



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
PROYECTO TÉCNICO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO

TEMA:

“DISEÑO Y DESARROLLO DE UN SISTEMA SEMIAUTOMÁTICO TIPO ARAÑA PARA LA INSPECCIÓN DE JUNTAS SOLDADAS EN TUBERÍAS MEDIANTE EL EQUIPO MFD 800B UTILIZADO EN EL LABORATORIO DE MATERIALES DE LA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA”

AUTOR: Eduardo Alfonso Aleaga Ulloa

TUTOR: Ing. M.Sc. Juan Gilberto Paredes Salinas

AMBATO - ECUADOR
Octubre - 2020

CERTIFICACIÓN

En mi calidad de tutor del Proyecto Técnico, previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico, con el tema: **“DISEÑO Y DESARROLLO DE UN SISTEMA SEMIAUTOMÁTICO TIPO ARAÑA PARA LA INSPECCIÓN DE JUNTAS SOLDADAS EN TUBERÍAS MEDIANTE EL EQUIPO MFD 800B UTILIZADO EN EL LABORATORIO DE MATERIALES DE LA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA”** elaborado por el Sr. Eduardo Alfonso Aleaga Ulloa, portador de la cédula de ciudadanía: 180430101-6, egresado de la Carrera de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente proyecto técnico es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Esta concluido en su totalidad.

Ambato, Octubre 2020



.....
Ing. M.Sc. Juan Gilberto Paredes Salinas
TUTOR

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, Eduardo Alfonso Aleaga Ulloa, con C.I. 180430101-6 declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente Proyecto Técnico con el tema **“DISEÑO Y DESARROLLO DE UN SISTEMA SEMIAUTOMÁTICO TIPO ARAÑA PARA LA INSPECCIÓN DE JUNTAS SOLDADAS EN TUBERÍAS MEDIANTE EL EQUIPO MFD 800B UTILIZADO EN EL LABORATORIO DE MATERIALES DE LA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA”** así como también las ideas, análisis, resultados, conclusiones y recomendaciones, son de mi exclusiva responsabilidad como autor de la investigación, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, Octubre 2020



.....
Eduardo Alfonso Aleaga Ulloa
CI: 1804301016
AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Proyecto Técnico o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y proceso de investigación, según las normas de la institución.

Cedo los derechos en línea patrimoniales de mi Proyecto Técnico con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, Octubre 2020



.....
Eduardo Alfonso Aleaga Ulloa

CI: 1804301016

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Proyecto Técnico realizado por el estudiante Eduardo Alfonso Aleaga Ulloa, de la Carrera de Ingeniería Mecánica, bajo el tema: **“DISEÑO Y DESARROLLO DE UN SISTEMA SEMIAUTOMÁTICO TIPO ARAÑA PARA LA INSPECCIÓN DE JUNTAS SOLDADAS EN TUBERÍAS MEDIANTE EL EQUIPO MFD 800B UTILIZADO EN EL LABORATORIO DE MATERIALES DE LA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA”**.

Ambato, Octubre 2020

Para constancia firman.



.....
Ing. Mg. Wilson Henry Vaca Ortega
Miembro del Tribunal



.....
Ing. Mg. Gonzalo Eduardo López Villacis
Miembro del Tribunal

DEDICATORIA

El presente proyecto está dedicado con todo mi cariño para mi familia ya que por su apoyo incondicional y comprensión en los momentos más difíciles he superado los problemas y he cumplido mis metas primordiales en mi carrera y, en general, en todo el trayecto de mi vida.

AGRADECIMIENTO

Un profundo agradecimiento a la Universidad Técnica de Ambato por abrirme sus puertas y permitirme formar parte de esta prestigiosa Institución. A los docentes de la Facultad de la Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Mecánica por compartir sus conocimientos y sus valiosos consejos. Al Ing. Mg. Juan Paredes, por su tiempo, guía y apoyo en el desarrollo de este trabajo.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO

| | |
|--|-------|
| CERTIFICACIÓN DEL TUTOR..... | ii |
| AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN..... | iii |
| DERECHOS DE AUTOR..... | iv |
| APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO..... | v |
| DEDICATORIA..... | vi |
| AGRADECIMIENTO..... | vii |
| ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO..... | viii |
| ÍNDICE DE TABLAS..... | xiii |
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES..... | xiv |
| RESUMEN EJECUTIVO..... | xvii |
| ABSTRACT (SUMMARY)..... | xviii |
| CAPÍTULO I..... | 1 |
| MARCO TEÓRICO..... | 1 |
| 1.1. Tema..... | 1 |
| 1.2. Antecedentes Investigativos..... | 1 |
| 1.3. Objetivos..... | 3 |
| 1.3.1. Objetivo General..... | 3 |
| 1.3.2. Objetivos Específicos..... | 3 |
| 1.4. Fundamentación teórica..... | 3 |
| 1.4.1. Introducción a los Ensayos no Destructivos por Ultrasonido..... | 3 |
| 1.4.2. Ondas ultrasónicas..... | 5 |
| 1.4.2.1. Ondas longitudinales..... | 5 |
| 1.4.2.2. Ondas transversales..... | 6 |
| 1.4.2.3. Ondas superficiales o de Rayleigh..... | 6 |
| 1.4.2.4. Ondas de Lamb..... | 7 |
| 1.4.3. Palpadores ultrasónicos..... | 7 |

