal como la amplitud, la forma de la indicación, la posición, etc. En lo anteriormente expuesto radica la ventaja de este tipo de examinación. Otro aspecto positivo, es la rápida puesta en marcha y sencillez del equipo.

Como principales desventajas presenta:

- Lentitud de operación.
- Variaciones en el acoplamiento acústico por diferente presión de la mano sobre el transductor o por falta de acoplante.
- Necesidad de un técnico responsable y experimentado.

Sin embargo, la examinación manual es la única aplicable a obras en campo.

2.5.3.2.8 Aplicaciones de la inspección ultrasónica

El ultrasonido es una onda acústica, de naturaleza similar a las ondas sonoras debido a los efectos que provoca durante su propagación en materiales sólidos, líquidos y en algunos casos gases. Este método de prueba tiene una gran variedad de aplicaciones técnicas y científicas.

En primer lugar, se tienen las aplicaciones en las cuales se mide la atenuación y el tiempo que requiere el ultrasonido al ser transmitido por un medio, como es el caso de la inspección no destructiva.

El éxito de cualquiera de estas aplicaciones depende de la correcta selección del sistema a ser empleado, del conocimiento de las características del material a estudiar, y de la experiencia y habilidad del operador. Si no se cumplen todas estas condiciones, los resultados que se obtengan no serán confiables y podrían ocasionar demoras o pérdidas económicas. A continuación se explican dos de las aplicaciones más importantes en la inspección ultrasónica.

2.5.3.2.8.1 Detección de discontinuidades

Como ya se mencionó anteriormente es necesario definir el tipo de material que se está inspeccionando, para así poder llevar a cabo una inspección correcta. Por este motivo, a continuación se describen brevemente las aplicaciones específicas en función del material que se está inspeccionando.

Productos laminados. Los productos con superficies paralelas relativamente delgadas, como son: chapas, placas, tubos, etc.

Productos conformados cilíndricos y prismáticos. Las muestras cilíndricas o prismáticas como las barras, varillas, alambres.

2.5.3.2.8.1.1 Medición de espesores

Actualmente, la verificación de espesores se lleva a cabo mediante equipos de pulso-eco cuyas lecturas vienen dadas mediante un sistema digital y se pueden emplear ondas compresivas o cortantes, dependiendo del tipo de equipo empleado y del espesor a medir.



Figura 2.18. Equipo medidor de espesores

Fuente: <http://www.agrotterra.com/p/medidor-de-espesor-por-ultrasonido-en-hong-kong-3037493/3037493>

La inspección efectuada en operaciones de mantenimiento, tiene como finalidad primordial detectar las reducciones de espesor en superficies ocultas o inaccesibles que son producidas por corrosión o deterioro, debido a la acción de agentes ambientales.

La precisión del método por pulso-eco es elevada y resuelve la mayor parte de los problemas planteados en las instalaciones industriales.

2.5.3.2.9 Bloques de calibración

En las inspecciones por ultrasonido todas las indicaciones de discontinuidades son comparadas con las de un patrón de referencia. Los patrones de referencia pueden ser un bloque o un juego de bloques específicos para una determinada prueba y se denominan "bloques de prueba" o "bloques de calibración"; estos son empleados para calibrar el equipo ultrasónico y para evaluar las indicaciones de las discontinuidades de la muestra inspeccionada. ¹⁰Por medio de la calibración con el bloque de prueba se puede:

- a. Verificar que el sistema compuesto por el transductor, el cable coaxial y el equipo funciona correctamente.
- b. Fijar la ganancia o la sensibilidad con la cual se detectaran las discontinuidades equivalentes a un tamaño especificado o mayores.

¹⁰ GARCIA, A. (2008).Ultrasonido Industrial.ICAEND.Mexico.



Figura 2.19. Calibración del equipo medidor de espesores

Fuente: www.directindustry.es/prod/elektrophysik-dr-steingroeever-gmbh-co-kg/instrumentos-de-medicion-del-espesor-de-las-paredes-por-ultrasonidos-con-modo-del-eco-eco-7114-419015.html

Las normas y especificaciones requieren del uso de bloques de referencia, por lo que deben ser consideradas las siguientes variables antes de seleccionarlos o fabricarlos:

- a. Configuración de la pieza a inspeccionar.
- b. Proceso de fabricación.
- c. Características metalúrgicas.
- d. Efectos de procesos térmicos o mecánicos.
- e. Espesores a ser inspeccionados.
- f. Dimensión crítica de la discontinuidad buscada.
- g. Propagación del haz ultrasónico.

Antes de iniciar una inspección, se requiere conocer la variación en atenuación entre el bloque de calibración y el material en espesores similares, lo que se logra mediante el siguiente procedimiento práctico:

1. Se registra el número de decibeles requeridos para obtener la misma amplitud de dos señales.
2. La diferencia en atenuación registrada es compensada después del ajuste de ganancia en la calibración con el bloque de prueba.

Existen series de bloques de referencia de uso común, cuyas dimensiones han sido establecidas y revisadas por sociedades internacionales relacionadas con la inspección de materiales. A continuación se explica un tipo de bloque utilizado para la medición de espesores.

2.5.3.2.9.1 Bloque escalonado o de pasos

El bloque de pasos sirve para calibrar el instrumento y poder llevar a cabo la determinación de espesores de pared con transductores Emisor-Receptor (E-R). El número de escalones, así como el de los espesores de calibración son variables. El transductor de doble cristal o dúplex, conjuntamente con este bloque, es la combinación clásica al usar un equipo ultrasónico tipo pulso-eco.



Figura 2.20. Bloque de calibración de acero en 4 pasos

Fuente: www.abqindustrial.com/spanish/wall_thickness_gauges/testblock.html

Los bloques escalonados pueden ser obtenidos con diferentes dimensiones, bien sea en el sistema inglés o en el sistema métrico decimal.

2.5.3.2.10 Transductores

Un transductor es un dispositivo capaz de transformar o convertir un determinado tipo de energía de entrada, en otra diferente a la salida. El nombre

del transductor ya nos indica cual es la transformación que realiza (por ejemplo electromecánica, transforma una señal eléctrica en mecánica o viceversa).¹¹

2.5.3.2.10.1 Transductor piezoeléctrico

Una parte vital en el sistema de inspección por ultrasonido es el transductor. Por medio de este, la energía eléctrica se convierte en energía mecánica (ondas sonoras) o viceversa. Opera debido al efecto piezoeléctrico, el cual consiste en que ciertos cristales cuando se tensionan, se polarizan eléctricamente y generan voltaje eléctrico entre las superficies opuestas. Esto es reversible en el sentido de que al aplicar un voltaje a través de las caras de un cristal, se produce una deformación del mismo. Este efecto microscópico se origina por las propiedades de simetría de algunos cristales.

La generación de ondas ultrasónicas puede realizarse por diversos medios o efectos físicos como la piezoelectricidad.

2.5.3.2.10.2 Piezoelectricidad

Fue descubierta en 1880 por Pierre y Marie Curie, quienes demostraron que algunos materiales como el cuarzo, al ser sometidos a una presión mecánica externa, producen cargas eléctricas sobre su superficie. En 1881, Lippman descubrió el efecto contrario y predijo que al aplicar una corriente eléctrica al material se produce deformación mecánica. Como se puede observar, la piezoelectricidad puede ser un fenómeno reversible, porque al producir una deformación mecánica en un cristal, se provocan cargas eléctricas sobre sus caras (efecto piezoeléctrico directo); por otra parte, si al cristal se le aplica una corriente eléctrica sobre sus caras, se producirá una deformación mecánica (efecto piezoeléctrico inverso). Ambos efectos (piezoeléctrico directo e inverso) son proporcionales, ya sea con la cantidad de energía eléctrica o con la deformación aplicada.

¹¹ <http://es.wikipedia.org/wiki/Transductor>

2.5.3.2.10.3 Material piezoeléctrico

- **Cuarzo**

Se obtiene a partir de cristales naturales. Posee excelentes características de estabilidad térmica, química y eléctrica. Es insoluble en la mayoría de los líquidos. Es muy duro y resistente al desgaste, así como al envejecimiento. Desafortunadamente, sufre interferencias en el modo de conversión y es el menos eficiente de los generadores de energía acústica. Requiere alto voltaje para su manejo a bajas frecuencias. Se debe emplear a temperaturas menores a 550 grados centígrados, pues arriba de esta pierde sus propiedades piezoeléctricas.

Tabla 2.1. Características físicas del cuarzo

| | |
|--------------------|--|
| Densidad | 2.65 g/cm ³ |
| Velocidad acústica | 5.74 10 ⁶ mm/seg |
| Impedancia (Z) | 15.3 10 ⁶ kg/m ² seg |

Fuente: GARCIA, A. (2008). *Ultrasonido Industrial*. ICAEND. Mexico.

2.5.3.2.10.4 Componentes de un Transductor

Las partes básicas de un transductor común pueden ser:

- **Carcasa metálica:** envolvente que sirve como blindaje y proporciona la resistencia mecánica.
- **Cristal:** pequeña placa de un material piezoeléctrico y es el elemento principal del transductor.
- **Electrodos:** Placas conductoras de la corriente eléctrica que se encuentran en las caras del cristal.

- **Placa protectora o de uso:** Es un elemento de protección, su presencia en el transductor depende de las propiedades físicas y de la resistencia mecánica del cristal al desgaste con la superficie de prueba.
- **Material de respaldo:** Sirve como soporte del cristal y como amortiguador mecánico y acústico. Se encuentra adherido firmemente al cristal por la cara opuesta a la de contacto.

2.5.3.2.10.5 Clasificación de los transductores

- **Transductor de incidencia normal o de haz recto**

Emite ondas longitudinales con frecuencia de 0.5 a 10.0 MHz. Se emplea generalmente para la inspección de piezas en las que se puede colocar directamente la unidad de prueba sobre el área de interés y las discontinuidades son paralelas a la superficie de contacto. También es útil en la medición de espesores.

- **Transductor de contacto**

Se coloca directamente en la superficie de prueba aplicando presión y un medio de acoplamiento. Se fabrica para inspecciones de haz recto.

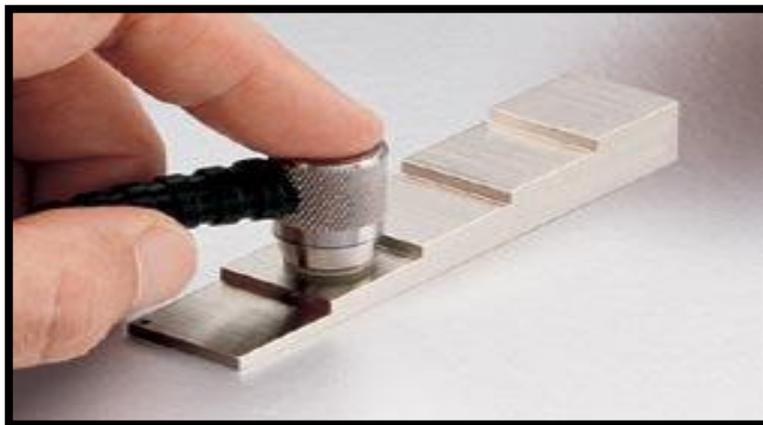


Figura 2.21. Transductor de contacto

Fuente: <http://www.twilight.com.mx/df/positectorutg/positectorutg.htm>

- **Transductor dúplex o doble cristal (tipo E-R)**

El transductor de doble cristal uno emisor y otro receptor, ayuda en la detección de heterogeneidades próximas a la superficie de exploración.

Los transductores tipo E-R constan de dos cristales perfectamente aislados eléctrica y acústicamente por medio de una lámina de corcho o policloruro de vinilo.



Figura 2.22. Transductor dúplex

Fuente: <http://www.twilight.com.mx/df/positectorutg/positectorutg.htm>

Posee alto poder de resolución y por tanto, detecta discontinuidades muy próximas a la superficie de la pieza. Es sumamente conveniente en estructuras de grano grueso. Se utiliza principalmente para inspeccionar corrosión, picaduras y espesores.

2.5.3.2.11 Suministrador de energía

Es el componente que suministra la energía eléctrica a los circuitos. Para el equipo de medición de espesores se utilizan baterías (corriente directa).

Los equipos que utilizan baterías recargables pueden utilizar baterías de níquel-cadmio las cuales son de mayor empleo; al usarlas debe agotarse

completamente su carga antes de volverlas a cargar, debido a que tienen una memoria para que se usen en un determinado tiempo.



Figura 2.23. Baterías recargables AA

Fuente: www.articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-420089927-4-baterias-recargables-aa-con-cargador-inteligente-aaaaa-_JM

2.5.3.2.12 Cable coaxial

Uno de los componentes del sistema de ultrasonido es el cable coaxial, que en sus extremos posee terminales, mediante los que une el instrumento y el transductor.

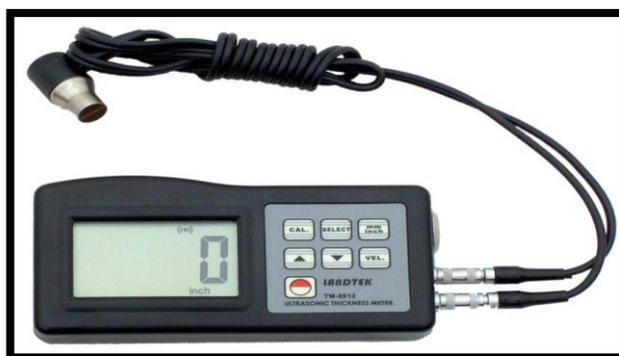


Figura 2.24. Cable coaxial de medidor de espesores

Fuente: http://spanish.carcodescanner.com/china-ultrasonic_thickness_gauge_tm8812-114187.html

2.5.3.2.13 Acoplante

Líquido más o menos viscoso que se utiliza para permitir el paso de las ondas del transductor a la pieza bajo examinación, ya que las frecuencias que se utilizan para materiales metálicos no se transmiten en el aire.¹²



Figura 2.25. Ultragele (inhibidor de corrosión)

Fuente: www.grupokb.com.mx/equipos_res_01.php?tipo=Acoplantes&nombre=Acoplantes

2.5.3.2.13.1 Características del líquido acoplante

Humectabilidad (capaz de mojar la superficie y el transductor).

Viscosidad adecuada.

Baja atenuación (que el sonido se transmita al 100%).

Bajo costo.

Removible.

No tóxico.

No corrosivo.

Impedancia acústica adecuada.

2.5.3.2.13.2 Tipos de acoplantes

Agua

¹² http://www.tbn.es/experia-cgi/v2.2/viewhtml.pl?DescriptionFile=tbn-menu.def&calling=medicion_espesores_es&menudepth=4&language=es&User=&navigate_path=@1;activi.mantenimiento.medicion_espesores&menu=navigate&opened_navigate=0&OsCsid=&

Aceite
Grasa
Glicerina
Vaselina

CAPÍTULO III

DESARROLLO DEL TEMA

ELABORACIÓN DE UNA GUÍA PRÁCTICA PARA LA MEDICIÓN DE
ESPESORES POR ULTRASONIDO EN UNA ESTACIÓN DE TRABAJO.

3.1 Preliminares

La presente guía práctica es un documento realizado en forma sencilla, clara y detallada de los conceptos y procedimientos correctos a cumplir al examinar un componente aeronáutico mediante un equipo para la medición de espesores por ultrasonido, con el fin de instruir de manera eficaz y práctica a los estudiantes del Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico.

Al finalizar la inspección se deberá llenar una hoja de reporte para la Inspección por ultrasonido mediante la medición de espesores, la cual consta de algunos ítems a llenar.

3.2 Equipo de medición de espesores por ultrasonido (UM-2D)

3.2.1 Introducción

El UM-2D es un medidor de espesores ultrasónico fácil de usar, portátil y altamente exacto con la habilidad de medir a través de pintura y/o recubrimientos. Utilizando la habilidad del microprocesador y la tecnología ultrasónica, el UM-2D ofrece algunas características excepcionales tales como escaneo rápido, memoria prolongada y salida de información. Ahora se puede examinar tanques pintados, tubos, etc., sin la necesidad de remover la pintura o realizar correcciones para el

espesor de pintura. Este se caracteriza por sus lecturas fiables y estables, modos de medición estándar o modo coat, pantalla de datos conveniente (en milímetros y pulgadas), alta resolución 0.001" (0.01 mm), facilidad de operación, bajo consumo de energía (dos baterías AA).

3.2.2 Especificaciones técnicas

3.2.2.1 Rango de medición

Modo estándar: 0.031" – 11.81" (1.0 – 300.0 mm).

Modo a través de recubrimientos: 0.118" – 0.709" (3.0 mm – 18.0 mm).

3.2.2.2 Resolución de pantalla

Baja: 0.003" (0.1 mm) (si hay espesor >3.93")

Alta: 0.0003" (0.01 mm) (si hay espesor < 3.93")

3.2.2.3 Capacidad de memoria: 500 valores de prueba.

3.2.2.4 Frecuencia de medición: 4MHz.

3.2.2.5 Rango de velocidad de sonido: 37- 373 millas/min (1.000 - 9.999 m/s).

3.2.2.6 Batería: Dos baterías AA de 1.5 V.

3.2.2.7 Dimensiones: 5.86" x 2.87" x 1.25" (149 mm x 73 mm x 32 mm).

3.2.2.8 Temperatura de trabajo: 32° - 122° F (0 °C – 50 °C).

3.2.2.9 Humedad relativa: < 90%.

3.2.2.10 Peso: 160 g (solo la unidad).

Este equipo mide espesores de componentes con superficies frontal y posterior paralelas.

3.2.3 Nombres y funciones para el UM-2D

3.2.3.1 Ilustraciones de las teclas y sus funciones

3.2.3.1.1 Tecla encender o resetear



Para encender o resetear el equipo: Cuando el equipo es encendido el LCD mostrará el valor de la velocidad de sonido usada en la última medición. El equipo se apagará automáticamente si se encuentra inactivo por 4 minutos.

3.2.3.1.2 Tecla menú



Para configurar el equipo: Presionar esta tecla para mover el ítem seleccionado a los siguientes menús.

SaveN (N=1, 2, 3, 4 o 5), **Menu**, **Std** o **Coat** y **Off**.

3.2.3.1.3 Tecla enter



Para aceptar el trabajo seleccionado por **MENU**: Si **Off** es seleccionado por presionar **MENU**, pulsar **ENTER** para apagar el equipo. Presionando **MENU** dos veces se enviará al equipo a su operación principal.

3.2.3.1.4 Tecla de calibración



Para calibrar el equipo con el bloque incorporado sobre la unidad.

3.2.3.1.5 Teclas de operación



3.2.3.1.6 Tecla de velocidad de sonido



Para asignar el valor de la velocidad del sonido a ser usada: Presionar **ENTER** para mover Δ sobre la LCD hacia el dígito a ser cambiado y usar las teclas de operación \blacktriangle y \blacktriangledown para obtener el valor.

5900
 Δ

Sobre los cinco valores de la velocidad del sonido, estos pueden ser pre almacenados al presionar la tecla **VEL** cuando el valor es asignado.

3.3 Guía práctica para la medición de espesores por ultrasonido en una estación de trabajo

3.3.1 Guía práctica para componentes sin recubrimiento

| | | |
|---|---|--------------------------------|
|  | ITSA GUÍA PRÁCTICA PARA INSPECCIÓN POR ULTRASONIDO (MEDICIÓN DE ESPESORES) | NDTUT-PG-01 Pág. 1 de 4 |
| 3.3.1.1 Requerimientos previos para la inspección | | |
| <ul style="list-style-type: none">• Equipo de protección personal: calzado de trabajo, gafas de protección, mascarilla, overol y guantes (quirúrgicos).• Revisar el documento de mantenimiento del equipo de inspección, código NDTUT-PG-03.• Revisar el documento de especificaciones técnicas, Ref. numeral 3.2.2.• Revisar el documento de ilustraciones de las teclas del equipo de medición de espesores, Ref. numeral 3.2.3. | | |
| 3.3.1.2 Encendido del equipo de inspección | | |
| <ul style="list-style-type: none">• Conectar la probeta al puerto del equipo, solo sostenga la parte delantera metálica del conector y empuje este directo a lo largo del eje.• Presionar la tecla ON/RST.• Cuando el equipo es encendido la pantalla mostrara el valor de la velocidad de sonido usada en la última medición. | | |
|  | | |
| <p>Figura 3.1. Conexión de probeta y encendido del equipo de inspección. Fuente: Manual de operación del equipo UM-2D</p> | | |



ITSA
GUÍA PRÁCTICA PARA INSPECCIÓN
POR
ULTRASONIDO
(MEDICIÓN DE ESPEORES)

NDTUT-PG-01

Pág. 2 de 4

3.3.1.3 Configuración del sistema

Se tiene algunas configuraciones:

- Cambio de Unidades: (Ref. NDTUT-PG-04)
- Cambio de probeta: (Ref. NDTUT-PG-05)
- Cambio de resolución: (Ref. NDTUT-PG-06)
- Captura mínima: Para capturar el espesor mínimo de la medición (Ref. NDTUT-PG-07).
- Dos puntos de calibración: Para materiales con velocidad de sonido desconocida y espesores mayor y menor conocidos (Ref. NDTUT-PG-08).
- Idioma: Inglés y chino (Ref. NDTUT-PG-09)

3.3.1.4 Cambio al modo estándar

- Presionar **MENU** hasta que **Std** este seleccionado.
- Presionar **ENTER** para cambiar al modo requerido en caso de que se encuentre **Coat** seleccionado (activado).

3.3.1.5 Preparación de la superficie

- Identificar y obtener acceso a la superficie a ser inspeccionada.
- Antes de cada examinación del componente, la superficie del mismo debe estar seca y libre de suciedad, grasa, pelusa, etc.

3.3.1.6 Calibración del equipo de medición

- Para la calibración del equipo nos referimos a la guía práctica para calibración del equipo de inspección por ultrasonido código NDTUT-PG-10.

3.3.1.7 Almacenamiento de resultados de prueba

- Los resultados de la prueba pueden ser guardados dentro de 5 archivos individuales (Save1, Save2,..., Save5). Cada archivo guarda hasta 100 valores.
- Para guardar los resultados de la prueba, seleccionar **SaveN** (N= 1, 2, 3, 4 o 5) al presionar **MENU**.
- Presionar **ENTER** para cambiar N al número requerido.



ITSA
GUÍA PRÁCTICA PARA INSPECCIÓN
POR
ULTRASONIDO
(MEDICIÓN DE ESPEORES)

NDTUT-PG-01

Pág. 3 de 4

- Presionar **MENU** cuando el numero N de archivo es asignado. El equipo está ahora listo para guardar datos de medición al archivo numerado anteriormente.
- Durante la medición, presionar **MEM** para guardar la lectura al archivo SaveN. Una indicación destellante de “Memory” se mostrará en la LCD si el valor es sucesivamente guardado.

3.3.1.8 Medición

- Poner una pequeña gota de gel acoplante sobre la superficie del componente a ser inspeccionado.
- Asignar en el equipo la velocidad de sonido de acuerdo al material del componente a ser inspeccionado, al presionar la tecla **VEL**, y referirnos al numeral 3.2.3.1.6 del documento de ilustraciones de teclas del equipo medidor de espesores. Las velocidades del sonido de los materiales a ser medidos se encuentran en el documento código NDTUT-VC-01.
- Situar la probeta sobre la gota del gel acoplante en la superficie del componente de acuerdo al método a utilizar para la medición de espesores (Ref. NDTUT-PG-11).
- El valor del espesor se mostrará sobre la pantalla LCD en milímetros y también en pulgadas. El equipo muestra el resultado de la medida siempre que la probeta esté acoplada con el componente de trabajo () por más de 2 segundos con el gel acoplante.

Después de haber terminado la medición:

- Desconectar la probeta del puerto del equipo, solo sostenga la parte delantera metálica del conector y tire este directo a lo largo del eje.

3.3.1.9 Limpieza final

- Limpiar el líquido acoplante y la suciedad inmediatamente para mantener el instrumento limpio.
- Dejar el área de trabajo limpia.



**ITSA
GUÍA PRÁCTICA PARA INSPECCIÓN
POR
ULTRASONIDO
(MEDICIÓN DE ESPESORES)**

NDTUT-PG-01

Pág. 4 de 4

3.3.1.10 Lectura de resultados guardados

- Seleccionar **SaveN** presionando **MENU**
- Presionar **ENTER** para cambiar N al número requerido (1, 2, 3, 4 o 5).
- Presionar **MEM** para abrir el archivo, “No” apunta al resultado actual, “Total” es el número de las lecturas en el archivo “SaveN”. Al presionar **ENTER** se borrarán los resultados actuales desde el archivo.
- Usar las teclas **▲** y **▼** para mostrar los otros resultados en este archivo.

3.3.1.11 Llenado del reporte de inspección (Ref. NDTUT-IR-01)

3.3.2 Guía práctica para componentes con recubrimiento

| | | |
|---|--|-------------|
|  | ITSA GUÍA PRÁCTICA PARA INSPECCIÓN POR ULTRASONIDO (MEDICIÓN DE ESPEORES) | NDTUT-PG-02 |
| | | Pág. 1 de 4 |
| 3.3.2.1 Requerimientos previos para la inspección | | |
| <ul style="list-style-type: none">• Equipo de protección personal: calzado de trabajo, gafas de protección, mascarilla, overol y guantes (quirúrgicos).• Revisar el documento de mantenimiento del equipo de inspección, código NDTUT-PG-03.• Revisar el documento de especificaciones técnicas, Ref. numeral 3.2.2.• Revisar el documento de ilustraciones de las teclas del equipo de medición de espesores, Ref. numeral 3.2.3. | | |
| 3.3.2.2 Encendido del equipo de inspección | | |
| <ul style="list-style-type: none">• Conectar la probeta al puerto del equipo, solo sostenga la parte delantera metálica del conector y empuje este directo a lo largo del eje.• Presionar la tecla ON/RST.• Cuando el equipo es encendido la pantalla mostrará el valor de la velocidad de sonido usada en la última medición. | | |
|  | | |
| <p>Figura 3.2. Conexión de probeta y encendido del instrumento de inspección.</p> <p>Fuente: Manual de operación del equipo UM-2D</p> | | |



ITSA
GUÍA PRÁCTICA PARA INSPECCIÓN
POR
ULTRASONIDO
(MEDICIÓN DE ESPESORES)

NDTUT-PG-02

Pág. 2 de 4

3.3.2.3 Configuración del sistema

Se tiene algunas configuraciones:

- Cambio de Unidades: (Ref. NDTUT-PG-04)
- Cambio de probeta (Ref. NDTUT-PG-05)
- Cambio de resolución: (Ref. NDTUT-PG-06)
- Captura mínima: Para capturar el espesor mínimo de la medición (Ref. NDTUT-PG-07)
- Dos puntos de calibración: Para materiales con velocidad de sonido desconocida y espesores mayor y menor conocidos (Ref. NDTUT-PG-08)
- Idioma: Inglés y chino (Ref. NDTUT-PG-09)

3.3.2.4 Cambio al modo con recubrimiento

- Presionar **MENU** hasta que **Coat** este seleccionado.
- Presionar **ENTER** para cambiar al modo requerido en caso de que se encuentre **Std** seleccionado (activado).

3.3.2.5 Preparación de la superficie

- Identificar y obtener acceso a la superficie a ser inspeccionada.
- Antes de cada examinación del componente, la superficie del mismo debe estar seca y libre de suciedad, grasa, pelusa, etc.

3.3.2.6 Calibración del equipo de medición

- Para la calibración del equipo nos referimos a la guía práctica para calibración del equipo de inspección por ultrasonido código NDTUT-PG-10.

3.3.2.7 Almacenamiento de resultados de prueba

- Los resultados de la prueba pueden ser guardados dentro de 5 archivos individuales (Save1, Save2,..., Save5). Cada archivo guarda hasta 100 valores.
- Para guardar los resultados de la prueba, seleccionar **SaveN** (N=1, 2, 3, 4 o 5) al presionar **MENU**.
- Presionar **ENTER** para cambiar N al número requerido.



ITSA
GUÍA PRÁCTICA PARA INSPECCIÓN
POR
ULTRASONIDO
(MEDICIÓN DE ESPESORES)

NDTUT-PG-02

Pág. 3 de 4

- Presionar **MENU** cuando el numero N de archivo es asignado. El equipo está ahora listo para guardar datos de medición al archivo numerado anteriormente.
- Durante la medición, presionar **MEM** para guardar la lectura al archivo SaveN. Una indicación destellante de “Memory” se mostrará en la LCD si el valor es sucesivamente guardado.

3.3.2.8 Medición

- Poner una pequeña gota de gel acoplante sobre la superficie del componente a ser inspeccionado.
- Asignar en el equipo la velocidad de sonido de acuerdo al material del componente a ser inspeccionado, al presionar la tecla **VEL**, y referirnos al numeral 3.2.3.1.6 del documento de ilustraciones de teclas del equipo medidor de espesores. Las velocidades del sonido de los materiales a ser medidos se encuentran en el documento código NDTUT-VC-01.
- Situar la probeta sobre la gota del gel acoplante en la superficie del componente de acuerdo al método a utilizar para la medición de espesores (Ref. NDTUT-PG-11).
- El valor del espesor se mostrará sobre la pantalla LCD en milímetros y también en pulgadas. El equipo muestra el resultado de la medida siempre que la probeta esta acoplada con el componente de trabajo () por más de 2 segundos con el gel acoplante.

Después de haber terminado la medición:

- Desconectar la probeta del puerto del equipo, solo sostenga la parte delantera metálica del conector y tire este directo a lo largo del eje.

3.3.2.9 Limpieza final

- Limpiar el líquido acoplante y la suciedad inmediatamente para mantener el instrumento limpio.
- Dejar el área de trabajo limpia.



**ITSA
GUÍA PRÁCTICA PARA INSPECCIÓN
POR
ULTRASONIDO
(MEDICIÓN DE ESPESORES)**

NDTUT-PG-02

Pág. 4 de 4

3.3.2.10 Lectura de resultados guardados

- Seleccionar **SaveN** presionando **MENU**
- Presionar **ENTER** para cambiar N al número requerido (1, 2, 3, 4 o 5).
- Presionar **MEM** para abrir el archivo, “No” apunta al resultado actual, “Total” es el número de las lecturas en el archivo “SaveN”. Al presionar **ENTER** se borrarán los resultados actuales desde el archivo.
- Usar las teclas **▲** y **▼** para mostrar los otros resultados en este archivo.

3.3.2.11 Llenado del reporte de inspección (Ref. NDTUT-IR-01)

3.3.3 Guía práctica para mantenimiento del equipo de inspección

| | | |
|---|---|-------------|
|  | ITSA GUÍA PRÁCTICA PARA MANTENIMIENTO DEL EQUIPO DE INSPECCIÓN (MEDICIÓN DE ESPESORES) | NDTUT-PG-03 |
| | | Pág. 1 de 1 |
| 3.3.3.1 Mantenimiento | | |
| <p>El equipo de inspección comprende: el equipo de medición de espesores, la estación de trabajo y sus respectivos accesorios.</p> <p>Para mantener el equipo de inspección en buenas condiciones se debe tomar en cuenta lo siguiente:</p> <ul style="list-style-type: none">• Evitar poner líquido corrosivo dentro del instrumento y la probeta.• Evitar golpear el equipo, la probeta o los accesorios que se encuentren en la mesa de trabajo.• Después de usar el equipo, el líquido acoplante y la suciedad deben ser limpiados inmediatamente para mantener el instrumento limpio.• Prevenir que el instrumento adquiera humedad y no dejar este en un ambiente húmedo por un largo tiempo.• Cuando la probeta está siendo conectada o desconectada desde el puerto solo sostenga la parte delantera metálica del conector y empuje o tire este directo a lo largo del eje.• No hacer girar los conectores, o el cable de la probeta puede tener daños.• Retirar las baterías de su cavidad si el equipo no va a ser usado por un largo tiempo.• No intentar abrir el instrumento.• Lubricar los bloques de calibración cada dos semanas para evitar corrosión en los mismos. | | |
| | | |

3.3.4 Guía de procedimientos para cambio de unidades en el equipo de inspección

| | | |
|---|---|--------------------|
|  | ITSA GUÍA DE PROCEDIMIENTOS PARA CAMBIO DE UNIDADES EN EL EQUIPO DE INSPECCIÓN (MEDICIÓN DE ESPESORES) | NDTUT-PG-04 |
| | | Pág. 1 de 1 |
| 3.3.4.1 Cambio de unidades | | |
| <ul style="list-style-type: none">• Presionar MENU hasta que Menu sea seleccionado.• Presionar ENTER para ingresar a Menú.• Presionar ENTER para ingresar a la configuración del sistema.• Presionar ENTER en la opción “Units” para seleccionar las unidades en las cuales se desea trabajar, tenemos dos: “Metric” e “Imperial”.• Presionar la tecla MENU dos veces para retornar a la operación principal, después de la configuración del sistema. <p>En caso de haber ingresado a la configuración del sistema únicamente por cambiar las unidades se procederá a realizar la medición sin necesidad de retornar a la operación principal.</p> | | |
| | | |

3.3.5 Guía de procedimientos para ajuste de probeta en el equipo de inspección

| | | |
|--|--|--------------------|
|  | ITSA GUÍA DE PROCEDIMIENTOS PARA AJUSTE DE PROBETA EN EL EQUIPO DE INSPECCIÓN (MEDICIÓN DE ESPESORES) | NDTUT-PG-05 |
| | | Pág. 1 de 1 |
| 3.3.5.1 Ajuste de probeta | | |
| <ul style="list-style-type: none">• Presionar MENU hasta que Menu sea seleccionado.• Presionar ENTER para ingresar a Menú.• Presionar ENTER para ingresar a la configuración del sistema.• Usar las teclas de operación ▲ y/o ▼ para seleccionar la función y presionar ENTER en la opción “Probe” para seleccionar la probeta con la cual se desea trabajar, la única probeta con la que contamos es la PT-08 por tanto seleccionaremos “PT-08”.• Presionar la tecla MENU dos veces para retornar a la operación principal, después de la configuración del sistema. <p>En caso de haber ingresado a la configuración del sistema únicamente por ajustar la probeta se procederá a realizar la medición sin necesidad de retornar a la operación principal.</p> | | |
| | | |

3.3.6 Guía de procedimientos para cambio de resolución en el equipo de inspección

| | | |
|---|---|--------------------|
|  | ITSA GUÍA DE PROCEDIMIENTOS PARA CAMBIO DE RESOLUCIÓN EN EL EQUIPO DE INSPECCIÓN (MEDICIÓN DE ESPORES) | NDTUT-PG-06 |
| | | Pág. 1 de 1 |
| 3.3.6.1 Cambio de resolución | | |
| <ul style="list-style-type: none">• Presionar MENU hasta que Menu sea seleccionado.• Presionar ENTER para ingresar al Menú.• Presionar ENTER para ingresar a la configuración del sistema. Usar las teclas de operación ▲ y/o ▼ para seleccionar la función y presionar ENTER para ajustar la resolución.• Elegir “High” 0.001” (si el espesor es menor a 3.93” (100.0 mm)) o “Low” 0.01” (0.1 mm) (si el espesor es mayor a 3.93” (100.0 mm)). Esta asignación puede ser observada en la pantalla con “HIGH” o “LOW”.• Presionar la tecla MENU dos veces para retornar a la operación principal, después de la configuración del sistema. <p>En caso de haber ingresado a la configuración del sistema únicamente por cambiar la resolución, se procederá a realizar la medición sin necesidad de retornar a la operación principal.</p> | | |
| | | |

3.3.7 Guía de procedimientos para configuración y operación de captura mínima en el equipo de inspección

| | | |
|---|--|--------------------|
|  | ITSA GUÍA DE PROCEDIMIENTOS PARA CONFIGURACIÓN Y OPERACIÓN DE CAPTURA MÍNIMA EN EL EQUIPO DE INSPECCIÓN (MEDICIÓN DE ESPORES) | NDTUT-PG-07 |
| | | Pág. 1 de 1 |
| 3.3.7.1 Configuración de captura mínima | | |
| <ul style="list-style-type: none"> • Presionar MENU hasta que Menu sea seleccionado. • Presionar ENTER para ingresar al Menú. • Presionar ENTER para ingresar a la configuración del sistema. Usar las teclas de operación ▲ y/o ▼ para seleccionar la función de captura mínima. • Presionar ENTER para activar (ON) o desactivar (OFF) la captura mínima de acuerdo a su conveniencia. • Presionar MENU dos veces para retornar a la operación principal, después de la configuración del sistema. <p>En caso de haber ingresado a la configuración del sistema únicamente por activar o desactivar la captura mínima, es posible proceder a la medición sin necesidad de regresar a la operación principal.</p> | | |
| 3.3.7.2 Operación de captura mínima | | |
| <ul style="list-style-type: none"> • Activar la captura mínima (Ref: NDTUT-PG-07 Num. 3.3.7.1). • Esta función al ser asignada a “ON”, esta lista la lectura de captura mínima en la medición. • Proceder a la medición (Ref: NDTUT-PG-01 Num 3.3.1.8 o NDTUT-PG-02 Num 3.3.2.8). <p>La pantalla mostrará el espesor actual mientras la probeta este acoplada con la muestra tan pronto como la probeta sea liberada desde su posición, la LCD mostrará la lectura mínima y “MIN” destellara por 6 veces. Midiendo durante el destello se enviarán los resultados dentro de la selección de captura para obtener la lectura mínima.</p> | | |

3.3.8 Guía de procedimientos para configuración y operación de dos puntos de calibración en el equipo de inspección

| | | |
|--|---|--|
|  | <p style="text-align: center;">ITSA GUÍA DE PROCEDIMIENTOS PARA CONFIGURACIÓN Y OPERACIÓN DE DOS PUNTOS DE CALIBRACIÓN EN EL EQUIPO DE INSPECCIÓN (MEDICIÓN DE ESPEORES)</p> | <p style="text-align: center;">NDTUT-PG-08</p> |
| | | <p style="text-align: center;">Pág. 1 de 2</p> |
| <p>3.3.8.1 Configuración de dos puntos de calibración</p> | | |
| <ul style="list-style-type: none"> • Presionar MENU hasta que Menu sea seleccionado. Presionar ENTER para ingresar al Menú. • Presionar ENTER para ingresar a la configuración del sistema. Usar las teclas de operación ▲ y/o ▼ para seleccionar la función de dos puntos de calibración. • Presionar ENTER para activar (ON) o desactivar (OFF) la función de dos puntos de calibración de acuerdo a su conveniencia. Presionar MENU dos veces para retornar a la operación principal, después de la configuración del sistema. <p>En caso de haber ingresado a la configuración del sistema únicamente por activar o desactivar la función de dos puntos de calibración, es posible proceder a la medición sin necesidad de regresar a la operación principal.</p> | | |
| <p>3.3.8.2 Operación de dos puntos de calibración</p> | | |
| <ul style="list-style-type: none"> • Usar un bloque de calibración con dos espesores conocidos, de los cuales es mucho mejor asignarlos límites superiores e inferiores del rango de medida respectivamente. • Activar la función de dos puntos de calibración desde la configuración del sistema (Ref: NDTUT-PG-08 Num. 3.3.8.1) y desactivar la “Minimum Capture” (Ref: NDTUT-PG-07 Num 3.3.7.2). • Presionar CAL mientras se chequea el espesor de la muestra más pequeña (Probeta acoplada al menor espesor), “Thin” será mostrado en la LCD con los resultados de los espesores. Usar las teclas ▲ y ▼ para cambiar la lectura del espesor de la muestra más pequeña. | | |



ITSA
GUÍA DE PROCEDIMIENTOS PARA
CONFIGURACIÓN Y OPERACIÓN DE
DOS PUNTOS DE CALIBRACIÓN EN EL
EQUIPO DE INSPECCIÓN
(MEDICIÓN DE ESPESORES)

NDTUT-PG-08

Pág. 2 de 2

- Presionar **CAL**.
- Acoplar la probeta al espesor mayor, “Thick” será mostrado en la LCD con los resultados de los espesores. Usar las teclas ▲ y ▼ para cambiar la lectura del espesor de la muestra más grande.
- Presionar **CAL**.
- Proceder a la medición (Ref. NDTUT-PG-01 Num. 3.3.1.8 o Ref. NDTUT-PG-02 Num. 3.3.2.8).