| | |
|--|----|
| 1.4.3.1. Palpadores de contacto directo..... | 7 |
| 1.4.3.2. Palpadores de inmersión..... | 8 |
| 1.4.3.3. Características de los palpadores..... | 8 |
| 1.4.4. Acoplante..... | 9 |
| 1.4.5. Métodos de inspección ultrasónica..... | 11 |
| 1.4.5.1. Método de transmisión a través del material..... | 11 |
| 1.4.5.2. Método pulso-eco..... | 12 |
| 1.4.5.3. Método automático y semiautomático..... | 13 |
| 1.4.6. Técnicas de inspección ultrasónica..... | 15 |
| 1.4.6.1. Técnica tándem..... | 15 |
| 1.4.6.2. Técnica de inmersión..... | 16 |
| 1.4.7. Equipo MITECH MFD 800B..... | 17 |
| 1.4.7.1. Funciones..... | 17 |
| 1.4.7.2. Partes del dispositivo de inspección..... | 18 |
| 1.4.7.3. Gráfica de las funciones del equipo..... | 19 |
| 1.4.7.4. Menú básico del equipo MFD 800B..... | 20 |
| a) Funciones del teclado principal del equipo..... | 20 |
| b) Menú básico..... | 20 |
| 1.4.7.5. Menú de calibración del equipo MFD 800B..... | 22 |
| a) Selección del tipo de sonda..... | 22 |
| 1.4.7.6. Menú función del equipo MFD 800B..... | 22 |
| 1.4.8. Métodos de calibración..... | 23 |
| 1.4.8.1. Introducción..... | 24 |
| 1.4.8.2. Bloque de calibración SDH (Side Drilled Hole) | 24 |
| 1.4.8.3. Bloque de calibración 10W..... | 25 |
| 1.4.8.4. Bloque de calibración de acero de 25 x 150 x 250..... | 25 |
| 1.4.8.5. Bloque de calibración IIW V1..... | 26 |
| 1.4.8.6. Bloque de calibración IIW V2..... | 27 |

| | |
|--|----|
| 1.4.8.7. Bloque de calibración ASTM..... | 27 |
| 1.4.8.8. Otros bloques de calibración..... | 28 |
| 1.4.8.9. Bloque de calibración escalonado..... | 29 |
| 1.4.8.10. Bloque de calibración según API..... | 29 |
| 1.4.9. Materiales de construcción..... | 29 |
| 1.4.9.1. Acrílico..... | 29 |
| 1.4.9.2. Acero al carbono..... | 30 |
| 1.4.10. Presentación de datos..... | 32 |
| 1.4.10.1. A – scan..... | 32 |
| 1.4.10.2. B – scan..... | 34 |
| 1.4.10.3. C – scan..... | 36 |
| 1.4.10.4. Phased array..... | 37 |
| a) Escaneo electrónico o E – scan..... | 38 |
| b) Escaneo sectorial o S – scan..... | 38 |
| c) Aplicaciones Phased array..... | 39 |
| 1.4.11. Impedancia acústica..... | 39 |
| 1.4.12. Proceso de reflexión ultrasónica..... | 43 |
| 1.4.13. Proceso de refracción ultrasónica..... | 43 |
| 1.4.14. Relación entre reflexión y refracción..... | 43 |
| 1.4.15. Inspección de juntas soldadas..... | 44 |
| 1.4.16. Ubicación de discontinuidades..... | 46 |
| 1.4.17. Inspección de un cordón de soldadura..... | 48 |
| 1.4.18. Zona de barrido..... | 49 |
| 1.4.19. Patrones de barrido..... | 49 |
| CAPÍTULO II..... | 51 |
| METODOLOGÍA..... | 51 |
| 2.1. Materiales..... | 51 |
| 2.1.1. Selección de alternativas..... | 51 |

| | |
|--|----|
| 2.1.2. Selección de alternativas del tipo de movimiento del mecanismo..... | 51 |
| 2.1.2.1. Sistema manual..... | 51 |
| 2.1.2.2. Sistema semiautomático..... | 52 |
| 2.1.2.3. Sistema automático..... | 53 |
| 2.1.3. Análisis del sistema de control..... | 55 |
| 2.1.3.1. Arduino..... | 55 |
| 2.1.3.2. DAQ..... | 56 |
| 2.1.4. Estudio estructural del mecanismo..... | 58 |
| 2.1.5. Selección de alternativas del material de construcción..... | 59 |
| 2.1.6. Materiales y Costos..... | 61 |
| 2.1.6.1. Lista de materiales..... | 61 |
| 2.1.6.2. Costos de materia prima..... | 63 |
| 2.2. Métodos..... | 65 |
| 2.2.1. Análisis de impedancia acústica entre materiales..... | 65 |
| 2.2.2. Ubicación del transductor (Distancias mínima y máxima) | 67 |
| 2.2.3. Velocidad tangencial..... | 68 |
| 2.2.4. Cálculo de Fuerzas..... | 70 |
| 2.2.5. Cálculo de Bomba Sumergible..... | 71 |
| CAPÍTULO III..... | 73 |
| RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 73 |
| 3.1. Análisis y discusión..... | 73 |
| 3.2. Análisis de resultados..... | 73 |
| 3.2.1. Clasificación de indicaciones..... | 77 |
| 3.2.1.1. Indicaciones lineales..... | 77 |
| 3.2.1.2. Indicaciones transversales..... | 78 |
| 3.2.1.3. Indicaciones volumétricas..... | 78 |
| 3.2.2. Criterios de aceptación..... | 79 |
| 3.2.3. Instrucciones Ensayo por Ultrasonido..... | 80 |

| | |
|--|-----|
| 3.2.4. Resultados finales - Procedimiento..... | 81 |
| CAPÍTULO IV..... | |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 87 |
| 4.1. Conclusiones..... | 87 |
| 4.2. Recomendaciones..... | 89 |
| Referencias..... | 90 |
| Anexos..... | 93 |
| Anexo A..... | 93 |
| Manual de funcionamiento..... | 93 |
| Anexo B..... | 99 |
| Tablas..... | 99 |
| Anexo C..... | 100 |
| Fotografías..... | 100 |
| Anexo D..... | 102 |
| Planos..... | 102 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Funciones básicas del equipo de ultrasonido..... | 19 |
| Tabla 2. Propiedades del acrílico..... | 30 |
| Tabla 3. Clases de acero al carbono | 31 |
| Tabla 4. Propiedades del acero..... | 32 |
| Tabla 5. Criterios de selección para el movimiento del mecanismo..... | 54 |
| Tabla 6. Matriz de selección de alternativas del tipo de movimiento..... | 55 |
| Tabla 7. Criterios de selección del sistema de control..... | 57 |
| Tabla 8. Matriz de selección de alternativas del sistema de control..... | 58 |
| Tabla 9. Criterios de selección de la estructura..... | 58 |
| Tabla 10. Matriz de selección de alternativas de la estructura..... | 59 |
| Tabla 11. Criterios de selección de la estructura..... | 60 |
| Tabla 12. Matriz de selección de alternativas de la estructura..... | 61 |
| Tabla 13. Referencia de equipos y materiales utilizados..... | 61 |
| Tabla 14. Costos de materia prima..... | 63 |
| Tabla 15. Costos de mano de obra..... | 64 |
| Tabla 16. Costos indirectos..... | 64 |
| Tabla 17. Tiempos de avance del mecanismo..... | 69 |
| Tabla 18. Selección de Ensayos no destructivos..... | 73 |
| Tabla 19. Criterios de aceptación | 79 |
| Tabla 20. Instrucciones de Ensayo semiautomático..... | 80 |

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

| | |
|---|----|
| Ilustración 1. Equipo de ultrasonido semiautomático con aplicación en tuberías..... | 2 |
| Ilustración 2. Espectro acústico..... | 5 |
| Ilustración 3. Onda longitudinal..... | 6 |
| Ilustración 4. Ondas transversales | 6 |
| Ilustración 5. Ondas Lamb de compresión..... | 7 |
| Ilustración 6. Ondas Lamb de flexión..... | 7 |
| Ilustración 7. Palpador angular..... | 8 |
| Ilustración 8. Poder de resolución de los palpadores | 9 |
| Ilustración 9. Acoplamiento con palpador de contacto directo..... | 10 |
| Ilustración 10. Acoplamiento por inmersión..... | 10 |
| Ilustración 11. Posicionamiento de palpadores, transmisor y receptor, mediante el método de transmisión a través del material..... | 11 |
| Ilustración 12. Variación del tamaño de la señal en el método de transmisión a través del material. (a) Muestra sin defectos. (b) Muestra con defecto pequeño. (c) Muestra con defecto amplio..... | 12 |
| Ilustración 13. Principio del método pulso-eco en el ensayo por ultrasonido. (a) Muestra sin defectos. (b) Muestra con defecto pequeño. (c) Muestra con defecto amplio..... | 13 |
| Ilustración 14. Ejemplo de buena y mala resolución..... | 13 |
| Ilustración 15. Técnica tándem para inspección por ultrasonido..... | 16 |
| Ilustración 16. Técnica de inmersión..... | 17 |
| Ilustración 17. Partes del equipo MFD 800B..... | 18 |
| Ilustración 18. Teclado principal del equipo MFD 800 B..... | 20 |
| Ilustración 19. Selección del rango..... | 21 |
| Ilustración 20. Selección de ganancia..... | 21 |
| Ilustración 21. Selección de reglilla..... | 22 |
| Ilustración 22. Parámetros de soldadura..... | 23 |