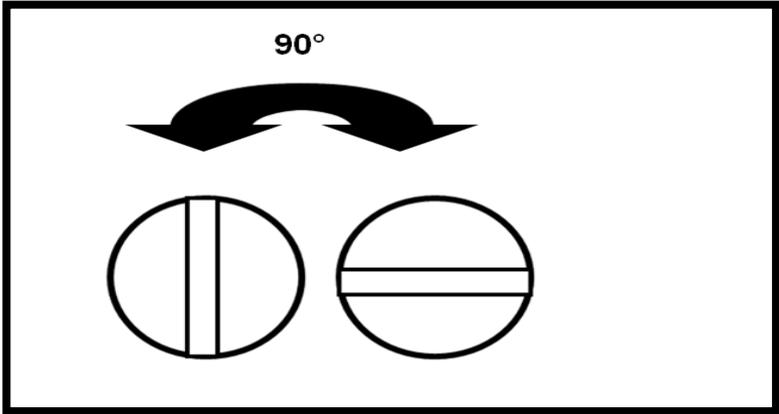
3.3.9 Guía de procedimientos para configuración del idioma en el equipo de inspección

| | | |
|--|--|--------------------|
|  | ITSA GUÍA DE PROCEDIMIENTOS PARA CONFIGURACIÓN DEL IDIOMA EN EL EQUIPO DE INSPECCIÓN (MEDICIÓN DE ESPEORES) | NDTUT-PG-09 |
| | | Pág. 1 de 1 |
| 3.3.9.1 Configuración del idioma | | |
| <ul style="list-style-type: none">• Presionar MENU hasta que Menu sea seleccionado.• Presionar ENTER para ingresar a Menu.• Presionar ENTER para ingresar a la configuración del sistema. Usar las teclas de operación ▲ y/o ▼ para seleccionar la función y presionar ENTER para ajustar el idioma provechoso. Este equipo cuenta con dos idiomas, inglés y chino. | | |
| | | |

3.3.10 Guía de procedimientos para calibración del equipo de inspección

| | | |
|---|--|-------------|
|  | ITSA GUÍA DE PROCEDIMIENTOS PARA CALIBRACIÓN DEL EQUIPO DE INSPECCIÓN (MEDICIÓN DE ESPESORES) | NDTUT-PG-10 |
| | | Pág. 1 de 1 |
| 3.3.10.1 Calibración del equipo de inspección | | |
| <ul style="list-style-type: none">• Presionar VEL.• Asignar la velocidad de sonido a 0.232" (5900 m/s) usando las teclas de operación ▲, ▼ y ENTER.• Poner una pequeña gota de gel acoplante en el bloque de calibración incorporado sobre el equipo.• Presionar la probeta sobre la cara del bloque para obtener la medida. La pantalla LCD mostrará un valor, presionar la tecla CAL mientras se sostiene la probeta, el equipo mostrará "0.157" (4.00 mm).• Levantar completamente la probeta del bloque y medir el bloque de calibración otra vez, un valor de espesor de "4.00 mm" o "0.157 in" se mostrará. Esto significa que la calibración esta lista.• La verificación debe ser llevada a cabo todo el tiempo que la unidad este encendida. | | |
| | | |

3.3.11 Guía de métodos de medición de espesores con el equipo de inspección

| | | |
|--|---|--------------------------------|
|  | ITSA GUÍA DE MÉTODOS DE MEDICIÓN DE ESPEORES CON EL EQUIPO DE INSPECCIÓN | NDTUT-PG-11 Pág. 1 de 5 |
| 3.3.11.1 Medición de superficies planas | | |
| 3.3.11.1.1 Métodos generales | | |
| <ul style="list-style-type: none">• Método simple de medida <p>Este método implica la medida de espesores en un solo punto.</p> <ul style="list-style-type: none">• Método doble de medida <p>Este método implica llevar a cabo dos mediciones cerca de un lugar simple usando una probeta con un sensor dual rotado desde 0° a 90° respectivamente, con respecto a la cara de división (ruptura, rompimiento). Tomar el más pequeño de los valores indicados como el espesor del material.</p> <div data-bbox="443 1319 1222 1733" style="text-align: center;"></div> <p style="text-align: center;">Figura 3.3. Método doble de medida Fuente: Manual de operación del UM-2D</p> | | |



ITSA
GUÍA DE MÉTODOS DE MEDICIÓN DE
ESPEORES CON EL EQUIPO DE
INSPECCIÓN

NDTUT-PG-11

Pág. 2 de 5

- **Puntos múltiples de medida dentro de un círculo de $\phi=1.18''$ (30 mm).**

Este método implica realizar un número de medidas dentro de un círculo teniendo un máximo diámetro de acerca 1.18" (30 mm). Tomar el mínimo valor indicado como el espesor del material.

3.3.11.1.2 Método de precisión de medida

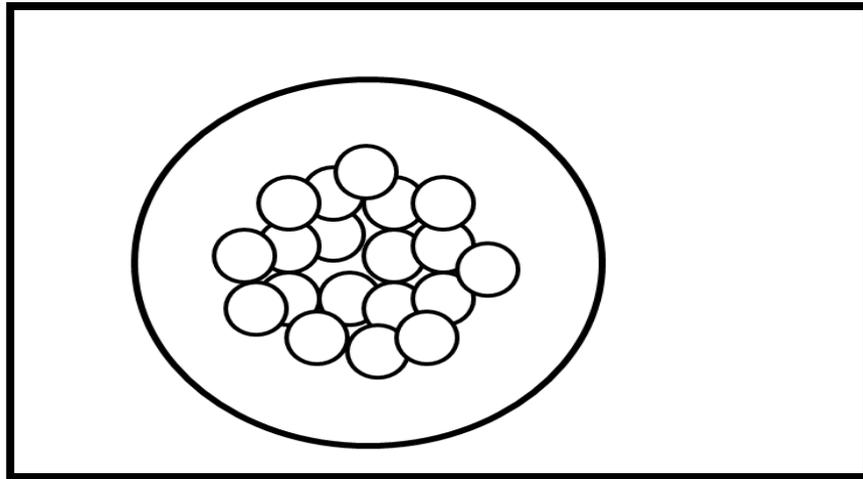


Figura 3.4. Método de precisión de medida

Fuente: Manual de operación del UM-2D

Este método implica incrementar el número de mediciones alrededor de un cierto punto de medida y expresar las fluctuaciones de medida en términos de líneas de contorno de igual espesor.



3.3.11.1.3 Método de medición continua

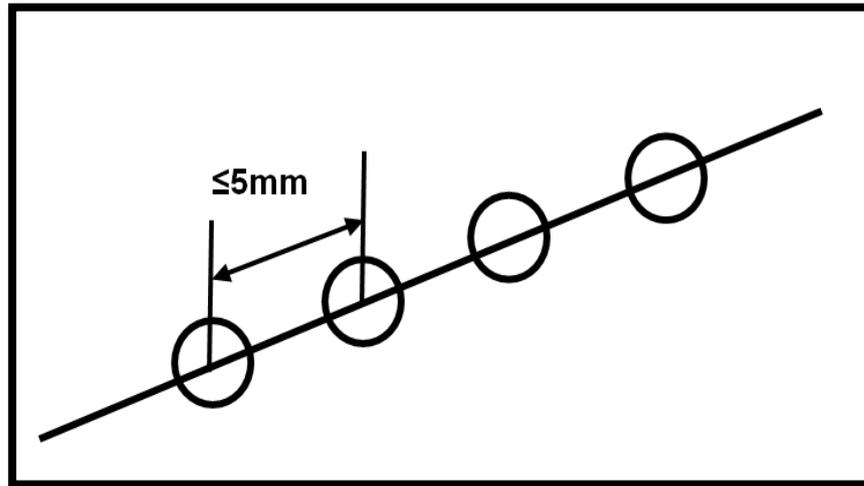


Figura 3.5. Medida continua a lo largo de una línea

Fuente: Manual de operación del UM-2D

Este método implica tomar mediciones continuas a lo largo de una línea especificada de acuerdo al método sencillo de medición a intervalos de 5 mm o menos.

Su aplicación dicta que es el método más efectivo de usar. Si no se encuentra seguridad en el mejor método, el método de doble medición debe ser utilizado en combinación con uno de los otros métodos. Tomado en cuenta la condición de corrosión del material.

3.3.11.2 Métodos de medición de paredes de tubos

Los espesores de un tubo o de un objeto redondo pueden ser medidos exactamente con este instrumento. El rango de medida es mostrado a continuación.



ITSA
GUÍA DE MÉTODOS DE MEDICIÓN DE
ESPEORES CON EL EQUIPO DE
INSPECCIÓN

NDTUT-PG-11

Pág. 4 de 5

Tabla 3.1. Probetas a usar de acuerdo al diámetro de la tubería

| Tipo de probeta | Diámetro del tubo en pulg (mm) | Espesor en pulg (mm) |
|-----------------|--------------------------------|------------------------|
| Pt-08, 10 y 12 | $\geq \phi 1.0''$ (25 mm) | $\geq 0.04''$ (1.2 mm) |

Fuente: Manual de operación del equipo UM-2D

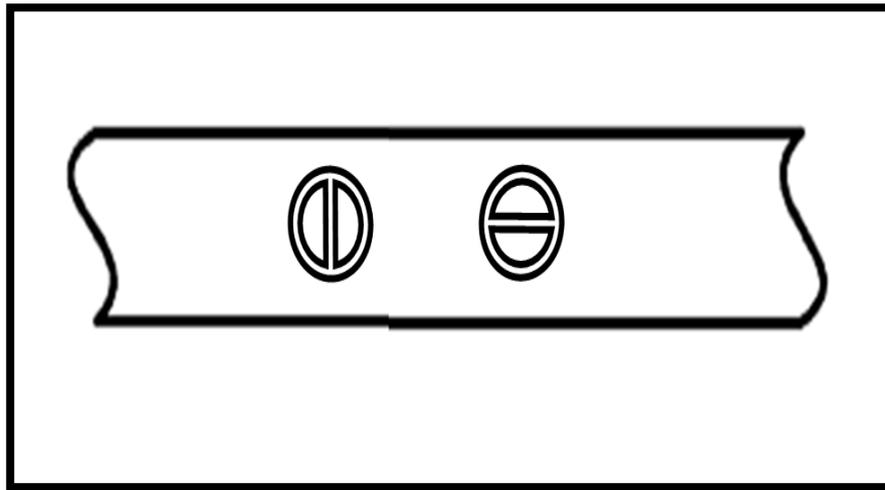


Figura 3.6. Muestra de tubería

Fuente: Manual de operación del UM-2D

IMPORTANTE

La división plana de la probeta puede estar a lo largo del tubo axial o perpendicularmente como se muestra en la figura anterior. Para tubos pequeños, la medición debe ser hecha en ambas direcciones (moviendo la probeta un poco), el valor más pequeño mostrado debe ser tomado como el valor del espesor.

Para tubos largos, medir el espesor de la pared a lo largo en dirección perpendicular al eje del tubo.

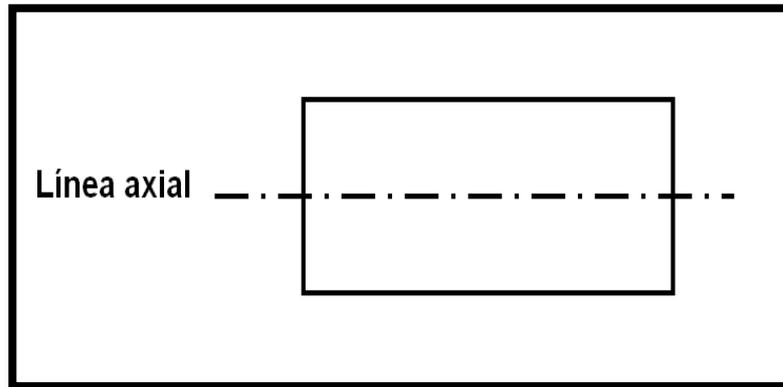


Figura 3.7. Muestra de probeta

Fuente: Manual de operación del UM-2D

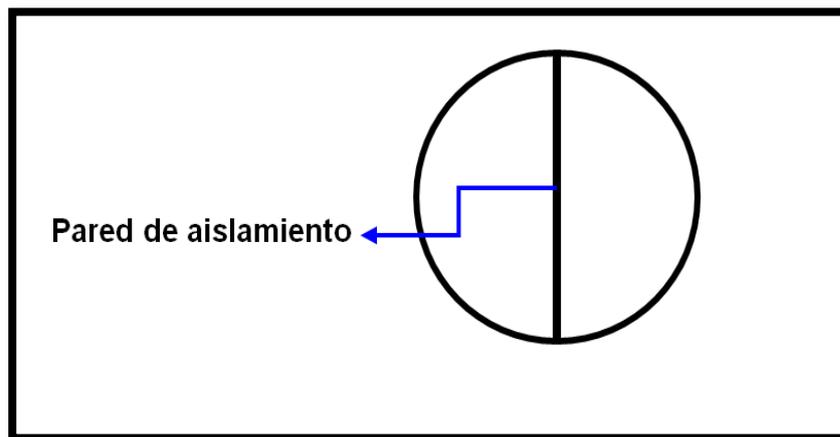


Figura 3.8. Vista inferior de la probeta

Fuente: Manual de operación del UM-2D

3.3.12 Lista de velocidades de sonido de materiales

| | | |
|---|--|--------------------|
|  | ITSA LISTA DE LAS VELOCIDADES DE SONIDO DE MATERIALES DIMENSIONALES POR EL EQUIPO DE INSPECCIÓN (MEDICIÓN DE ESPESORES) | NDTUT-VC-01 |
| | | Pág. 1 de 2 |

Tabla 3.2. Velocidades de sonido de los materiales

| Material | Velocidad de sonido | |
|------------------|---------------------|-------|
| | In/μS | m/s |
| Aluminio | 0.250 | 6300 |
| Oxido de alúmina | 0.390 | 9900 |
| Berilio | 0.510 | 12900 |
| Carburo de boro | 0.430 | 11000 |
| Latón | 0.170 | 4300 |
| Cadmio | 0.110 | 2800 |
| Cobre | 0.180 | 4700 |
| Vidrio(corona) | 0.210 | 5300 |
| Glicerina | 0.075 | 1900 |
| Oro | 0.130 | 3200 |
| Hielo | 0.160 | 4000 |
| Inconel | 0.220 | 5700 |
| Hierro | 0.230 | 5900 |
| Hierro(Fundido) | 0.180 | 4600 |
| Plomo | 0.085 | 2200 |
| Magnesio | 0.230 | 5800 |
| Mercurio | 0.057 | 1400 |
| Molibdeno | 0.250 | 6300 |
| Monel | 0.210 | 5400 |
| Neopreno | 0.063 | 1600 |

Todas las velocidades son aproximaciones



ITSA
LISTA DE LAS VELOCIDADES DE SONIDO DE MATERIALES DIMENSIONALES POR EL EQUIPO DE INSPECCIÓN (MEDICIÓN DE ESPESORES)

NDTUT-VC-01

Pág. 2 de 2

Continuación de tabla 3.2

| Material | Velocidad de sonido | |
|-------------------------|---------------------|------|
| | In/ μ S | m/s |
| Níquel | 0.220 | 5600 |
| Nylon, 6.6 | 0.100 | 2600 |
| Aceite(SAE 30) | 0.067 | 1700 |
| Platino | 0.130 | 3300 |
| Plexiglás | 0.110 | 1700 |
| Polietileno | 0.070 | 1900 |
| Poliestireno | 0.0930 | 2400 |
| Poliuretano | 0.0700 | 1900 |
| Cuarzo | 0.230 | 5800 |
| Goma de butilo | 0.070 | 1800 |
| Plata | 0.140 | 3600 |
| Acero, Suave | 0.232 | 5900 |
| Acero, acero inoxidable | 0.230 | 5800 |
| Teflón | 0.060 | 1400 |
| Estaño | 0.130 | 3300 |
| Titanio | 0.240 | 6100 |
| Tungsteno | 0.200 | 5200 |
| Uranio | 0.130 | 3400 |
| Zinc | 0.170 | 4200 |

Fuente: Manual de operación del equipo UM-2D

Todas las velocidades son aproximaciones

3.3.13 Reporte de inspección por ultrasonido

| | | | | | | |
|---|--|---|------------------|---|--------------------------|------------------|
|  | ITSA REPORTE DE INSPECCIÓN POR ULTRASONIDO (MEDICIÓN DE ESPEORES) | | | | NDTUT-IR-01 | |
| | Pág. 1 de 1 | | | | | |
| Datos Generales | | | | | | |
| 1. Laboratorio: | | | | | | |
| 2. Fecha: | | | 3. Lugar: | | 4. Reporte No: | |
| 5. Gráfico del componente inspeccionado | | | | | | |
| | | | | | | |
| 6. Equipos y materiales | | | | | | |
| | | | | | | |
| 7. Registro | | | | | | |
| | Medición | | | | Valor medio | Desgaste (Valor) |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | | |
| Posición 1 | | | | | | |
| Posición 2 | | | | | | |
| Posición 3 | | | | | | |
| Posición 4 | | | | | | |
| 8. Observaciones: | | | | | | |
| | | | | | | |
| 9. Estudiante: | | | | | 10. Nivel: | |
| 11. Firma: | | | | | 12. Calificación: | |
| 13. Instructor: | | | | | 14. Firma: | |
| | | | | | | |

3.3.13.1 Instrucciones de llenado del Reporte de Inspección código NDTUT-IR-01

1. Nombre del laboratorio en el que se efectuó la inspección.
2. Fecha en la que se realizó la inspección.
3. Lugar en el cual se ejecutó la inspección.
4. Número de reporte de inspección.
5. Gráfico del componente con las respectivas posiciones en las cuales fue inspeccionado.
6. Equipos y materiales utilizados durante la inspección.
7. Registro de 4 mediciones en las distintas posiciones del componente inspeccionado.
 - Valor medio: Valor promedio de las cuatro mediciones realizadas en las diferentes posiciones.
 - Desgaste (Valor): Diferencia entre el espesor original y el espesor medido (real).
8. Las discrepancias detectadas durante la inspección, así como también los criterios de aceptación y rechazo de acuerdo a los manuales del componente inspeccionado a falta de estos se utilizaran normas o códigos generales de referencia.
9. Nombre del estudiante que realiza la inspección.
10. Nivel en el que se encuentra cursando el estudiante.
11. Firma del estudiante que realiza la inspección.
12. Calificación del estudiante que realiza la inspección.
13. Nombre del instructor a cargo de la inspección.
14. Firma del instructor a cargo de la inspección.