| | |
|--|----|
| Ilustración 23. Bloque de calibración SDH..... | 25 |
| Ilustración 24. Bloque de calibración 10W..... | 25 |
| Ilustración 25. Bloque de calibración de 25 x 150 x 250..... | 25 |
| Ilustración 26. Bloque de calibración IIW V1..... | 26 |
| Ilustración 27. Bloque de calibración IIW V2..... | 27 |
| Ilustración 28. Bloque de calibración ASTM..... | 28 |
| Ilustración 29. Bloque de calibración para elementos forjados..... | 28 |
| Ilustración 30. Bloque de calibración escalonado..... | 29 |
| Ilustración 31. Bloque de calibración API..... | 29 |
| Ilustración 32. Diagrama hierro-carbono..... | 31 |
| Ilustración 33. Punto inicial, A..... | 34 |
| Ilustración 34. Recorrido del transductor, A - scan..... | 34 |
| Ilustración 35. Presentación de un sistema B - scan..... | 35 |
| Ilustración 36. Esquema de inspección mediante C - scan..... | 36 |
| Ilustración 37. Esquemas A-scan, B-scan, C-scan..... | 37 |
| Ilustración 38. Esquemas de presentación Phased array..... | 38 |
| Ilustración 39. Esquema E - scan..... | 38 |
| Ilustración 40. Esquema S - scan..... | 39 |
| Ilustración 41. Propiedades de materiales para ensayo ultrasónico..... | 41 |
| Ilustración 42. Diagrama de relación de los posibles tipos de reflexión y refracción a partir de una onda longitudinal..... | 44 |
| Ilustración 43. Propagación de haz ultrasónico..... | 44 |
| Ilustración 44. Esquema de distancias de salto y salto medio..... | 45 |
| Ilustración 45. Parámetros utilizados para el cálculo de distancia de medio salto..... | 45 |
| Ilustración 46. Relación de ubicación de discontinuidades entre el equipo y el haz ultrasónico..... | 46 |
| Ilustración 47. Reflexión de haz ultrasónico en el proceso de detección..... | 47 |
| Ilustración 48. Esquema de distancia de salto y medio salto | 48 |

| | |
|--|----|
| Ilustración 49. Zona de barrido..... | 49 |
| Ilustración 50. Patrones de barrido en una junta soldada..... | 50 |
| Ilustración 51. Método de inspección por ultrasonido con configuración pulso-eco..... | 51 |
| Ilustración 52. Sistema semiautomático de inspección..... | 53 |
| Ilustración 53. Sistema automático de inspección por ultrasonido..... | 53 |
| Ilustración 54. Tarjeta de control Arduino..... | 56 |
| Ilustración 55. Tarjeta de control DAQ..... | 57 |

RESUMEN EJECUTIVO

El desarrollo del presente proyecto de investigación está enfocado para su uso en el laboratorio de materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, en específico para el área de Ensayos no destructivos. El mecanismo está dispuesto para generar mayor confiabilidad y veracidad en la adquisición de datos para un ensayo por ultrasonido, actualmente en las instalaciones se utiliza un ensayo convencional o manual que, en general, y por razones propias a la experiencia del personal involucrado en este contexto, arroja resultados poco confiables.

Su estructura principal está constituida de acrílico y de acero. La unión de los elementos se lo ha realizado mediante el uso de pernos y tuercas. En cambio, para el movimiento alrededor de la tubería se ha utilizado rodamientos y ruedas. De igual manera, se requirió de un tornillo sinfín y dos motores que produzcan el movimiento al momento de realizar la manipulación en un software libre.

Los resultados finales requirieron del uso de la norma API 1104, aquí se indican todos los factores, mínimos, que deben incluir en la generación de resultados en el análisis (Manual, automático, semiautomático) por ultrasonido en tuberías. Igualmente, se aprecia los datos que deben estar dispuestas para el equipo de medición. Finalmente se determinó la eficiencia de un ensayo por ultrasonido semiautomático con respecto a un ensayo convencional.

EXECUTIVE SUMMARY

The development of this research project is focused for use in the materials laboratory of the Mechanical Engineering Career at the Universidad Técnica de Ambato, specifically for the area of non-destructive testing. The mechanism is designed to generate greater reliability and veracity in the acquisition of data for an ultrasound test. Currently, a conventional or manual test is used in the facilities, which, in general, and for reasons proper to the experience of the personnel involved in this context., yields unreliable results.

Its main structure is made of acrylic and steel. The elements have been joined by using bolts and nuts. Instead, bearings and wheels have been used for movement around the pipe. Similarly, a worm screw and two motors were required to produce the movement when handling in free software.

The final results required the use of API 1104, here are all the minimum factors that must be included in the generation of results in the analysis (manual, automatic, semi-automatic) by ultrasound in pipes. Likewise, the data that must be available for the measurement equipment is appreciated. Finally, the efficacy of a semi-automatic ultrasound test with respect to a conventional test was determined.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Tema

“DISEÑO Y DESARROLLO DE UN SISTEMA SEMI-AUTOMÁTICO TIPO ARAÑA PARA LA INSPECCIÓN DE JUNTAS SOLDADAS EN TUBERÍAS MEDIANTE EL EQUIPO MFD 800B UTILIZADO EN EL LABORATORIO DE MATERIALES DE LA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA”

1.2. Antecedentes Investigativos

La aplicación de ensayos no destructivos, en la actualidad, es uno de los procesos más representativos para analizar defectos y discontinuidades en juntas soldadas. Básicamente el proceso consiste en examinar las posibles fallas tanto internas como superficiales sin alterar el estado físico o constitución química de las partes analizadas, esto mediante el uso de distintos procesos o métodos. Dentro de los procesos de análisis los más distintivos se encuentran, por ejemplo, los ensayos por tintas penetrantes, ultrasonido, partículas magnéticas y radiografía. Cada uno de ellos con distintas características y aplicaciones dependientes de las circunstancias y los medios donde se requiera el análisis de juntas soldadas.