3.3.14 Aplicación de la guía práctica para medición de espesores sin recubrimiento

3.3.14.1 Guía práctica para inspección ultrasónica del bloque de referencia P/N: NDTUT-RB-01 sin recubrimiento

| | | |
|---|---|--------------|
|  | ITSA GUÍA PRÁCTICA PARA INSPECCIÓN ULTRASÓNICA DEL BLOQUE DE REFERENCIA P/N: NDTUT-RB-01 SIN RECUBRIMIENTO (MEDICIÓN DE ESPESORES) | NDTUT-PG-12 |
| | | Pág. 1 de 12 |
| 3.3.14.1.1 Objetivo | | |
| Obtener los espesores de bloques patrón, elaborados con material aeronáutico. | | |
| 3.3.14.1.2 Materiales y equipo | | |
| <p>Material sin recubrimiento:</p> <ul style="list-style-type: none">• Bloque de referencia de Aluminio P/N: NDTUT-RB-01 <div data-bbox="486 1122 1169 1554" style="text-align: center;"></div> <p>Figura 3.9. Bloque de referencia de aluminio P/N: NDTUT-RB-01</p> <p>Fuente: Investigación de campo</p> <p>Equipo de medición de espesores por el método de ultrasonido. Acoplante</p> | | |



ITSA
GUÍA PRÁCTICA PARA INSPECCIÓN
ULTRASÓNICA DEL BLOQUE DE
REFERENCIA P/N: NDTUT-RB-01 SIN
RECUBRIMIENTO
(MEDICIÓN DE ESPEORES)

NDTUT-PG-12

Pág. 2 de 12



Figura 3.10. Equipo de medición de espesores y acoplante

Fuente: Investigación de campo

3.3.14.1.3 Requerimientos previos para la inspección

3.3.14.1.4 Encendido del equipo de inspección



Figura 3.11. Encendido del equipo de medición de espesores

Fuente: Investigación de campo



ITSA
GUÍA PRÁCTICA PARA INSPECCIÓN
ULTRASÓNICA DEL BLOQUE DE
REFERENCIA P/N: NDTUT-RB-01 SIN
RECUBRIMIENTO
(MEDICIÓN DE ESPESORES)

NDTUT-PG-12

Pág. 3 de 12

3.3.14.1.5 Configuración del sistema

Tenemos algunas configuraciones:

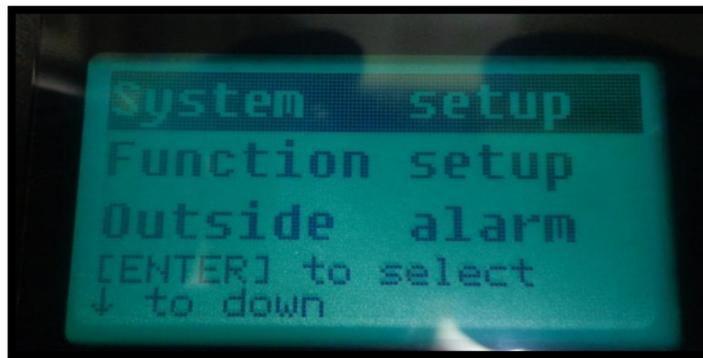


Figura 3.12. Función de configuración del sistema

Fuente: Investigación de campo

- Cambio de Unidades: IMPERIAL

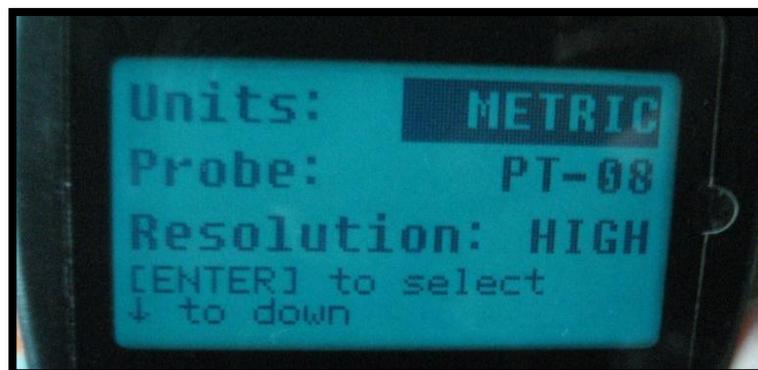


Figura 3.13. Unidades métricas

Fuente: Investigación de campo



ITSA
GUÍA PRÁCTICA PARA INSPECCIÓN
ULTRASÓNICA DEL BLOQUE DE
REFERENCIA P/N: NDTUT-RB-01 SIN
RECUBRIMIENTO
(MEDICIÓN DE ESPEORES)

NDTUT-PG-12

Pág. 4 de 12

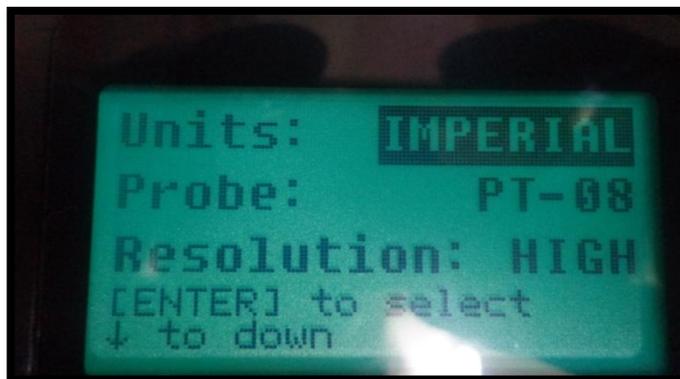


Figura 3.14. Unidades imperiales

Fuente: Investigación de campo

- Cambio de probeta (en este caso solo contamos con la probeta PT-08)

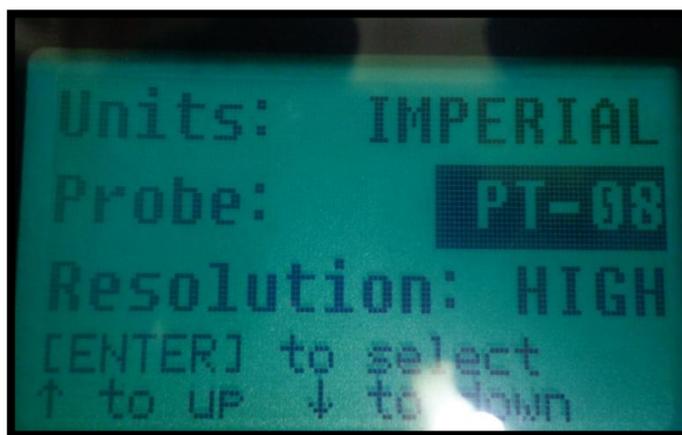


Figura 3.15. Configuración de probeta (Probeta PT-08)

Fuente: Investigación de campo



ITSA
GUÍA PRÁCTICA PARA INSPECCIÓN
ULTRASÓNICA DEL BLOQUE DE
REFERENCIA P/N: NDTUT-RB-01 SIN
RECUBRIMIENTO
(MEDICIÓN DE ESPESORES)

NDTUT-PG-12

Pág. 5 de 12

- Cambio de resolución:

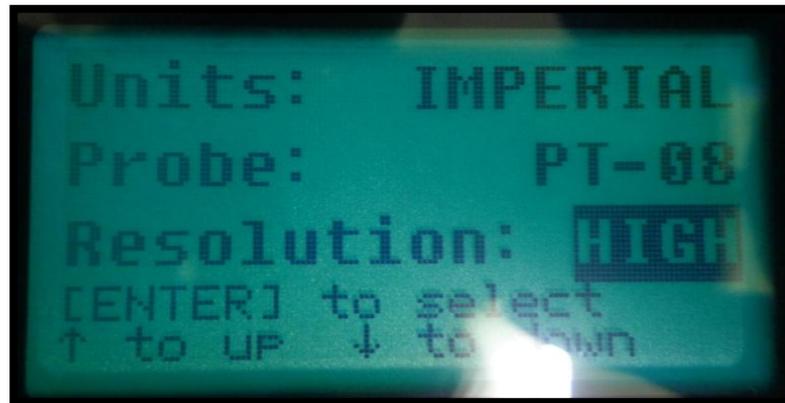


Figura 3.16. Cambio de resolución (Alta)

Fuente: Investigación de campo

- Captura mínima:

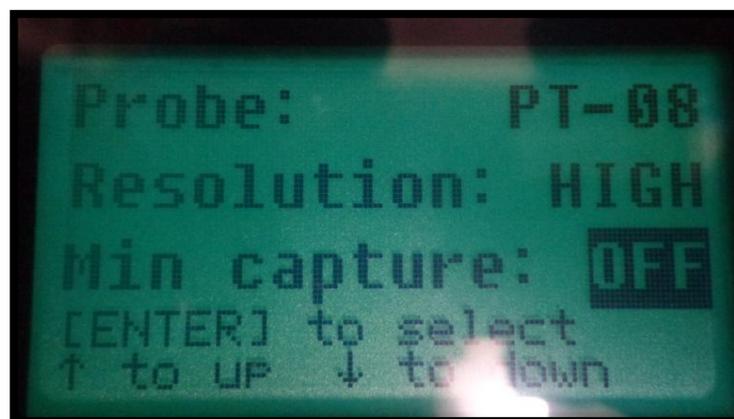


Figura 3.17. Configuración de captura mínima (Apagada)

Fuente: Investigación de campo



ITSA
GUÍA PRÁCTICA PARA INSPECCIÓN
ULTRASÓNICA DEL BLOQUE DE
REFERENCIA P/N: NDTUT-RB-01 SIN
RECUBRIMIENTO
(MEDICIÓN DE ESPESORES)

NDTUT-PG-12

Pág. 6 de 12

- Dos puntos de calibración:

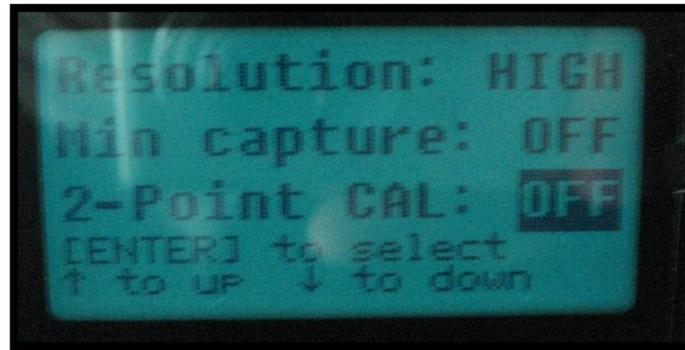


Figura 3.18. Ajuste de dos puntos de calibración (Apagado)

Fuente: Investigación de campo

- Idioma:

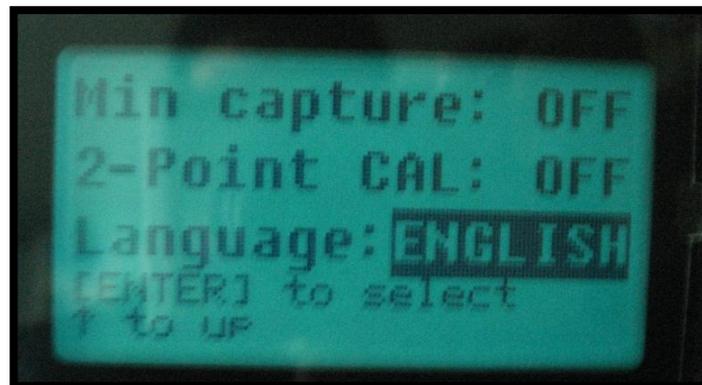


Figura 3.19. Configuración del idioma (Ingles)

Fuente: Investigación de campo



ITSA
GUÍA PRÁCTICA PARA INSPECCIÓN
ULTRASÓNICA DEL BLOQUE DE
REFERENCIA P/N: NDTUT-RB-01 SIN
RECUBRIMIENTO
(MEDICIÓN DE ESPEORES)

NDTUT-PG-12

Pág. 7 de 12

3.3.14.1.6 Cambio al modo estándar



Figura 3.20. Cambio de modo de operación (estándar)

Fuente: Investigación de campo

3.3.14.1.7 Preparación de la superficie



Figura 3.21. Limpieza de bloque P/N: NDTUT-RB-01 para ser examinado

Fuente: Investigación de campo



ITSA
GUÍA PRÁCTICA PARA INSPECCIÓN
ULTRASÓNICA DEL BLOQUE DE
REFERENCIA P/N: NDTUT-RB-01 SIN
RECUBRIMIENTO
(MEDICIÓN DE ESPESORES)

NDTUT-PG-12

Pág. 8 de 12

3.3.14.1.8 Calibración del equipo



Figura 3.22. Ajuste de velocidad de sonido

Fuente: Investigación de campo



Figura 3.23. Gota de acoplante en el bloque de calibración

Fuente: Investigación de campo



ITSA
GUÍA PRÁCTICA PARA INSPECCIÓN
ULTRASÓNICA DEL BLOQUE DE
REFERENCIA P/N: NDTUT-RB-01 SIN
RECUBRIMIENTO
(MEDICIÓN DE ESPESORES)

NDTUT-PG-12

Pág. 9 de 12



Figura 3.24. Probeta en contacto con el bloque de calibración

Fuente: Investigación de campo



Figura 3.25. Probeta sin contacto con el bloque de calibración

Fuente: Investigación de campo



ITSA
GUÍA PRÁCTICA PARA INSPECCIÓN
ULTRASÓNICA DEL BLOQUE DE
REFERENCIA P/N: NDTUT-RB-01 SIN
RECUBRIMIENTO
(MEDICIÓN DE ESPESORES)

NDTUT-PG-12

Pág. 10 de 12

3.3.14.1.9 Almacenamiento de resultados de prueba

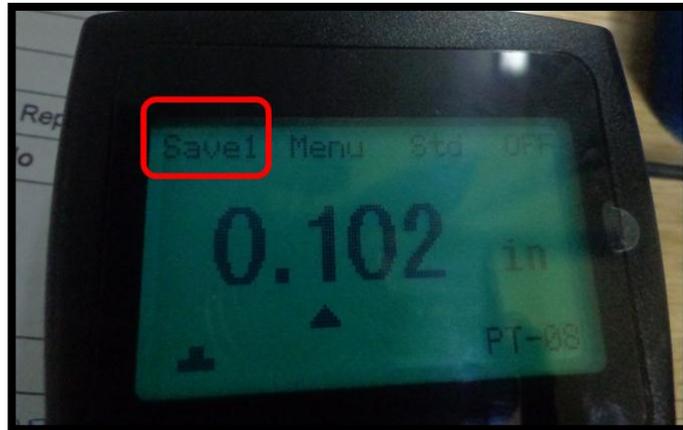


Figura 3.26. Equipo listo para almacenar información en el archivo #1

Fuente: Investigación de campo

3.3.14.1.10 Medición



Figura 3.27. Probeta PT-08 en contacto con la superficie del bloque NDTUT-RB-01.

Fuente: Investigación de campo



ITSA
GUÍA PRÁCTICA PARA INSPECCIÓN
ULTRASÓNICA DEL BLOQUE DE
REFERENCIA P/N: NDTUT-RB-01 SIN
RECUBRIMIENTO
(MEDICIÓN DE ESPESORES)

NDTUT-PG-12

Pág. 11 de 12



Figura 3.28. Medición del espesor del primer escalón del bloque NDTUT-RB-01.

Fuente: Investigación de campo

3.3.14.1.11 Limpieza final



Figura 3.29. Limpieza del bloque de referencia después de la inspección.

Fuente: Investigación de campo



ITSA
GUÍA PRÁCTICA PARA INSPECCIÓN
ULTRASÓNICA DEL BLOQUE DE
REFERENCIA P/N: NDTUT-RB-01 SIN
RECUBRIMIENTO
(MEDICIÓN DE ESPESORES)

NDTUT-PG-12

Pág. 12 de 12

3.3.14.1.12 Lectura de resultados guardados



Figura 3.30. Lectura de datos de espesores del primer escalón del bloque # 01.

Fuente: Investigación de campo

3.3.14.1.13 Llenado del reporte de inspección

**3.3.14.2 Guía práctica para inspección ultrasónica del bloque de referencia
P/N: NDTUT-RB-02 sin recubrimiento**

| | | |
|--|---|--------------------|
|  | <p>ITSA GUÍA PRÁCTICA PARA INSPECCIÓN ULTRASÓNICA DEL BLOQUE DE REFERENCIA P/N: NDTUT-RB-02 SIN RECUBRIMIENTO (MEDICIÓN DE ESPEORES)</p> | <p>NDTUT-PG-13</p> |
| <p>Pág. 1 de 5</p> | | |
| <p>3.3.14.2.1 Objetivo</p> | | |
| <p>Obtener los espesores de bloques patrón, elaborados con material aeronáutico.</p> | | |
| <p>3.3.14.2.2 Materiales y equipos</p> | | |
| <p>Material sin recubrimiento:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bloque de referencia de Aluminio P/N: NDTUT-RB-02 <div style="text-align: center;">  </div> <p>Figura 3.31. Bloque de referencia de aluminio P/N: NDTUT-RB-02. Fuente: Investigación de campo</p> <p>Equipo de medición de espesores por el método de ultrasonido. Acoplante</p> | | |
| <p>3.3.14.2.3 Requerimientos previos para la inspección</p> | | |
| <p>Equipo de protección personal: overol, gafas de protección, mascarilla, zapatos de protección (antideslizantes), guantes (quirúrgicos).</p> | | |
| <p>3.3.14.2.4 Encendido del equipo de inspección</p> | | |
| | | |



ITSA
GUÍA PRÁCTICA PARA INSPECCIÓN
ULTRASÓNICA DEL BLOQUE DE
REFERENCIA P/N: NDTUT-RB-02 SIN
RECUBRIMIENTO
(MEDICIÓN DE ESPESORES)

NDTUT-PG-13

Pág. 2 de 5

3.3.14.2.5 Configuración del sistema

Se tiene algunas configuraciones:

- Cambio de Unidades: IMPERIAL
- Cambio de probeta (en este caso solo contamos con la probeta PT-08)
- Cambio de resolución: HIGH
- Captura mínima: OFF
- Dos puntos de calibración: OFF
- Idioma: ENGLISH

3.3.14.2.6 Cambio al modo estándar

3.3.14.2.7 Preparación de la superficie

3.3.14.2.8 Calibración del equipo de inspección

3.3.14.2.9 Almacenamiento de resultados de prueba

3.3.14.2.10 Medición



Figura 3.32. Bloque de referencia de aluminio con acoplante.

Fuente: Investigación de campo



ITSA
GUÍA PRÁCTICA PARA INSPECCIÓN
ULTRASÓNICA DEL BLOQUE DE
REFERENCIA P/N: NDTUT-RB-02 SIN
RECUBRIMIENTO
(MEDICIÓN DE ESPEORES)

NDTUT-PG-13

Pág. 3 de 5



Figura 3.33. Probeta en contacto con el bloque de referencia de aluminio.

Fuente: Investigación de campo

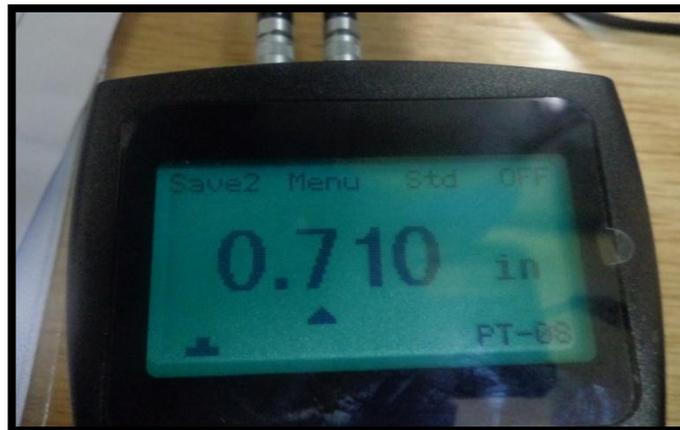


Figura 3.34. Espesor medido del segundo escalón del bloque de referencia.

Fuente: Investigación de campo



ITSA
GUÍA PRÁCTICA PARA INSPECCIÓN
ULTRASÓNICA DEL BLOQUE DE
REFERENCIA P/N: NDTUT-RB-02 SIN
RECUBRIMIENTO
(MEDICIÓN DE ESPEORES)

NDTUT-PG-13

Pág. 4 de 5



Figura 3.35. Medición del quinto escalón del bloque de referencia.

Fuente: Investigación de campo

3.3.14.2.11 Limpieza final



Figura 3.36. Limpieza final del Bloque de referencia de aluminio.

Fuente: Investigación de campo



ITSA
GUÍA PRÁCTICA PARA INSPECCIÓN
ULTRASÓNICA DEL BLOQUE DE
REFERENCIA P/N: NDTUT-RB-02 SIN
RECUBRIMIENTO
(MEDICIÓN DE ESPEORES)

NDTUT-PG-13

Pág. 5 de 5

3.3.14.2.12 Lectura de resultados guardados

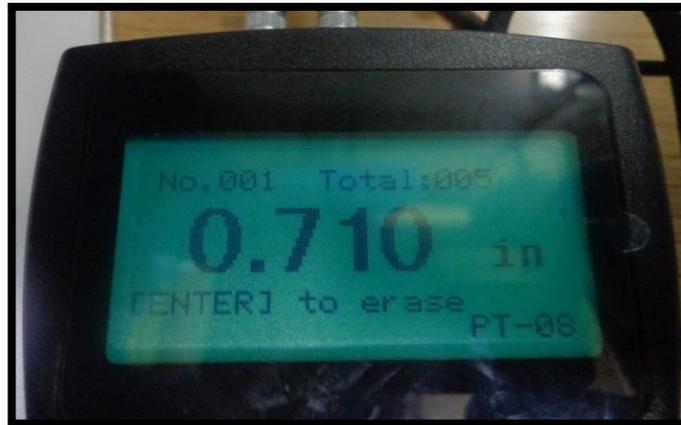


Figura 3.37. Lectura de datos de la medición del segundo escalón del bloque.