Dentro del contexto de la presente investigación, se analizará específicamente el ensayo por ultrasonido con una variante que forma parte de los sistemas semiautomáticos que son utilizados a gran escala en la actualidad; paralelamente se analizará todo lo relacionado a tuberías con diámetros específicos que serán parte del proceso de inspección.

El origen de ensayos por ultrasonido tiene sus raíces en técnicas rudimentarias; esto se remontan al ensayo de percusión donde intervenía el uso de un martillo y la percepción acerca del sonido que emitía. Durante varios años, por ejemplo, era una práctica usual entre trabajadores ferrocarrileros el hecho de usar la fuerza y golpear las distintas ruedas de cada vagón del ferrocarril para la detección de posibles discontinuidades. [1] Inicialmente los ensayos por ultrasonido carecían de credibilidad en la generación de resultados. Sin embargo, en el año de 1924, Sokolov, científico soviético, generó un ensayo relativo al ultrasonido pero que consistía en generar un registro de

discontinuidades mediante una técnica llamada de caída acústica de los materiales. Consistía básicamente en aplicar sonido al material por medio de una fuente considerada de energía sónica, pero con la característica de que debía ser constante en función del tiempo. [1]

Años después, en 1930, se reconoce el uso del ultrasonido en los ensayos no destructivos, sin embargo, la tecnología aun carecía de elementos representativos que lleven a resultados coherentes. Es por ello que, en 1940, Floyd A. Firestone, desarrolla el primer detector por ultrasonido de tipo pulso-eco, con el cual se requería de la ubicación por un solo lado de la muestra debido a que la energía se manejaba de manera reflejada y no existía pérdida alguna de la misma. Los avances tecnológicos, aun en la actualidad, forman parte de un proceso de mejora y confiabilidad de los equipos utilizados para dicho ensayo. Es por tal motivación que actualmente se observa el auge de sistemas semiautomáticos y automáticos en la industria relacionada a los ensayos no destructivos y más puntualmente a los ensayos por ultrasonido. [1]

Los ensayos por ultrasonido de tipo semiautomático son un sistema que permite un análisis más detallado de los posibles defectos y discontinuidades y consiste en el uso de, por ejemplo, motores a pasos, servos, sistemas de medición y control o bombas para la detección de fallas en juntas soldadas. Su aplicabilidad, especialmente en tuberías, es extensa y permite un mejor control y manejo de los transductores y del flujo del acoplante que se introduce en la muestra. Asimismo, la forma de manipular el movimiento es totalmente práctica ya que es posible utilizar una interfaz que, mediante el computador y el uso de tarjetas DAC, genere el movimiento alrededor de la tubería y hacia lugares específicos donde se pueda controlar de mejor manera el movimiento y genere una mejor visión por parte del inspector. [2]



Figura 1. Equipo de ultrasonido semiautomático con aplicación en tuberías. Fuente [2]

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Implementar un sistema semiautomático tipo araña para la inspección de juntas soldadas en tuberías mediante el equipo MFD 800B utilizado en el laboratorio de materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Determinar los parámetros principales que posee la inspección por ultrasonido de tipo semiautomática (SAUT), así como sus ventajas más representativas en comparación con un ensayo por ultrasonido convencional (UT).
- Diseñar el sistema semiautomático que permita un movimiento lineal del transductor para determinar los posibles defectos y discontinuidades inherentes en los procesos de soldadura.
- Construir el sistema destinado a la inspección por ultrasonido semiautomático mediante normas específicas que involucran el tamaño, el peso y los distintos elementos que forman parte de toda la estructura.
- Incorporar un sistema de bombeo de acoplante, el cual evita la necesidad de insertar este componente de forma manual, con el fin de mejorar la eficiencia del proceso y los resultados que se adquieren al terminar el ensayo.
- Realizar las pruebas de funcionamiento para verificar la correcta programación en el software especializado, así como de la estructura donde se incorporará el transductor para la inspección de juntas soldadas en tuberías.
- Crear un manual de funcionamiento para uso correcto del sistema semi-automático, así como las especificaciones en cuanto a las distintas variables inherentes del proceso de inspección de soldadura por ultrasonido.

1.4. Fundamentación teórica

1.4.1. Introducción a los Ensayos no Destructivos por Ultrasonido

El ultrasonido es, puntualmente, un conjunto de ondas de tipo acústico que posee una frecuencia con un valor aproximado de 20 kHz. Su forma de propagarse en un elemento, ya sea este sólido, gaseoso o líquido, ha dado lugar a diversas aplicaciones en distintos aspectos del área científica. Entre las más relevantes podemos mencionar

aplicaciones médicas y de ingeniería; esta última con una aceptación notable en el campo de los ensayos no destructivos para análisis de juntas soldadas en placas o tuberías. [3]

De igual manera, su uso es aplicable en la industria que requiere de métodos depurativos y de limpieza; paralelamente se encuentra ampliamente enfocado al análisis de junta soldadas en tuberías y placas en laboratorios; esto es, en la práctica, un uso común previo a la instalación en campo de los elementos analizados. [3]

En general lo elementos que se utilizan en los ensayos ultrasónicos se presentan de la siguiente manera.