Fuente: Investigación de campo

3.3.14.2.13 Llenado del reporte de inspección

**3.3.14.3 Guía práctica para inspección ultrasónica del bloque de referencia
P/N: NDTUT-RB-04 con dos puntos de calibración**

| | | |
|---|---|--|
|  | <p align="center">ITSA GUÍA PRÁCTICA PARA INSPECCIÓN ULTRASÓNICA DEL BLOQUE DE REFERENCIA P/N: NDTUT-RB-04 CON DOS PUNTOS DE CALIBRACION (MEDICIÓN DE ESPEORES)</p> | <p align="center">NDTUT-PG-14</p> |
| | | <p align="center">Pág. 1 de 5</p> |
| <p>3.3.14.3.1 Objetivo</p> | | |
| <p>Obtener los espesores de bloques patrón, elaborados con material aeronáutico.</p> | | |
| <p>3.3.14.3.2 Materiales y equipo</p> | | |
| <p>Material sin recubrimiento, con dos espesores conocidos (mayor y menor) y velocidad de sonido desconocida:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bloque de referencia de láminas de Aluminio 7075 T6 P/N: NDTUT-RB-04 <p>Equipo de medición de espesores por el método de ultrasonido. Acoplante</p> | | |
| <p>3.3.14.3.3 Requerimientos previos para la inspección</p> | | |
| <p>Equipo de protección personal: overol, gafas de protección, mascarilla, zapatos de protección (antideslizantes), guantes (quirúrgicos).</p> | | |
| <p>3.3.14.3.4 Encendido del equipo</p> | | |
| <p>3.3.14.3.5 Configuración del sistema</p> | | |
| <p>Se tiene algunas configuraciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cambio de Unidades: IMPERIAL • Cambio de probeta (en este caso solo contamos con la probeta PT-08) • Cambio de resolución: HIGH • Captura mínima: OFF • Dos puntos de calibración: ON • Idioma: ENGLISH | | |



ITSA
GUÍA PRÁCTICA PARA INSPECCIÓN
ULTRASÓNICA DEL BLOQUE DE
REFERENCIA P/N: NDTUT-RB-04 CON
DOS PUNTOS DE CALIBRACION
(MEDICIÓN DE ESPEORES)

NDTUT-PG-14

Pág. 2 de 5

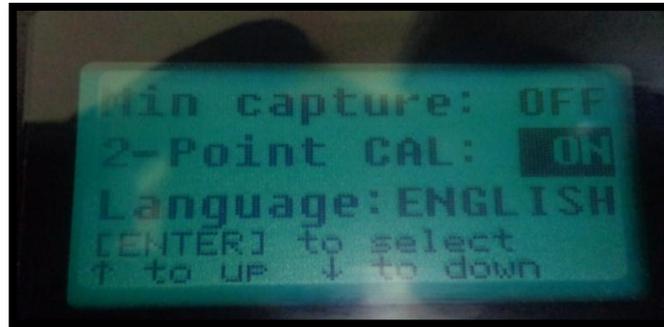


Figura 3.38. Configuración de dos puntos de calibración (encendido).

Fuente: Investigación de campo

3.3.14.3.6 Cambio al modo estándar

3.3.14.3.7 Preparación de la superficie



Figura 3.39. Preparación de superficies de láminas de aluminio.

Fuente: Investigación de campo

3.3.14.3.8 Calibración del equipo

3.3.14.3.9 Almacenamiento de resultados de prueba



ITSA
GUÍA PRÁCTICA PARA INSPECCIÓN
ULTRASÓNICA DEL BLOQUE DE
REFERENCIA P/N: NDTUT-RB-04 CON
DOS PUNTOS DE CALIBRACION
(MEDICIÓN DE ESPEORES)

NDTUT-PG-14

Pág. 3 de 5

3.3.14.3.10 Medición



Figura 3.40. Calibración del espesor menor

Fuente: Investigación de campo



Figura 3.41. Ajuste del espesor menor

Fuente: Investigación de campo



ITSA
GUÍA PRÁCTICA PARA INSPECCIÓN
ULTRASÓNICA DEL BLOQUE DE
REFERENCIA P/N: NDTUT-RB-04 CON
DOS PUNTOS DE CALIBRACION
(MEDICIÓN DE ESPESORES)

NDTUT-PG-14

Pág. 4 de 5

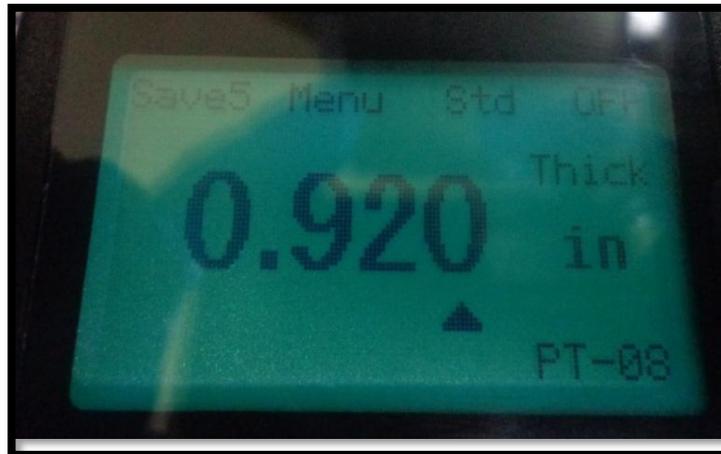


Figura 3.42. Medición y ajuste del espesor mayor.

Fuente: Investigación de campo



Figura 3.43. Medición de espesores intermedios

Fuente: Investigación de campo



ITSA
GUÍA PRÁCTICA PARA INSPECCIÓN
ULTRASÓNICA DEL BLOQUE DE
REFERENCIA P/N: NDTUT-RB-04 CON
DOS PUNTOS DE CALIBRACION
(MEDICIÓN DE ESPEORES)

NDTUT-PG-14

Pág. 5 de 5

3.3.14.3.11 Limpieza final



Figura 3.44. Limpieza final de bloque de referencia #4.

Fuente: Investigación de campo

3.3.14.3.12 Lectura de resultados guardados

3.3.14.3.13 Llenado del reporte de inspección

**3.3.14.4 Guía práctica para inspección ultrasónica del bloque de referencia
P/N: NDTUT-RB-04 con captura mínima activada**

| | | |
|--|--|--|
|  | <p align="center">ITSA GUÍA PRÁCTICA PARA INSPECCIÓN ULTRASÓNICA DEL BLOQUE DE REFERENCIA P/N: NDTUT-RB-04 CON CAPTURA MÍNIMA ACTIVADA (MEDICIÓN DE ESPESORES)</p> | <p align="center">NDTUT-PG-15</p> |
| | | <p align="center">Pág. 1 de 6</p> |
| <p>3.3.14.4.1 Objetivo</p> | | |
| <p>Obtener el espesor mínimo de un bloque patrón, elaborado con material aeronáutico.</p> | | |
| <p>3.3.14.4.2 Materiales y equipo</p> | | |
| <p>Material sin recubrimiento.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bloque de referencia de láminas de Aluminio 2024 T3 P/N: NDTUT-RB-04 <p>Equipo de medición de espesores por el método de ultrasonido. Acoplante</p> | | |
| <p>3.3.14.4.3 Requerimientos previos para la inspección</p> | | |
| <p>Uso del equipo de protección personal: overol, gafas de protección, mascarilla, zapatos de protección (antideslizantes), guantes (quirúrgicos).</p> | | |
| <p>3.3.14.4.4 Encendido del equipo de inspección</p> | | |
| <p>3.3.14.4.5 Configuración del sistema</p> | | |
| <p>Se tiene algunas configuraciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cambio de Unidades: IMPERIAL • Cambio de probeta (en este caso solo contamos con la probeta PT-08) • Cambio de resolución: HIGH • Captura mínima: ON • Dos puntos de calibración: ON • Idioma: ENGLISH | | |



ITSA
GUÍA PRÁCTICA PARA INSPECCIÓN
ULTRASÓNICA DEL BLOQUE DE
REFERENCIA P/N: NDTUT-RB-04 CON
CAPTURA MÍNIMA ACTIVADA
(MEDICIÓN DE ESPESORES)

NDTUT-PG-15

Pág. 2 de 6

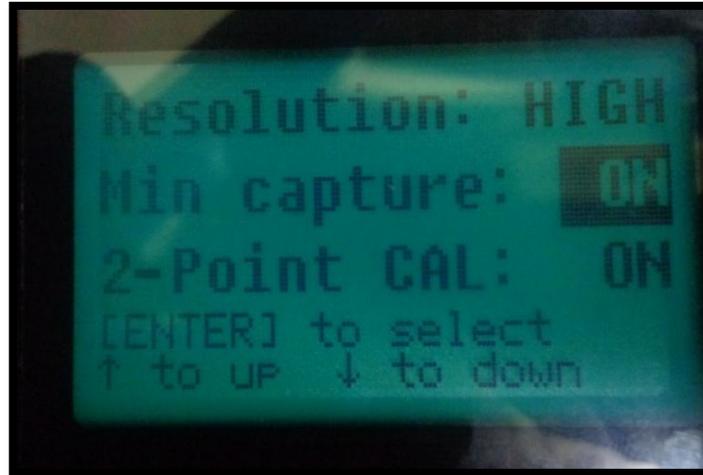


Figura 3.45. Ajuste de captura mínima (encendido).

Fuente: Investigación de campo

3.3.14.4.6 Cambio al modo estándar

3.3.14.4.7 Preparación de la superficie



Figura 3.46. Preparación de láminas 2024 T3 para su inspección

Fuente: Investigación de campo



ITSA
GUÍA PRÁCTICA PARA INSPECCIÓN
ULTRASÓNICA DEL BLOQUE DE
REFERENCIA P/N: NDTUT-RB-04 CON
CAPTURA MÍNIMA ACTIVADA
(MEDICIÓN DE ESPEORES)

NDTUT-PG-15

Pág. 3 de 6

3.3.14.4.8 Calibración del equipo

3.3.14.4.9 Almacenamiento de resultados de prueba

3.3.14.4.10 Medición



Figura 3.47. Medición del espesor #1 (menor)

Fuente: Investigación de campo



Figura 3.48. Medición del espesor #2

Fuente: Investigación de campo



ITSA
GUÍA PRÁCTICA PARA INSPECCIÓN
ULTRASÓNICA DEL BLOQUE DE
REFERENCIA P/N: NDTUT-RB-04 CON
CAPTURA MÍNIMA ACTIVADA
(MEDICIÓN DE ESPEORES)

NDTUT-PG-15

Pág. 4 de 6



Figura 3.49. Medición del espesor #3

Fuente: Investigación de campo

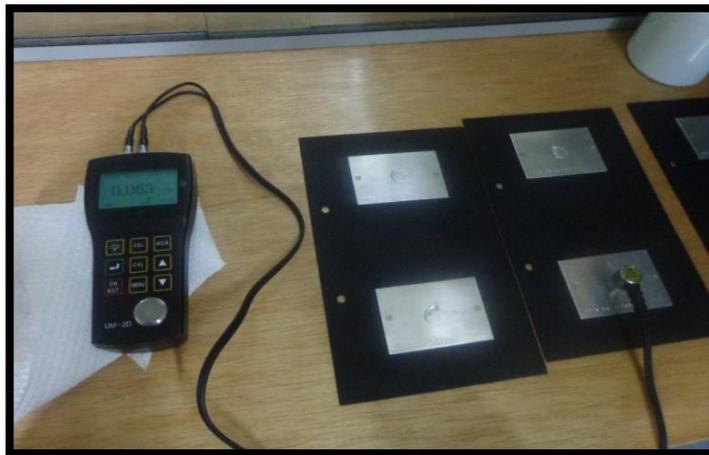


Figura 3.50. Medición del espesor #4 (mayor)

Fuente: Investigación de campo



ITSA
GUÍA PRÁCTICA PARA INSPECCIÓN
ULTRASÓNICA DEL BLOQUE DE
REFERENCIA P/N: NDTUT-RB-04 CON
CAPTURA MÍNIMA ACTIVADA
(MEDICIÓN DE ESPEORES)

NDTUT-PG-15

Pág. 5 de 6



Figura 3.51. Captura del espesor mínimo de las cuatro medidas anteriores.

Fuente: Investigación de campo

3.3.14.4.11 Limpieza final y almacenamiento



Figura 3.52. Almacenamiento de láminas del bloque #4.

Fuente: Investigación de campo



ITSA
GUÍA PRÁCTICA PARA INSPECCIÓN
ULTRASÓNICA DEL BLOQUE DE
REFERENCIA P/N: NDTUT-RB-04 CON
CAPTURA MÍNIMA ACTIVADA
(MEDICIÓN DE ESPESORES)

NDTUT-PG-15

Pág. 6 de 6

3.3.14.4.12 Lectura de resultados guardados

3.3.14.4.13 Llenado del reporte de inspección

**3.3.14.5 Guía práctica para inspección ultrasónica del bloque de referencia
P/N: NDTUT-RB-03**

| | | |
|--|---|--|
|  | <p>ITSA GUÍA PRÁCTICA PARA INSPECCIÓN ULTRASÓNICA DEL BLOQUE DE REFERENCIA P/N: NDTUT-RB-03 (MEDICIÓN DE ESPESORES)</p> | <p>NDTUT-PG-16</p> <hr/> <p>Pág. 1 de 4</p> |
| <p>3.3.14.5.1 Objetivo</p> | | |
| <p>Obtener los espesores de bloques patrón, elaborados con material aeronáutico.</p> | | |
| <p>3.3.14.5.2 Materiales y equipo</p> | | |
| <p>Material sin recubrimiento.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tubo de acero P/N: NDTUT-RB-03 <p>Equipo de medición de espesores por el método de ultrasonido. Acoplante</p> | | |
| <p>3.3.14.5.3 Requerimientos previos para la inspección</p> | | |
| <p>Uso del equipo de protección personal: overol, gafas de protección, mascarilla, zapatos de protección (antideslizantes), guantes (quirúrgicos).</p> | | |
| <p>3.3.14.5.4 Encendido del equipo de inspección</p> | | |
| <p>3.3.14.5.5 Configuración del sistema</p> | | |
| <p>Se tiene algunas configuraciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cambio de Unidades: IMPERIAL • Cambio de probeta (en este caso solo contamos con la probeta PT-08) • Cambio de resolución: HIGH • Captura mínima: OFF • Dos puntos de calibración: OFF • Idioma: ENGLISH | | |



3.3.14.5.6 Cambio al modo estándar



Figura 3.53. Cambio al modo estándar.

Fuente: Investigación de campo

3.3.14.5.7 Preparación de la superficie



Figura 3.54. Preparación de la superficie del bloque P/N: NDTUT-RB-03.

Fuente: Investigación de campo

3.3.14.5.8 Calibración del equipo

3.3.14.5.9 Almacenamiento de resultados de prueba



3.3.14.5.10 Medición



Figura 3.55. Ajuste de la velocidad de sonido del acero

Fuente: Investigación de campo



Figura 3.56. Medición de espesores de tubo con escalones internos.

Fuente: Investigación de campo



3.3.14.5.11 Limpieza final



Figura 3.57. Limpieza del bloque de referencia #3.

Fuente: Investigación de campo

3.3.14.5.12 Lectura de resultados guardados



Figura 3.58. Lectura de resultados del primer escalón del bloque #3.

Fuente: Investigación de campo

3.3.14.5.13 Llenado del reporte de inspección

3.3.15 Aplicación de la guía práctica para medición de espesores con recubrimiento

3.3.15.1 Guía práctica para inspección ultrasónica del bloque de referencia

P/N: NDTUT-RB-01 con recubrimiento

| | | |
|--|--|--|
|  | <p style="text-align: center;">ITSA GUÍA PRÁCTICA PARA INSPECCIÓN ULTRASÓNICA DEL BLOQUE DE REFERENCIA P/N: NDTUT-RB-01 CON RECUBRIMIENTO (MEDICIÓN DE ESPESORES)</p> | <p style="text-align: center;">NDTUT-PG-17</p> |
| | | <p style="text-align: center;">Pág. 1 de 5</p> |
| <p>3.3.15.1.1 Objetivo</p> | | |
| <p>Obtener los espesores de bloques patrón, elaborados con material aeronáutico.</p> | | |
| <p>3.3.15.1.2 Materiales y equipo</p> | | |
| <p>Material con recubrimiento.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bloque de referencia de Aluminio P/N: NDTUT-RB-01 <p>Equipo de medición de espesores por el método de ultrasonido.</p> <p>Acoplante</p> | | |
| <p>3.3.15.1.3 Requerimientos previos para la inspección</p> | | |
| <p>Uso del equipo de protección personal: overol, gafas de protección, mascarilla, zapatos de protección (antideslizantes), guantes (quirúrgicos).</p> | | |
| <p>3.3.15.1.4 Encendido del equipo de inspección</p> | | |
| <p>3.3.15.1.5 Configuración del sistema</p> | | |
| <p>Se tiene algunas configuraciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cambio de Unidades: IMPERIAL • Cambio de probeta (en este caso solo contamos con la probeta PT-08) • Cambio de resolución: HIGH • Captura mínima: OFF • Dos puntos de calibración: OFF • Idioma: ENGLISH | | |



ITSA
GUÍA PRÁCTICA PARA INSPECCIÓN
ULTRASÓNICA DEL BLOQUE DE
REFERENCIA P/N: NDTUT-RB-01 CON
RECUBRIMIENTO
(MEDICIÓN DE ESPESORES)

NDTUT-PG-17

Pág. 2 de 5

3.3.15.1.6 Cambio al modo con recubrimiento



Figura 3.59. Cambio al modo de medición con recubrimiento.

Fuente: Investigación de campo

3.3.15.1.7 Preparación de la superficie



Figura 3.60. Preparación de la superficie con recubrimiento del bloque #1.

Fuente: Investigación de campo

3.3.15.1.8 Calibración del equipo



ITSA
GUÍA PRÁCTICA PARA INSPECCIÓN
ULTRASÓNICA DEL BLOQUE DE
REFERENCIA P/N: NDTUT-RB-01 CON
RECUBRIMIENTO
(MEDICIÓN DE ESPEORES)

NDTUT-PG-17

Pág. 3 de 5

3.3.15.1.9 Almacenamiento de resultados de prueba

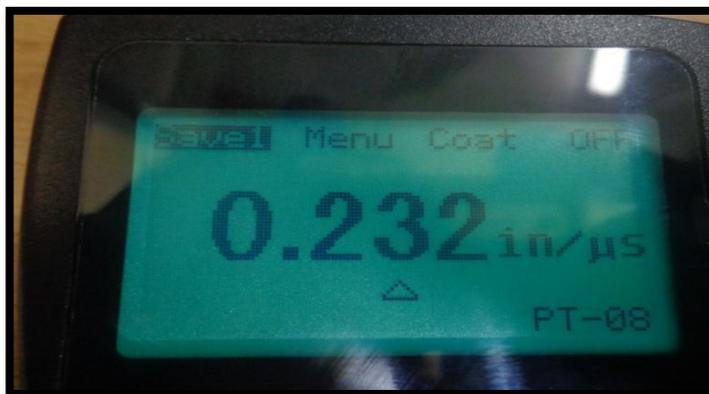


Figura 3.61. Lectura de resultados del primer escalón del bloque #3.

Fuente: Investigación de campo

3.3.15.1.10 Medición



Figura 3.62. Probeta en contacto con la superficie recubierta del bloque #1.

Fuente: Investigación de campo



ITSA
GUÍA PRÁCTICA PARA INSPECCIÓN
ULTRASÓNICA DEL BLOQUE DE
REFERENCIA P/N: NDTUT-RB-01 CON
RECUBRIMIENTO
(MEDICIÓN DE ESPESORES)

NDTUT-PG-17

Pág. 4 de 5



Figura 3.63. Medición del tercer escalón del bloque #1 (con recubrimiento).

Fuente: Investigación de campo

3.3.15.1.11 Limpieza final



Figura 3.64. Limpieza final del bloque #1.

Fuente: Investigación de campo



ITSA
GUÍA PRÁCTICA PARA INSPECCIÓN
ULTRASÓNICA DEL BLOQUE DE
REFERENCIA P/N: NDTUT-RB-01 CON
RECUBRIMIENTO
(MEDICIÓN DE ESPESORES)

NDTUT-PG-17

Pág. 5 de 5

3.3.15.1.12 Lectura de resultados guardados



Figura 3.65. Lectura de datos almacenados en la medición del tercer escalón.

Fuente: Investigación de campo

3.3.15.1.13 Llenado del reporte de inspección

**3.3.15.2 Guía práctica para inspección ultrasónica del bloque de referencia
P/N: NDTUT-RB-02 con recubrimiento**

| | | |
|--|---|--------------------|
|  | ITSA GUÍA PRÁCTICA PARA INSPECCIÓN ULTRASÓNICA DEL BLOQUE DE REFERENCIA P/N: NDTUT-RB-02 CON RECUBRIMIENTO (MEDICIÓN DE ESPESORES) | NDTUT-PG-18 |
| | | Pág. 1 de 3 |
| 3.3.15.2.1 Objetivo | | |
| Obtener los espesores de bloques patrón, elaborados con material aeronáutico. | | |
| 3.3.15.2.2 Materiales y equipo | | |
| <p>Material con recubrimiento.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bloque de referencia de Aluminio P/N: NDTUT-RB-02; solo los tres primeros escalones. <p>Equipo de medición de espesores por el método de ultrasonido. Acoplante</p> | | |
| 3.3.15.2.3 Requerimientos previos para la inspección | | |
| Uso del equipo de protección personal: overol, gafas de protección, mascarilla, zapatos de protección (antideslizantes), guantes (quirúrgicos). | | |
| 3.3.15.2.4 Encendido del equipo de inspección | | |
| 3.3.15.2.5 Configuración del sistema | | |
| <p>Se tiene algunas configuraciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cambio de Unidades: IMPERIAL • Cambio de probeta (en este caso solo contamos con la probeta PT-08) • Cambio de resolución: HIGH • Captura mínima: OFF • Dos puntos de calibración: OFF • Idioma: ENGLISH | | |
| 3.3.15.2.6 Cambio al modo con recubrimiento | | |
| | | |



ITSA
GUÍA PRÁCTICA PARA INSPECCIÓN
ULTRASÓNICA DEL BLOQUE DE
REFERENCIA P/N: NDTUT-RB-02 CON
RECUBRIMIENTO
(MEDICIÓN DE ESPESORES)

NDTUT-PG-18

Pág. 2 de 3

3.3.15.2.7 Preparación de la superficie



Figura 3.66. Preparación de la superficie recubierta del bloque #2.

Fuente: Investigación de campo

3.3.15.2.8 Calibración del equipo

3.3.15.2.9 Almacenamiento de resultados de prueba

3.3.15.2.10 Medición



Figura 3.67. Medición del segundo escalón del bloque #2.

Fuente: Investigación de campo



ITSA
GUÍA PRÁCTICA PARA INSPECCIÓN
ULTRASÓNICA DEL BLOQUE DE
REFERENCIA P/N: NDTUT-RB-02 CON
RECUBRIMIENTO
(MEDICIÓN DE ESPEORES)

NDTUT-PG-18

Pág. 3 de 3

3.3.15.2.11 Limpieza final



Figura 3.68. Limpieza final del bloque #2.

Fuente: Investigación de campo

3.3.15.2.12 Lectura de resultados guardados



Figura 3.69. Lectura de datos almacenados del primer escalón del bloque #2.

Fuente: Investigación de campo

3.3.15.2.13 Llenado del reporte de inspección

3.4 Estudio económico

3.4.1 Costos primarios

Tabla 3.3. Costos primarios de equipos y unidades implementadas.

| Cantidad | Detalle | Valor |
|-----------------|---------------------------------|----------------|
| 1 | Equipo de medición de espesores | 980,00 |
| 1 | Mesa de trabajo | 200,00 |
| 4 | Bloques de referencia | 200,00 |
| | TOTAL | 1380,00 |

3.4.2 Costos secundarios

Tabla 3.4. Costos secundarios del proyecto.

| No | Detalle | Valor |
|-----------|---------------------------|---------------|
| 1 | Derechos de grado | 300,00 |
| 2 | Hojas de internet | 40,00 |
| 3 | Transporte y alimentación | 60,00 |
| 4 | Elaboración de textos | 50,00 |
| | TOTAL | 450,00 |

3.4.3 Costo total del proyecto

Tabla 3.5. Costo total del proyecto.

| No | Detalle | Valor |
|-----------|--------------------|----------------|
| 1 | Costos primarios | 1380,00 |
| 2 | Costos secundarios | 450,00 |
| | TOTAL | 1830,00 |

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- La información técnica recopilada permitió identificar la aplicación del ultrasonido en el funcionamiento del equipo de medición de espesores y de sus componentes.
- Fue necesario observar detenidamente distintos modelos de mesas de trabajo en cuanto a su ubicación en la estación de NDI y de los componentes que en ella se almacenarían para lo cual se cumplió con algunos requerimientos.
- A través de la elaboración de una guía práctica propia del Instituto los estudiantes conseguirán identificar equipos y materiales necesarios para llevar a cabo una Inspección por ultrasonido, como lo es la medición de espesores.
- Las Hojas de Reportes de inspección ultrasónica (medición de espesores) ayudan al estudiante a reforzar sus conocimientos después de la inspección, permitiendo familiarizarse completamente con la Secuencia de Examinación.
- El equipo de medición de espesores por ultrasonido; en base a los resultados obtenidos en las pruebas operacionales se encuentra en condiciones óptimas y cumple satisfactoriamente las expectativas del presente proyecto.

4.2 Recomendaciones

- Mantener en la Biblioteca Técnica revistas, libros, manuales actualizados de Ensayos no destructivos como fuentes de Investigación a los estudiantes y a todo aquel que presente interés en el ámbito Aeronáutico.
- Conservar la estación, instrumento de medición y accesorios en el mismo lugar donde han sido ubicados.
- La guía práctica elaborada debe ser empleada como material de referencia o estudio; no es recomendable su uso como Documento de Inspección.
- Las hojas de reportes de inspección pueden servir al técnico para evaluar los conocimientos adquiridos del estudiante.
- Realizar las tareas respectivas de mantenimiento para así evitar que el equipo se corra o se deteriore por la presencia de líquido corrosivo en el mismo.

GLOSARIO

A

Atenuación: Pérdida de potencia sufrida por una onda al transitar por cualquier medio de transmisión.

C

Calibración: Conjunto de operaciones que establecen, bajo condiciones especificadas, la relación entre los valores de magnitudes indicados por un instrumento o sistema de medición y los correspondientes valores aportados por patrones.

Capilaridad o acción capilar: Es un proceso de los fluidos que depende de su tensión superficial la cual, a su vez, depende de la cohesión del líquido y que le confiere la capacidad de subir o bajar por un tubo capilar.

Cohesión: Es la fuerza de atracción intermolecular de partículas de la misma naturaleza.

Conector: Dispositivo para unir circuitos eléctricos. Están compuestos generalmente de un enchufe (macho) y una base (hembra).

D

Decibelio (en España) o decibel (Latinoamérica), símbolo dB, es la unidad relativa empleada para expresar la relación entre dos magnitudes: la magnitud que se estudia y una magnitud de referencia.

Desgaste: Erosión de material sufrida por una superficie sólida por acción de otra superficie.

Densidad: es una medida de cuánto material se encuentra comprimido en un espacio determinado; es la cantidad de masa por unidad de volumen.

Dispersión: Fenómeno de separación de las ondas de distinta frecuencia al atravesar un material.

E

Eco: Fenómeno acústico producido cuando una onda se refleja y regresa hacia su emisor.

Electromagnetismo: El electromagnetismo describe los fenómenos físicos macroscópicos en los cuales intervienen cargas eléctricas en reposo y en movimiento, usando para ello campos eléctricos y magnéticos y sus efectos sobre las sustancias sólidas, líquidas y gaseosas.

F

Frecuencia: Magnitud que mide el número de repeticiones por unidad de tiempo de cualquier fenómeno o suceso periódico.

H

Heterogeneidad: Cualidad de una cosa heterogénea o formada por elementos de distinta clase o naturaleza.

I

Impedancia (Z): Es la oposición al paso de la corriente alterna.

Inter aprendizaje: Acción recíproca que mantienen, al menos, dos personas, empleando cualquier medio de comunicación, con el propósito de influirse positivamente y mejorar sus procesos y productos de aprendizaje.

N

Nonio: También llamado escala de vernier es una segunda escala auxiliar que permite apreciar una medición con mayor precisión al complementar las divisiones de la regla o escala principal del instrumento de medida.

R

Reflexión: Se refiere al fenómeno por el cual una onda se absorbe o refleja.

S

Simetría: Correspondencia o proporción adecuada de las partes de un todo, entre sí o con el todo mismo.

T

Tensión superficial: Fenómeno en el cual la superficie de cualquier líquido se comporta como si sobre esta existe una membrana a tensión. Asociada a la cantidad de energía necesaria para aumentar su superficie por unidad de área.

Transductor: parte de una cadena de medición que transforma una magnitud física en una señal eléctrica.

NOMENCLATURA

Co: Cobalto

c/s: ciclos por segundo

END: Ensayos No Destructivos

E-R: Emisor-Receptor

ET: Eddy Current Treatment

Fe: Hierro

g: gramos

Hz: Hertz

in: Pulgadas (inches)

IR: Inspection report

KHz: Kilohertz

LCD: Liquid Cristal Display

m: metros (meters)

MHz: Megahertz

mm: milímetros

m/s: metros por segundo

MT: Partículas Magnéticas o Magnetic Particles Treatment

NDI: Nondestructive Inspection

NDT: Nondestructive Testing

Ni: Níquel

PND: Practicas No Destructivas

PG: Procedure guide

PT: Líquidos Penetrantes o Penetrant Treatment

Oz: onzas

RT: Radiografía industrial o Radiography Treatment

s: segundos (seconds)

UT: Tratamiento por Ultrasonido

V: Voltios

VC: Velocity sound Checklist

VT: Inspección visual o Visual Treatment

Z: Impedancia acústica

μs: microsegundos (10^{-6})

°C: Grados centígrados

BIBLIOGRAFÍA

Libros

- GARCIA,A.(2008).*Ultrasonido Industrial*.ICAEND.México.
- BIRKS.A.(2009).*Nondestructive Testing Handbook*.Editorial McIntire.USA.
- Manual de operación del equipo de medición de espesores por el método de ultrasonido UM-2D.

Net grafías

- www.gekometal.com/es/Medidores-de-espesores-ultrasonico/%C2%BFComo-elegir-la-sonda-transductor-de-ultrasonido/menu-id-127.html
- <http://es.wikipedia.org/wiki/Ultrasonido>
- http://www.prevend.com/index.php?option=com_content&view=article&id=56:ultrasonido-industrial&catid=27:detaccion-de-fallas-por-ultrasonido&Itemid=27
- <http://www.slideshare.net/omarmo/ultrasonido-13865879>
- <http://www.smis.org.mx/htm/sm4.htm>
- http://www.thermoequipos.com.ve/pdf/articulo_06.pdf
- http://www.cyti.com.mx/radiografia_industrial.asp
- http://gaslppower.com/rmsonic/%C2%BFc%C3%B3mo_funciona_el_ultrasonido
- <http://es.wikipedia.org/wiki/Decibelio>
- <http://es.wikipedia.org/wiki/Impedancia>
- <http://es.thefreedictionary.com/heterogeneidad>
- <http://fluidos.eia.edu.co/fluidos/propiedades/tensionsuppf.html>
- http://www.marcelapineros.com/_portfolio/surface/html/tension.htm
- <http://es.wikipedia.org/wiki/Capilaridad>
- http://www.profesorenlinea.cl/fisica/Densidad_Concepto.htm
- <http://es.wikipedia.org/wiki/Electromagnetismo>

ANEXOS

ANEXO A
“TRABAJO FINAL”



ANEXO B

**“CERTIFICADO DE
CALIBRACIÓN DEL
EQUIPO MEDIDOR DE
ESPESORES”**



METRO TESTING COMPANY

MIAMI FL -800-87

11425 SOUTH YORK STREET

W.O No.:153647383

CERTIFICATE OF CALIBRATION/ FUNCTIONAL TEST

W.O No.:153647383

Customer Name N/A

Due of certification 2/23/13 Certification Due Date: 2/23/14

Part Number: _____ Received in Tolerance: YES

Serial Number: 5021448 Returned in Tolerance: YES

Description: ULTRASONIC THICKNEES GAUGE Temperature: 74%

Manufactured: SPARKER INSTRUMENTS Humidity: 43%

Calibration Procedure Used: 23-123-8887

Deviation: N/A

STANDARDS USED TO CERTIFY EQUIPMENT

Comments: NO TROUBLE FOUND ODF 654 S/N 232

Results: TESTED W/I MFG. SPECS.

TEST DATA REPORT

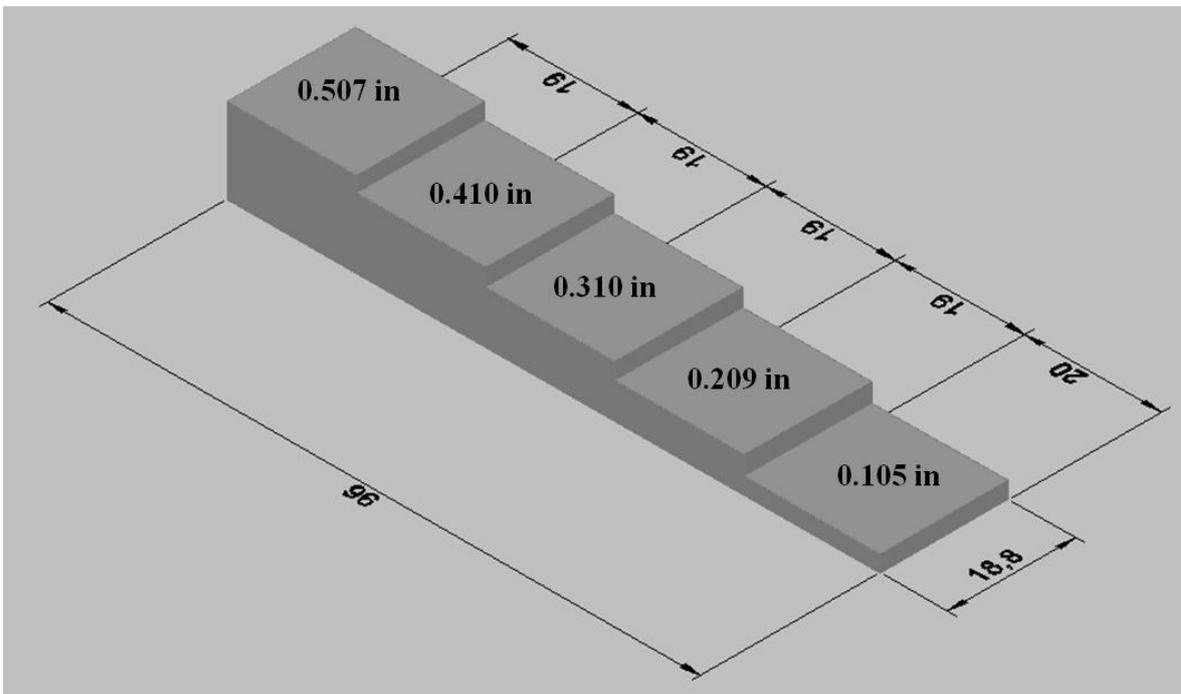
This certify that the above listed part number meets or exceeds all specifications a state in the referenced procedure at the points tested (unless otherwise noted). Calibration standards used in the calibration of the product is traceable to the National Institute Of Standards and technology (NIST). Unless otherwise stated the uncertainty of the measurement standards shall not exceed 25%of the acceptable tolerance. This calibration is in accordance with Quality Management System (qpm-7.6) which is ISO 9001:2000/AS9100-b certified and compliant with MIL-STD-45662A and ANSI/NCSL Z54.1-1994(r2002).

This certificate applies only to the item identifications shall not be reproduced without the permission from metro testing company

Certificate by: [Signature] Title/Stamp Q.C INSPECTOR

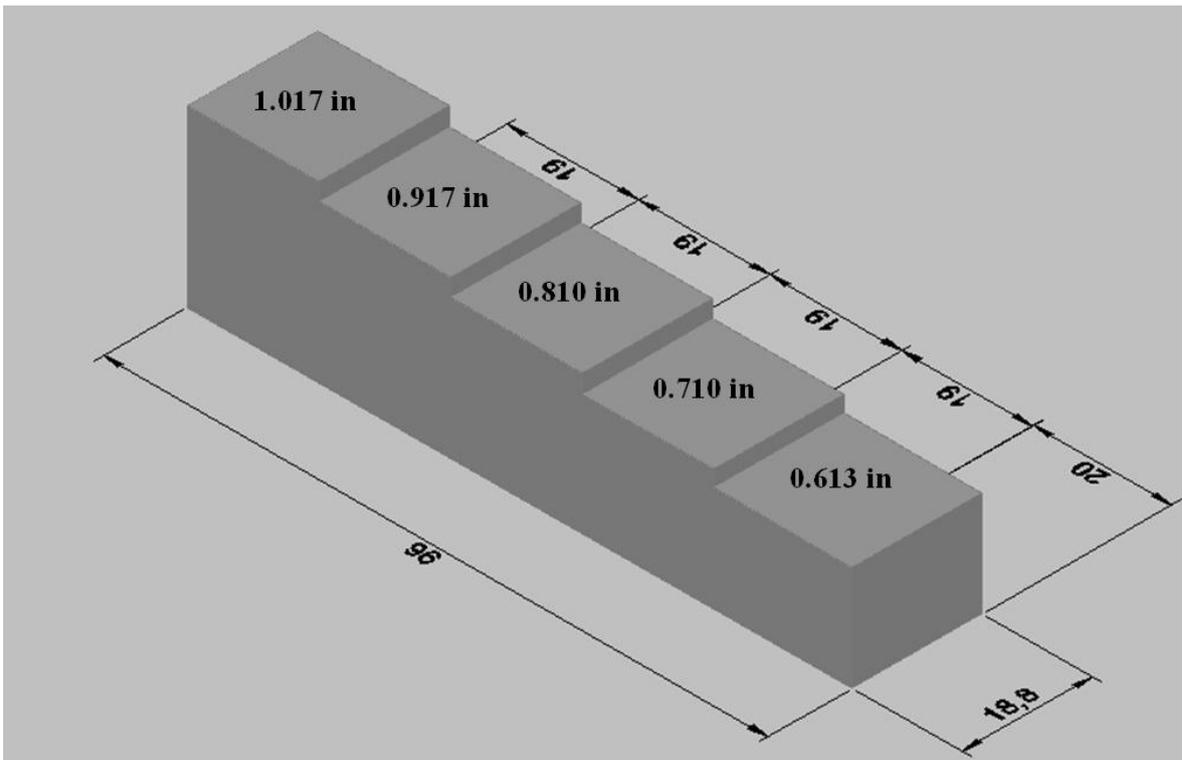
Date 2/23/13

ANEXO C
“BLOQUE DE
CALIBRACIÓN
P/N: NDTUT-RB-01”