- Equipo de ultrasonido de tipo electrónico
- Pantalla de representación
- Transductores con ángulos específicos
- Líquido acoplante
- Calibración mediante bloques [4]

Asimismo, se encuentran varias ventajas inherentes al ensayo; a continuación, se mencionará las más relevantes dentro de la industria de los ensayos no destructivos en juntas soldadas.

- Alta penetración en el material, esto permite analizar defectos y/o discontinuidades profundas o relativas al espesor del elemento.
- El ensayo se lo realiza sobre una superficie única del elemento a inspeccionar.
- Alto grado de sensibilidad que permite la detección de discontinuidades con un tamaño relativamente pequeño.
- Gran precisión en el análisis, esto se debe al hecho de que el ensayo posee la facilidad de manipular, por ejemplo, posiciones, tamaños y formas.
- No posee grado de peligrosidad para el inspector que realiza el ensayo ya que no utiliza medios o elementos nocivos que puedan afectar al operario.
- Tiene la posibilidad de ser portátil y es útil al momento de analizar, por ejemplo, tuberías en campo. [4]

1.4.2. Ondas ultrasónicas

Las ondas de ultrasonido son similares a una onda acústica tradicional, la diferencia radica en el valor nominal de la frecuencia. Esto quiere decir que el ultrasonido se maneja con frecuencias mayores a los 20 kHz que sugiere la no audibilidad para los seres humanos. [3]

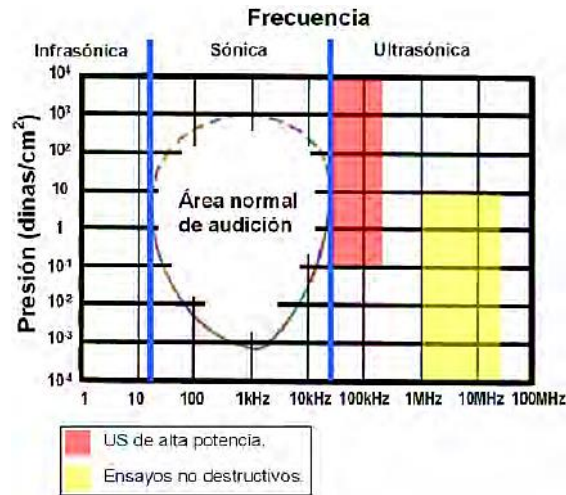


Figura 2. Espectro acústico. Fuente [3]

En el gráfico se puede observar tres zonas representativas que se distinguen por sus distintos valores de frecuencia y dependiendo de esto sugieren múltiples aplicaciones relevantes o a su vez, como el caso de la zona infrasonica, irrelevantes. [3]

Zona infrasonica. Su valor está por debajo de 20 kHz y no posee una aplicación puntual dentro de la industria.

Zona sónica. Es el rango en el cual el ser humano, tiene la capacidad de oír y distinguir sonidos y su valor oscila entre 20 Hz y 20 kHz.

Zona ultrasónica. Tiene un valor mayor de los 20 kHz, esta a su vez posee una subdivisión.

- *Entre 20 y 100 kHz.* En esta zona se encuentran aplicaciones relativas a sistemas de limpieza o agitación y cavitación.
- *Entre 0.2 y 25 MHz.* En este rango de frecuencia es común observar procesos de control de la calidad en materiales. Sin embargo, lo recomendable es utilizar frecuencias que se encuentren en un rango comprendido entre 2 y 5 MHz.

- *Mayores de 100 MHz.* Este nivel de frecuencia se utiliza de forma específica en el área de microscopía acústica. [3]

1.4.2.1. Ondas longitudinales

Este tipo de ondas se generan de forma perpendicular en relación a la superficie de contacto del material y, paralelamente, el proceso oscilatorio de partículas se da en la dirección equivalente a la propagación de onda. [3]

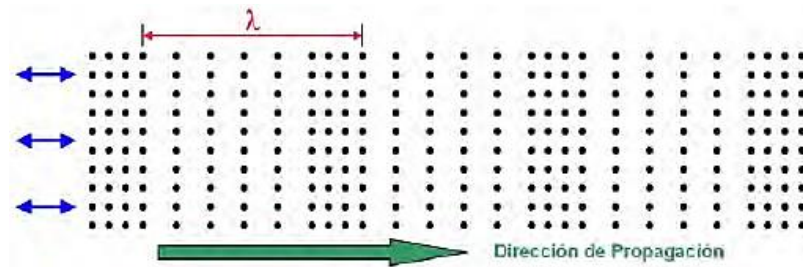


Figura 3. Onda longitudinal. Fuente [3]