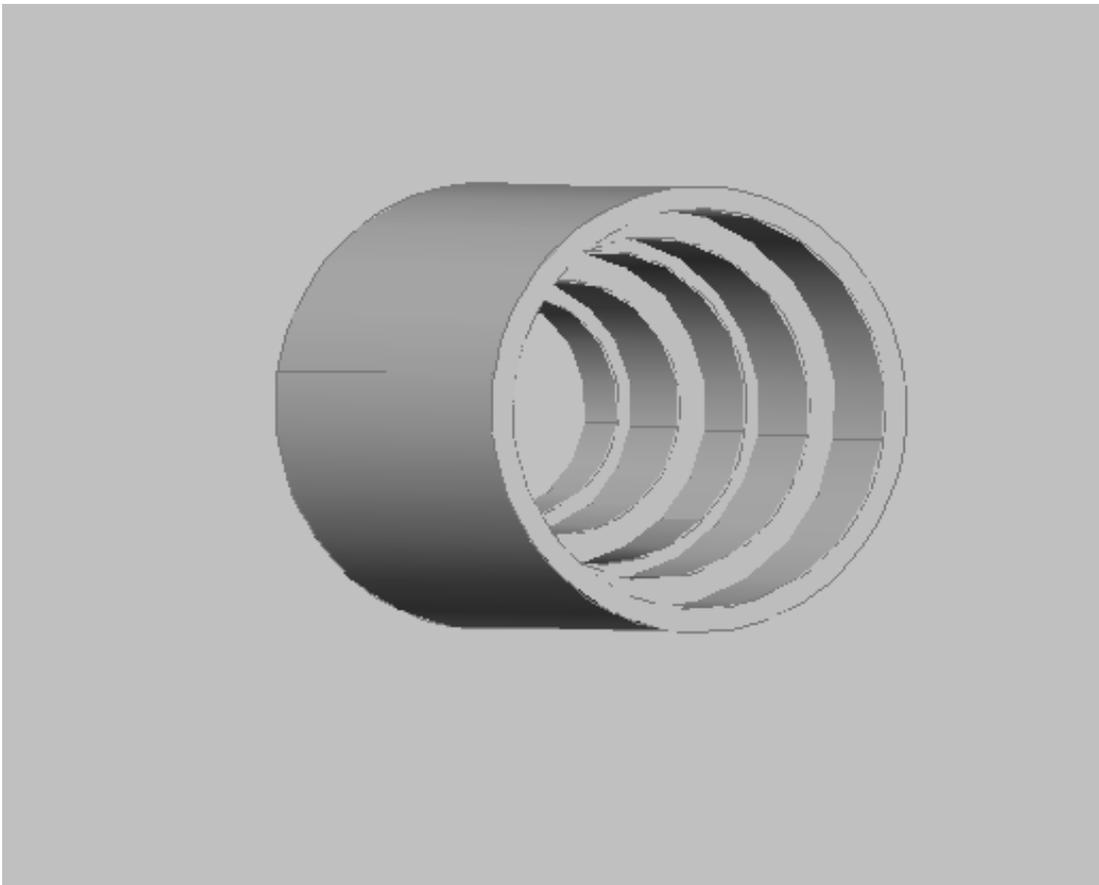
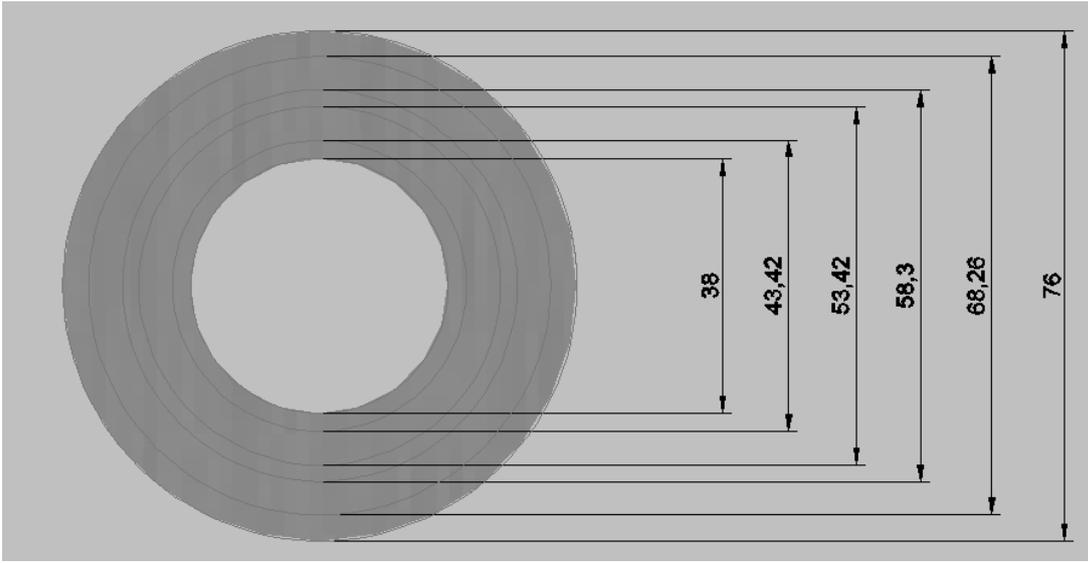
Los bloques escalonados se direccionaron en la norma ASTM código E797 del anexo F.

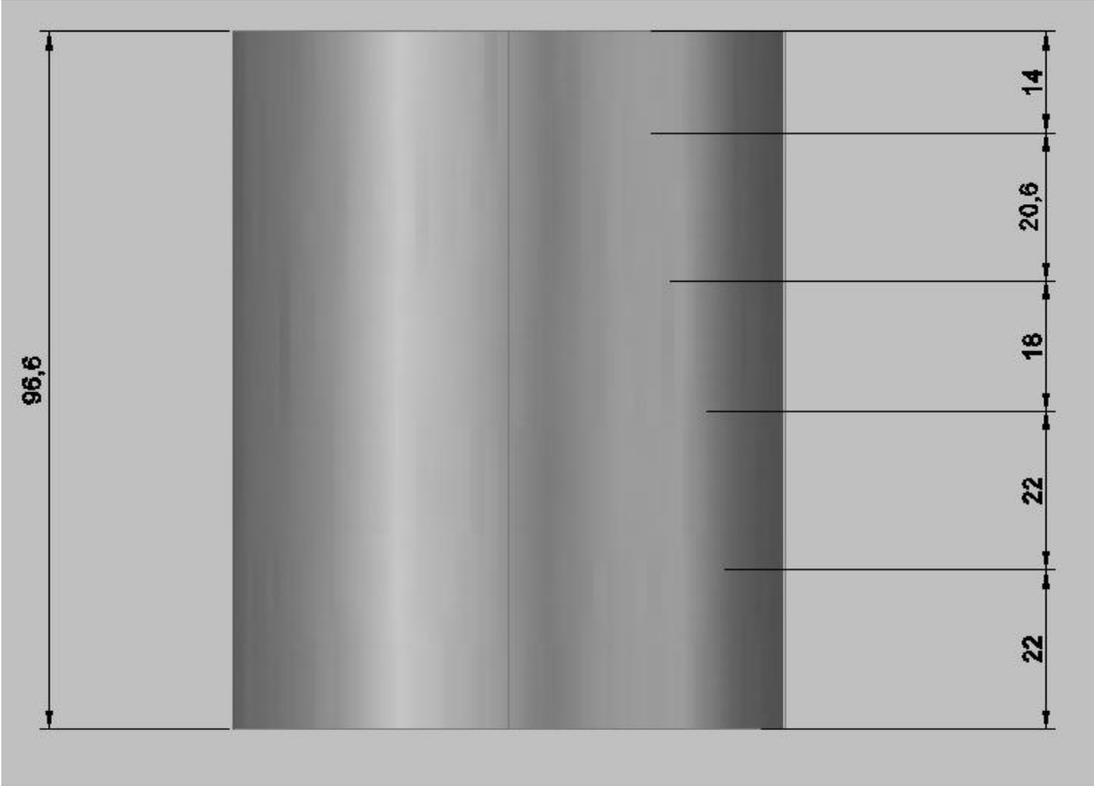
ANEXO D
“BLOQUE DE
CALIBRACIÓN
P/N: NDTUT-RB-02”



Los bloques escalonados se direccionaron en la norma ASTM código E797 del anexo F.

ANEXO E
“BLOQUE DE
CALIBRACIÓN
P/N: NDTUT-RB-03”





ANEXO F

**“NORMAS ASTM PARA
MEDICIÓN DE
ESPESORES POR
INSPECCIÓN
ULTRASÓNICA”**



Standard Practice for Measuring Thickness by Manual Ultrasonic Pulse-Echo Contact Method¹

This standard is issued under the fixed designation E797/E797M; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1. Scope

1.1 This practice² provides guidelines for measuring the thickness of materials using the contact pulse-echo method at temperatures not to exceed 93°C [200°F].

1.2 This practice is applicable to any material in which ultrasonic waves will propagate at a constant velocity throughout the part, and from which back reflections can be obtained and resolved.

1.3 *Units*—The values stated in either SI units or inch-pound units are to be regarded separately as standard. The values stated in each system may not be exact equivalents; therefore, each system shall be used independently of the other. Combining values from the two systems may result in non-conformance with the standard.

1.4 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:³

E317 Practice for Evaluating Performance Characteristics of Ultrasonic Pulse-Echo Testing Instruments and Systems without the Use of Electronic Measurement Instruments

E494 Practice for Measuring Ultrasonic Velocity in Materials

E543 Specification for Agencies Performing Nondestructive Testing

E1316 Terminology for Nondestructive Examinations

2.2 ASNT Documents:⁴

Nondestructive Testing Handbook, 2nd Edition, Vol 7
SNT-TC-1A Recommended Practice for Personnel Qualification and Certification in Nondestructive Testing
ANSI/ASNT CP-189 Standard for Qualification and Certification of Nondestructive Testing Personnel

2.3 *Aerospace Industries Association Document:*
NAS-410 Certification and Qualification of Nondestructive Testing Personnel⁵

3. Terminology

3.1 *Definitions: Definitions*—For definitions of terms used in this practice, refer to Terminology **E1316**.

4. Summary of Practice

4.1 Thickness (T), when measured by the pulse-echo ultrasonic method, is a product of the velocity of sound in the material and one half the transit time (round trip) through the material.

$$T = \frac{Vt}{2}$$

where:

T = thickness,

V = velocity, and

t = transit time.

4.2 The pulse-echo ultrasonic instrument measures the transit time of the ultrasonic pulse through the part.

4.3 The velocity in the material being examined is a function of the physical properties of the material. It is usually assumed to be a constant for a given class of materials. Its approximate value can be obtained from Table X3.1 in Practice **E494** or from the *Nondestructive Testing Handbook*, or it can be determined empirically.

4.4 One or more reference blocks are required having known velocity, or of the same material to be examined, and having thicknesses accurately measured and in the range of

¹ This practice is under the jurisdiction of ASTM Committee E07 on Nondestructive Testing and is the direct responsibility of Subcommittee E07.06 on Ultrasonic Method.

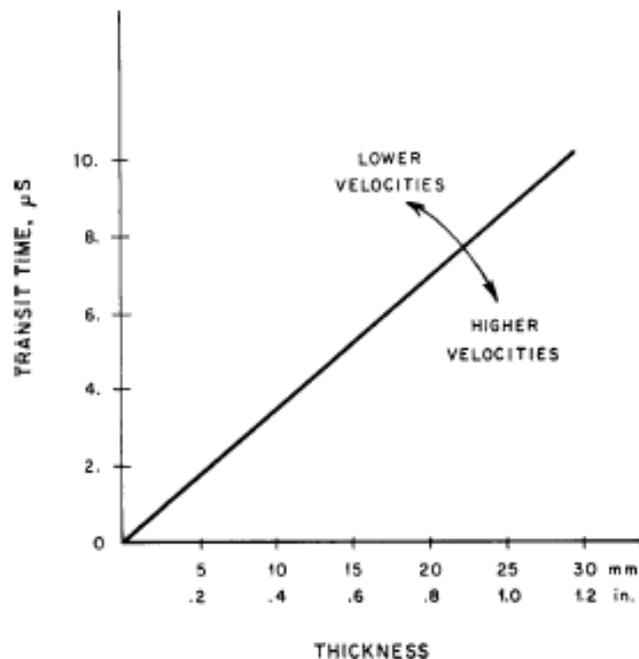
Current edition approved June 1, 2010. Published July 2010. Originally approved in 1981. Last previous edition approved in 2005 as E797 - 05. DOI: 10.1520/E0797_E0797M-10.

² For ASME Boiler and Pressure Vessel Code applications, see related Practice SE-797 in Section II of that Code.

³ For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

⁴ Available from American Society for Nondestructive Testing (ASNT), P.O. Box 28518, 1711 Arlington Ln., Columbus, OH 43228-0518, <http://www.asnt.org>.

⁵ Available from Aerospace Industries Association of America, Inc. (AIA), 1000 Wilson Blvd., Suite 1700, Arlington, VA 22209-3928, <http://www.aiaa-aerospace.org>.



NOTE 1—Slope of velocity conversion line is approximately that of steel.

FIG. 1 Transit Time/Thickness Relationship

thicknesses to be measured. It is generally desirable that the thicknesses be "round numbers" rather than miscellaneous odd values. One block should have a thickness value near the maximum of the range of interest and another block near the minimum thickness.

4.5 The display element (A-scan display, meter, or digital display) of the instrument must be adjusted to present convenient values of thickness dependent on the range being used. The control for this function may have different names on different instruments, including *range*, *sweep*, *material standardize*, or *velocity*.

4.6 The timing circuits in different instruments use various conversion schemes. A common method is the so-called time/analog conversion in which the time measured by the instrument is converted into a proportional d-c voltage which is then applied to the readout device. Another technique uses a very high-frequency oscillator that is modulated or gated by the appropriate echo indications, the output being used either directly to suitable digital readouts or converted to a voltage for other presentation. A relationship of transit time versus thickness is shown graphically in Fig. 1.

5. Significance and Use

5.1 The techniques described provide indirect measurement of thickness of sections of materials not exceeding temperatures of 93°C [200°F]. Measurements are made from one side of the object, without requiring access to the rear surface.

5.2 Ultrasonic thickness measurements are used extensively on basic shapes and products of many materials, on precision

machined parts, and to determine wall thinning in process equipment caused by corrosion and erosion.

5.3 Recommendations for determining the capabilities and limitations of ultrasonic thickness gages for specific applications can be found in the cited references.^{6,7}

6. Basis of Application

6.1 The following items are subject to contractual agreement between the parties using or referencing this practice.

6.2 Personnel Qualification:

6.2.1 If specified in the contractual agreement, personnel performing examinations to this standard shall be qualified in accordance with a nationally or internationally recognized NDT personnel qualification practice or standard such as ANSI/ASNT CP-189, SNT-TC-1A, NAS-410, or a similar document and certified by the employer or certifying agency, as applicable. The practice or standard used and its applicable revision shall be identified in the contractual agreement between the using parties.

6.3 *Qualification of Nondestructive Agencies*—If specified in the contractual agreement, NDT agencies shall be qualified

⁶ Bosselaar, H., and Goossens, J.C.J., "Method to Evaluate Direct-Reading Ultrasonic Pulse-Echo Thickness Meters," *Materials Evaluation*, March 1971, pp. 45-50.

⁷ Fowler, K.A., Ellbaum, G.M., Husarek, V., and Castel, J., "Applications of Precision Ultrasonic Thickness Gaging," *Proceedings of the Eighth World Conference on Nondestructive Testing*, Cannes, France, Sept. 6-11, 1976, Paper 3F5.

and evaluated as described in Specification E543. The applicable edition of Specification E543 shall be specified in the contractual agreement.

6.4 *Procedures and Techniques*—The procedures and techniques to be utilized shall be as specified in the contractual agreement.

6.5 *Surface Preparation*—The pre-examination surface preparation criteria shall be specified in the contractual agreement.

7. Apparatus

7.1 *Instruments*—Thickness-measurement instruments are divided into three groups: (1) Flaw detectors with an A-scan display readout, (2) Flaw detectors with an A-scan display and direct thickness readout, and (3) Direct thickness readout.

7.1.1 Flaw detectors with A-scan display readouts display time/amplitude information. Thickness determinations are made by reading the distance between the zero-corrected initial pulse and first-returned echo (back reflection), or between multiple-back reflection echoes, on a standardized base line of the A-scan display. The base line of the A-scan display should be adjusted for the desired thickness increments.

7.1.2 Flaw detectors with numeric readout are a combination pulse ultrasound flaw detection instrument with an A-scan display and additional circuitry that provides digital thickness information. The material thickness can be electronically measured and presented on a digital readout. The A-scan display provides a check on the validity of the electronic measurement by revealing measurement variables, such as internal discontinuities, or echo-strength variations, which might result in inaccurate readings.

7.1.3 Thickness readout instruments are modified versions of the pulse-echo instrument. The elapsed time between the initial pulse and the first echo or between multiple echoes is converted into a meter or digital readout. The instruments are designed for measurement and direct numerical readout of specific ranges of thickness and materials.

7.2 *Search Units*—Most pulse-echo type search units (straight-beam contact, delay line, and dual element) are applicable if flaw detector instruments are used. If a thickness readout instrument has the capability to read thin sections, a highly damped, high-frequency search unit is generally used. High-frequency (10 MHz or higher) delay line search units are generally required for thicknesses less than about 0.6 mm [0.025 in.]. Measurements of materials at high temperatures require search units specially designed for the application. When dual element search units are used, their inherent nonlinearity usually requires special corrections for thin sections. (See Fig. 2.) For optimum performance, it is often necessary that the instrument and search units be matched.

7.3 *Standardization Blocks*—The general requirements for appropriate standardization blocks are given in 4.4, 8.1.3, 8.2.2.1, 8.3.2, and 8.4.3. Multi-step blocks that may be useful for these standardization procedures are described in Appendix X1 (Figs. X1.1 and X1.2).

8. Standardization of Apparatus

8.1 Case I—Direct Contact, Single-Element Search Unit:

8.1.1 *Conditions*—The display start is synchronized to the initial pulse. All display elements are linear. Full thickness is displayed on the A-scan display.

8.1.2 Under these conditions, we can assume that the velocity conversion line effectively pivots about the origin (Fig. 1). It may be necessary to subtract the wear-plate time, requiring minor use of delay control. It is recommended that standardization blocks providing a minimum of two thicknesses that span the thickness range be used to check the full-range accuracy.

8.1.3 Place the search unit on a standardization block of known thickness with suitable couplant and adjust the instrument controls (material standardization, range, sweep, or velocity) until the display presents the appropriate thickness reading.

8.1.4 The readings should then be checked and adjusted on standardization blocks with thickness of lesser value to improve the overall accuracy of the system.

8.2 Case II—Delay Line Single-Element Search Unit:

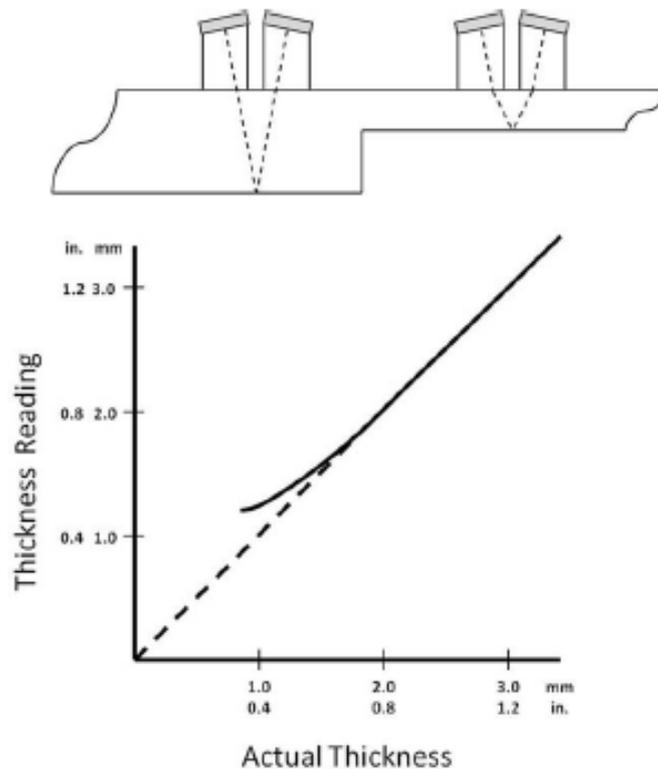
8.2.1 *Conditions*—When using this search unit, it is necessary that the equipment be capable of correcting for the time during which the sound passes through the delay line so that the end of the delay can be made to coincide with zero thickness. This requires a so-called “delay” control in the instrument or automatic electronic sensing of zero thickness.

8.2.2 In most instruments, if the material standardize circuit was previously adjusted for a given material velocity, the delay control should be adjusted until a correct thickness reading is obtained on the instrument. However, if the instrument must be completely standardized with the delay line search unit, the following technique is recommended:

8.2.2.1 Use at least two standardization blocks. One should have a thickness near the maximum of the range to be measured and the other block near the minimum thickness. For convenience, it is desirable that the thickness should be “round numbers” so that the difference between them also has a convenient “round number” value.

8.2.2.2 Place the search unit sequentially on one and then the other block, and obtain both readings. The difference between these two readings should be calculated. If the reading thickness difference is less than the actual thickness difference, place the search unit on the thicker specimen, and adjust the material standardize control to expand the thickness range. If the reading thickness difference is greater than the actual thickness difference, place the search unit on the thicker specimen, and adjust the material standardize control to decrease the thickness range. A certain amount of over correction is usually recommended. Reposition the search unit sequentially on both blocks, and note the reading differences while making additional appropriate corrections. When the reading thickness differential equals the actual thickness differential, the material thickness range is correctly adjusted. A single adjustment of the delay control should then permit correct readings at both the high and low end of the thickness range.

8.2.3 An alternative technique for delay line search units is a variation of that described in 8.2.2. A series of sequential adjustments are made, using the “delay” control to provide correct readings on the thinner standardization block and the



(a) Proportional sound path increases with decrease in thickness.
 (b) Typical reading error values.

FIG. 2 Dual Transducer Nonlinearity

"range" control to correct the readings on the thicker block. Moderate over-correction is sometimes useful. When both readings are "correct" the instrument is adjusted properly.

8.3 Case III—Dual Search Units:

8.3.1 The method described in 8.2 (Case II) is also suitable for equipment using dual search units in the thicker ranges, above 3 mm [0.125 in.]. However, below those values there is an inherent error due to the Vee path that the sound beam travels. The transit time is no longer linearly proportional to thickness, and the condition deteriorates toward the low thickness end of the range. The variation is also shown schematically in Fig. 2(a). Typical error values are shown in Fig. 2(b).

8.3.2 If measurements are to be made over a very limited range near the thin end of the scale, it is possible to standardize the instrument with the technique in Case II using appropriate thin standardization blocks. This will produce a correction curve that is approximately correct over that limited range. Note that it will be substantially in error at thicker measurements.

8.3.3 If a wide range of thicknesses is to be measured, it may be more suitable to standardize as in Case II using

standardization blocks at the high end of the range and perhaps halfway toward the low end. Following this, empirical corrections can be established for the very thin end of the range.

8.3.4 For a direct-reading panel-type meter display, it is convenient to build these corrections into the display as a nonlinear function.

8.4 Case IV—Thick Sections:

8.4.1 *Conditions*—For use when a high degree of accuracy is required for thick sections.

8.4.2 Direct contact search unit and initial pulse synchronization are used. The display start is delayed as described in 8.4.4. All display elements should be linear. Incremental thickness is displayed on the A-scan display.

8.4.3 Basic standardization of the sweep will be made as described in Case I. The standardization block chosen for this standardization should have a thickness that will permit standardizing the full-sweep distance to adequate accuracy, that is, about 10 mm [0.4 in.] or 25 mm [1.0 in.] full scale.

8.4.4 After basic standardization, the sweep must be delayed. For instance, if the nominal part thickness is expected to be from 50 to 60 mm [2.0 to 2.4 in.], and the basic standardization block is 10 mm [0.4 in.], and the incremental thickness

displayed will also be from 50 to 60 mm [2.0 to 2.4 in.], the following steps are required. Adjust the delay control so that the fifth back echo of the basic standardization block, equivalent to 50 mm [2.0 in.], is aligned with the 0 reference on the A-scan display. The sixth back echo should then occur at the right edge of the standardized sweep.

8.4.5 This standardization can be checked on a known block of the approximate total thickness.

8.4.6 The reading obtained on the unknown specimen must be added to the value delayed off screen. For example, if the reading is 4 mm [0.16 in.], the total thickness will be 54 mm [2.16 in.].

9. Technical Hazards

9.1 Dual search units may also be used effectively with rough surface conditions. In this case, only the first returned echo, such as from the bottom of a pit, is used in the measurement. Generally, a localized scanning search is made to detect the minimum remaining wall.

9.2 *Material Properties*—The instrument should be standardized on a material having the same acoustic velocity and attenuation as the material to be measured. Where possible, standardization should be confirmed by direct dimensional measurement of the material to be examined.

9.3 *Scanning*—The maximum speed of scanning should be stated in the procedure. Material conditions, type of equipment, and operator capabilities may require slower scanning.

9.4 Geometry:

9.4.1 Highest accuracy can be obtained from materials with parallel or concentric surfaces. In many cases, it is possible to obtain measurements from materials with nonparallel surfaces. However, the accuracy of the reading may be limited and the reading obtained is generally that of the thinnest portion of the section being interrogated by the sound beam at a given instant.

9.4.2 Relatively small-diameter curves often require special techniques and equipment. When small diameters are to be measured, special procedures including additional specimens may be required to ensure accuracy of setup and readout.

9.5 High-temperature materials, up to about 540°C [1000°F], can be measured with specially designed instruments with high-temperature compensation, search unit assemblies, and couplants. Normalization of apparent thickness readings for elevated temperatures is required. A rule of thumb often used is as follows: The apparent thickness reading obtained from steel walls having elevated temperatures is high (too thick) by a factor of about 1 % per 55°C [100°F]. Thus, if the instrument was standardized on a piece of similar material at 20°C [68°F], and if the reading was obtained with a surface temperature of 460°C [860°F], the apparent reading should be reduced by 8 %. This correction is an average one for many types of steel. Other corrections would have to be determined empirically for other materials.

9.6 *Instrument*—Time-base linearity is required so that a change in the thickness of material will produce a corresponding change of indicated thickness. If a CRT is used as a readout, its horizontal linearity can be checked by using Practice E317.

9.7 *Back Reflection Wavetrain*—Direct-thickness readout instruments read the thickness at the first half cycle of the wavetrain that exceeds a set amplitude and a fixed time. If the amplitude of the back reflection from the measured material is different from the amplitude of the back reflection from the standardization blocks, the thickness readout may read to a different half cycle in the wavetrain, thereby producing an error. This may be reduced by:

9.7.1 Using reference blocks having attenuation characteristics equal to those in the measured material or adjusting back reflection amplitude to be equal for both the standardizing blocks and measured material.

9.7.2 Using an instrument with automatic gain control to produce a constant amplitude back reflection.

9.8 *Readouts*—A-scan displays are recommended where reflecting surfaces are rough, pitted, or corroded.

9.8.1 Direct-thickness readout, without an A-scan display, presents hazards of misadjustment and misreading under certain test conditions, especially thin sections, rough corroded surfaces, and rapidly changing thickness ranges.

9.9 *Reference Standards*—Greater accuracy can be obtained when the equipment is standardized on areas of known thickness of the material to be measured.

9.10 Variations in echo signal strength may produce an error equivalent to one or more half-cycles of the RF frequency, dependent on instrumentation characteristics.

10. Procedure Requirements

10.1 In developing the detailed procedure, the following items should be considered:

- 10.1.1 Instrument manufacturer's operating instructions
- 10.1.2 Scope of materials/objects to be measured
- 10.1.3 Applicability, accuracy requirements
- 10.1.4 Definitions
- 10.1.5 Requirements
 - 10.1.5.1 Personnel
 - 10.1.5.2 Equipment
 - 10.1.5.3 Procedure qualification
 - 10.1.5.4 Training or certification levels
- 10.1.6 Procedure
 - 10.1.6.1 Measurement conditions
 - 10.1.6.2 Surface preparation and couplant
 - 10.1.6.3 Standardization and allowable tolerances
 - 10.1.6.4 Scanning parameters
- 10.1.7 Report
 - 10.1.7.1 Procedure used
 - 10.1.7.2 Standardization record
 - 10.1.7.3 Measurement record

11. Report

11.1 Record the following information at the time of the measurements and include it in the report:

- 11.1.1 Examination procedure.
 - 11.1.1.1 Type of instrument.
 - 11.1.1.2 Standardization blocks, size and material type.
 - 11.1.1.3 Size, frequency, and type of search unit.
 - 11.1.1.4 Scanning method.
- 11.1.2 Results.

- 11.1.2.1 Maximum and minimum thickness measurements.
- 11.1.2.2 Location of measurements.
- 11.1.3 Personnel data, certification level.

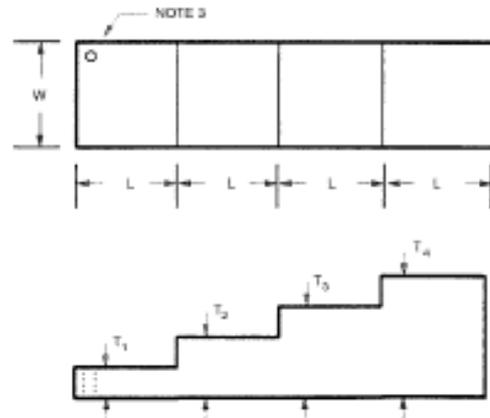
12. Keywords

12.1 contact examination; nondestructive testing; pulse-echo; thickness measurement; ultrasonics

APPENDIX

(Nonmandatory Information)

XI. Typical Multi-Step Thickness Gage Reference Blocks



NOT TO SCALE

| TABLE OF DIMENSIONS | | | | | | |
|---------------------------|-----------|---------------------|-----------|---------------------|-----------|-----------|
| U.S. Customary Block, in. | | Metric Block 4A, mm | | Metric Block 4B, mm | | |
| Legend | Dimension | Tolerance | Dimension | Tolerance | Dimension | Tolerance |
| T ₁ | 0.250 | 0.001 | 6.25 | 0.02 | 5.00 | 0.02 |
| T ₂ | 0.500 | 0.001 | 12.50 | 0.02 | 10.00 | 0.02 |
| T ₃ | 0.750 | 0.001 | 18.75 | 0.02 | 15.00 | 0.02 |
| T ₄ | 1.000 | 0.001 | 25.00 | 0.02 | 20.00 | 0.02 |
| L | 0.75 | 0.02 | 20.0 | 0.5 | 20.0 | 0.5 |
| W | 0.75 | 0.05 | 20.0 | 1.0 | 20.0 | 1.0 |

NOTE 1—Material to be as specified.

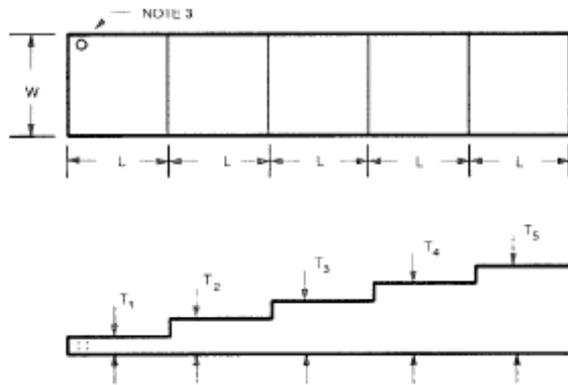
NOTE 2—Surface finish: “T” faces Ra 0.8 μm [32 μin.] max. Other surfaces Ra 1.6 μm [63 μin.] max.

NOTE 3—Location for optional 1.5 mm [1/16 in.] diameter through hole used for block support during plating; center 1.5 mm [1/16 in.] from block edges.

NOTE 4—All “T” dimensions to be after any required plating or anodizing.

NOTE 5—In order to prevent sharp edges, minimize plating buildup, or remove in-service nicks and burrs, block edges may be smoothed by beveling or rounding, provided that the corner treatment does not reduce the edge dimension by more than 0.5 mm [0.020 in.].

FIG. X1.1 Typical Four-Step Thickness Reference Blocks



NOT TO SCALE

TABLE OF DIMENSIONS

| Legend | U.S. Customary Block, in. | | Metric Block 5A, mm | | Metric Block 5B, mm | |
|----------------|---------------------------|-----------|---------------------|-----------|---------------------|-----------|
| | 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 |

NOTE 1—Material to be as specified.

NOTE 2—Surface finish: “T” faces Ra 0.8 μm [32 μin.] max. Other surfaces Ra 1.6 μm [63 μin.] max.

NOTE 3—Location for optional 1.5 mm [1/16 in.] diameter through hole used for block support during plating; center 1.5 mm [1/16 in.] from block edges.

NOTE 4—All “T” dimensions to be after any required plating or anodizing.

NOTE 5—In order to prevent sharp edges, minimize plating buildup, or remove in-service nicks and burrs, block edges may be smoothed by beveling or rounding, provided that the corner treatment does not reduce the edge dimension by more than 0.5 mm [0.020 in.].

FIG. X1.2 Typical Five-Step Thickness Reference Blocks

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19380-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org). Permission rights to photocopy the standard may also be secured from the ASTM website (www.astm.org/COPYRIGHT).

ANEXO G:

**“TRAZABILIDAD DEL
MATERIAL UTILIZADO
PARA LA ELABORACIÓN
DE LOS BLOQUES DE
CALIBRACIÓN”**

EGRESS SLIP, MAIN INVENTORY
 NOTA DE EGRESO, INVENTARIO PRINCIPAL

DIAF CEMA

Order No.: 02616201310583

Order No.: L1000

Card: 100407

Aircraft: DIAF

Date: 02/07/2013 15:21:03

User: NSEGOVIA



| Ord | Part No. | Description | Quantity | Stock | Location | Lot |
|-----|------------|-----------------|----------|--------|----------|-----------|
| 1 | 2024T3.032 | ALCLAD ALUMINIO | 0.50 | 338.00 | 1C | 61664/01 |
| 2 | 2024T3.040 | ALCLAD ALUMINIO | 0.50 | 114.75 | 1C | 572397A.8 |
| 3 | 2024T3.050 | ALCLAD ALUMINIO | 0.50 | 451.75 | 1C | 61360101 |
| 4 | 2024T3.063 | ALCLAD ALUMINIO | 0.50 | 88.25 | 1C | 63283/01 |
| 5 | 2024T3.071 | ALCLAD ALUMINIO | 0.50 | 85.50 | 1C | 334586A.3 |
| 6 | 2024T3.080 | ALCLAD ALUMINIO | 0.50 | 215.25 | 1C | 59558A.2 |
| 7 | 2024T3.090 | ALCLAD ALUMINIO | 0.50 | 164.50 | 1C | 334540A.2 |
| 8 | 2024T3.100 | ALCLAD ALUMINIO | 0.50 | 7.00 | 1C | 71443/01 |
| 9 | 2024T3.123 | ALCLAD ALUMINIO | 0.50 | 181.25 | 1C | 61743/01 |
| 10 | 2024T3.160 | ALCLAD ALUMINIO | 0.50 | 51.50 | 1C | 399031 |
| 11 | 7075T6-511 | EXTRUSSION | 0.50 | 0.50 | 1C | 7385 |
| 12 | 7075T6.040 | ALCLAD ALUMINIO | 0.50 | 24.00 | 1C | 71531/01 |
| 13 | 7075T6.045 | ALCLAD ALUMINIO | 0.50 | 29.50 | 1C | 484061 |
| 14 | 7075T6.050 | ALCLAD ALUMINIO | 0.50 | 38.73 | 1C | |
| 15 | 7075T6.063 | ALCLAD ALUMINIO | 0.50 | 46.75 | 1C | |
| 16 | 7075T6.080 | ALCLAD ALUMINIO | 0.50 | 194.00 | 1C | 75933/01 |
| 17 | 7075T6.090 | ALCLAD ALUMINIO | 0.50 | 196.25 | 1C | 417971 |

Page 1 of 2

CEMA FORMA 010

Technician

 BASANTES BARROS MARCO VINICIO
 License (Licencia): 2137

Rev. 1

EGRESS SLIP, MAIN INVENTORY
 NOTA DE EGRESO, INVENTARIO PRINCIPAL

DIAF CEMA

Order No.: 02616201310583

Order No.: L1000

Card: 100407

Aircraft: DIAF

Date: 02/07/2013 15:21:03

User: NSEGOVIA



| Ord | Part No. | Description | Quantity | Stock | Location | Lot |
|-----|------------|-----------------|----------|--------|----------|-----------|
| 18 | 7075T6.100 | ALCLAD SHEET | 0.50 | 26.75 | 1C | 499151A.9 |
| 19 | 7075T6.123 | ALCLAD ALUMINIO | 0.50 | 190.50 | 1C | 587524A.0 |
| 20 | 7075T6.140 | ALCLAD ALUMINIO | 0.50 | 29.00 | 1C | 728698A.2 |

Page 2 of 2

CEMA FORMA 010

Technician

 BASANTES BARROS MARCO VINICIO
 License (Licencia): 2137

Rev. 1

EGRESS SLIP, MAIN INVENTORY
 NOTA DE EGRESO, INVENTARIO PRINCIPAL

DIAF CEMA

Order No.: 02616201310695

Order No.: L1000

Card: 100407

Aircraft: DIAF

Date: 03/07/2013 11:44:29

User: NSEGOVIA



| Ord | Part No. | Description | Quantity | Stock | Location | Lot |
|-----|---------------|-------------|----------|-------|----------|-----|
| 1 | SAB 1018 3/4" | BUE ACERO | 15.00 | 17.00 | 1F PISO | |

HOJA DE VIDA



DATOS PERSONALES:

NOMBRE: Solange Esmeralda Armendáriz Rengel
NACIONALIDAD: Ecuatoriana
FECHA DE NACIMIENTO: 12 de Noviembre de 1992
CEDULA DE CIUDADANÍA: 180435030-2
TELÉFONOS: 032779631 / 0984138867
CORREO ELECTRÓNICO: nenasoly-13@hotmail.es
DIRECCIÓN: Latacunga, Cdla. El Carmen
Calle José María Urbina y
Antonia Vela

ESTUDIOS REALIZADOS:

Primaria: Escuela Fiscal Mixta "JOAQUÍN HERVAS"
Desde 1997 - 2003
Secundaria: Colegio Militar No 6
"COMBATIENTES DE TAPI"
Desde 2003 – 2009
Título Obtenido: Bachiller en Ciencias Generales
Superior: Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico (ITSA)
Egresada en Mecánica Aeronáutica
Mención "MOTORES DE AVIACIÓN"
Desde 2009 - 2012

OTROS ESTUDIOS:

Suficiencia en ingles por el Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico

PRACTICAS PRE-PROFESIONALES:

- Ala de transportes No 11
Escuadrilla Sabreliner (Área de Mantenimiento)
Quito – Ecuador
- Proyecto de gran Altitud (PGA) – Área de Mantenimiento
Ambato – Ecuador
- Aeropolicial (Área de Mantenimiento y Línea de vuelo)
Quito – Ecuador
- TAME (Área de Control de Calidad, Control de Mantenimiento y Línea de vuelo)
Quito – Ecuador

HOJA DE LEGALIZACIÓN DE FIRMAS

**DEL CONTENIDO DE LA PRESENTE INVESTIGACIÓN SE RESPONSABILIZA
LA AUTORA**

Armendáriz Rengel Solange Esmeralda

DIRECTOR DE LA CARRERA DE MECÁNICA AERONÁUTICA

**Ing. Atencio Hebert
Subs. Téc. Avc.**

Latacunga, Septiembre 04, 2013.

CESIÓN DE DERECHOS DE PROPIEDAD INTELECTUAL

Yo, ARMENDÁRIZ RENGEL SOLANGE ESMERALDA, egresada de la carrera de Mecánica Aeronáutica Mención Motores, en el año 2012, con Cédula de Ciudadanía No 180435030-2, autora del Trabajo de Graduación “Elaboración de una guía práctica para la medición de espesores por ultrasonido en una estación de trabajo”, cedo mis derechos de propiedad intelectual a favor del Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico.

Para constancia firmo la presente cesión de propiedad intelectual.

Armendáriz Rengel Solange Esmeralda

Latacunga, Septiembre 04, 2013.