1.4.2.2. Ondas transversales

En una onda de tipo transversal se puede observar que su principio radica en que la dirección de oscilación de sus partículas inherentes se produce de forma perpendicular a la onda ultrasónica. En general, este tipo de ondas surgen en materiales que son sólidos ya que incurre de manera angular a la superficie del material. [3]

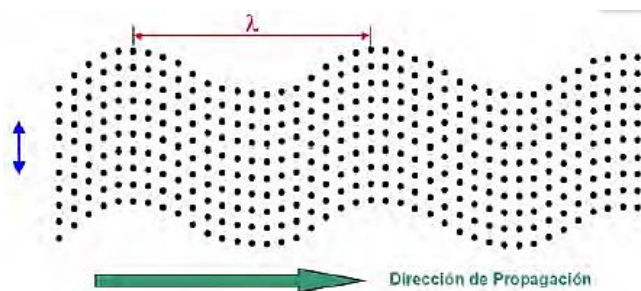


Figura 4. Ondas transversales. Fuente [3]

1.4.2.3. Ondas superficiales o de Rayleigh

Estas ondas son similares a las ondas transversales. La diferencia se encuentra en que las ondas de Rayleigh siguen la superficie finita del sólido, así como su contorno y las posibles irregularidades que puedan aparecer en el material de análisis. [3]

1.4.2.4. Ondas de Lamb

La obtención de este tipo de ondas se encuentra en materiales con espesores pequeños, por ejemplo, en tubos o láminas. Al transmitir la onda de ultrasonido, el material empieza a vibrar lo que genera una propagación de la misma de forma paralela a la superficie y con dirección al impulso que recibió previamente. Dentro del estudio de las ondas Lamb existe una sub clasificación que está comprendida por ondas simétricas de compresión y ondas simétricas de flexión. Particularmente en el tipo de ondas mencionadas previamente el movimiento que generan las partículas es elíptico. [3]

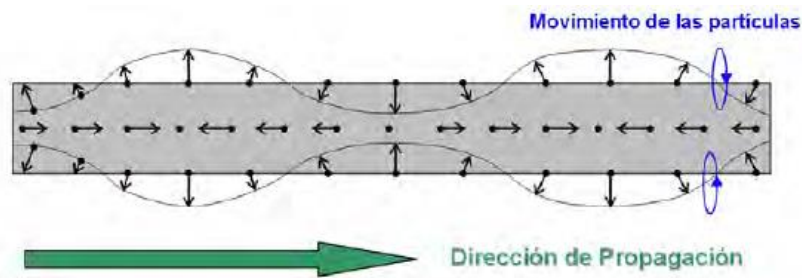


Figura 5. Ondas Lamb de compresión. Fuente.[3]

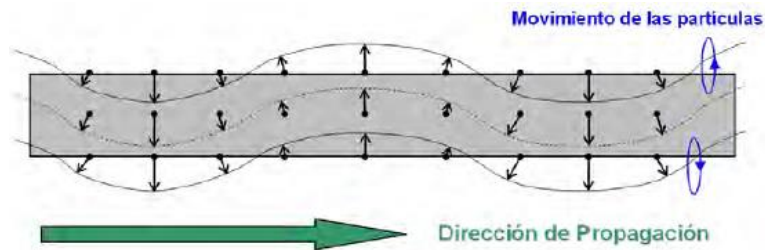


Figura 6. Ondas Lamb de flexión. Fuente [3]

1.4.3. Palpadores ultrasónicos

1.4.3.1. Palpadores de contacto directo

La característica más representativa de este tipo de palpadores es que el contacto ocurre de forma directa con la superficie del material que se requiera examinar. para que se genere un proceso de inspección correcto es necesario aplicar una leve presión entre el palpador y el objeto a inspeccionar, así como de será primordial el uso de un acoplante entre las partes para que, de esta manera, exista una buena trasmisión de la onda ultrasónica. de igual manera, existen dos tipos de palpadores de contacto directo: palpadores de incidencia normal y palpadores de incidencia angular. [3]

Palpadores de incidencia normal. En general, este tipo de palpadores son utilizados en métodos de inspección como pulso-eco, resonancia, defectología y metrología. Están diseñados específicamente para crear ondas longitudinales que traspasan el material a inspeccionar de forma perpendicular a su superficie. [3] traspasa

Palpadores de incidencia angular. El principio físico de este tipo de transductores radica en las leyes de reflexión y refracción para generar la onda, ya sea de tipo longitudinal o transversal, en el elemento que se requiera realizar la inspección [3]

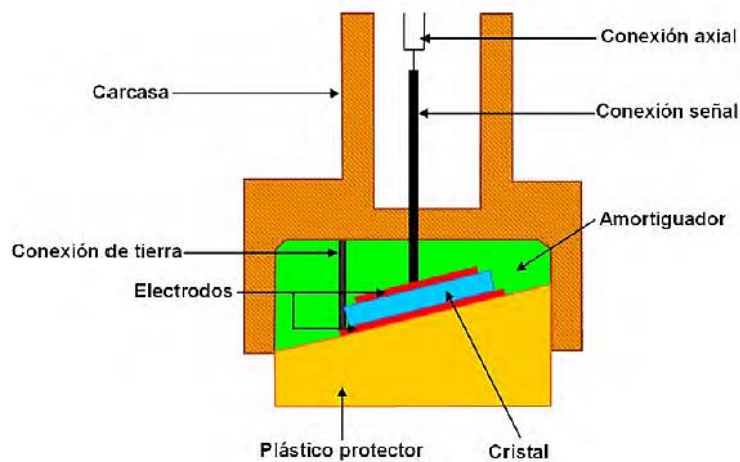


Figura 7. Palpador angular. Fuente. [3]

1.4.3.2. Palpadores de inmersión

Se caracterizan principalmente por la falta de contacto entre las partes, los mismos operan en un medio líquido acoplante que los envuelve y en donde básicamente todas sus conexiones son impermeables para no permitir el paso del líquido por el sistema eléctrico del transductor. Los palpadores de inmersión, por lo general, se utilizan dentro de tanques de agua o, paralelamente, con sistemas a corro o mediante el uso de burbujas en varias aplicaciones en donde la situación requiera este tipo de mecanismo de inspección. [5]

1.4.3.3. Características de los palpadores

Los palpadores presentan características específicas que determinarán la aplicación a la cual irán enfocados, así como de la calidad del ensayo; entre las características más relevantes se encuentran, por ejemplo, la frecuencia, sensibilidad, ángulo, resolución y dimensiones del palpador. [3]

Frecuencia. El rango más utilizado para el uso de palpadores se encuentra entre 2 y 4 MHz pudiendo llegar a extremos de frecuencia con valores aproximados a los 15 MHz. Hay que tener en cuenta que el aumento de frecuencia en un palpador sugiere una mayor sensibilidad por parte del equipo, sin embargo, esto crea un proceso de atenuación de onda ultrasónica que concluye en la disminución final del poder de penetración. [3]

Resolución. Básicamente está enfocada en la capacidad del palpador de generar en la pantalla del equipo ultrasónico indicaciones separadas relativas a la profundidad a la que se encuentren, llamadas técnicamente resoluciones de campo lejano y cercano. En la siguiente figura se procederá a observar de forma gráfica dos aspectos de la resolución; alto poder de resolución y bajo poder de resolución. [3]

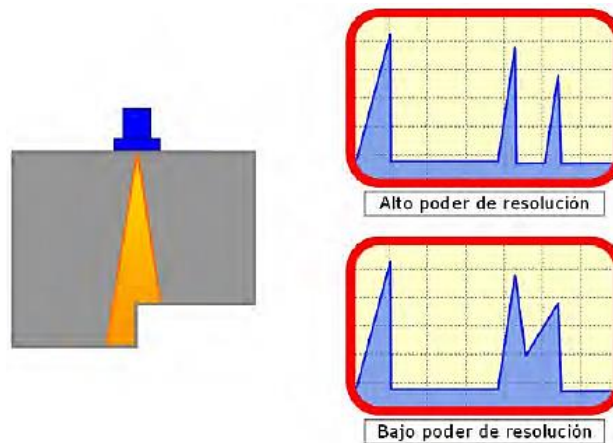


Figura 8. Poder de resolución de los palpadores. Fuente [3]

Sensibilidad. La sensibilidad se conceptualiza como la capacidad de transformar la energía de tipo eléctrica en energía mecánica o a su vez la transformación de energía mecánica en eléctrica. Por ejemplo, al aumentar la sensibilidad las señales se amplifican y es recomendable para el análisis de elementos con un espesor relativamente alto. [3]

1.4.4. Acoplante

El material acoplante, comúnmente de tipo líquido, tiene la función de facilitar el proceso de transmisión de la energía de ultrasonido que proviene del palpador y va dirigida hacia el material o elemento destinado a análisis. Generalmente, el acoplante es utilizado debido a que suele generarse impedancia acústica, entre la muestra y el aire, relativamente grande. Es por ello que la energía, casi en su totalidad, es más bien

reflejada y tiende a generar un proceso de transmisión al material en cantidades muy bajas. Físicamente, el material acoplante desplaza el medio exterior (aire), lo que permite una mayor implementación de la energía acústica a través del material de prueba para, de esta manera, obtener una mejor señal ultrasónica que resulte viable para la inspección. [6]

En un proceso de inspección con palpadores de contacto directo suele utilizarse una cantidad adecuada acoplante que forma una película delgada entre el palpador y la muestra que, generalmente, suele ser, por ejemplo, aceite, agua o glicerina. [6]

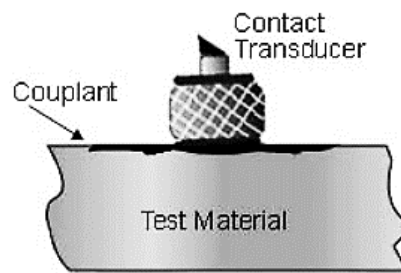


Figura 9. Acoplamiento con palpador de contacto directo. Fuente. [6]

Al utilizar un proceso de inspección por inmersión, las mediciones y datos generados son relativamente más precisos. En este tipo de inspección los transductores son sumergidos en un medio acoplante junto con el material; típicamente el líquido acoplante es agua. Este método en particular tiene la facilidad de generar un acoplamiento constante mientras se realiza la manipulación del palpador o de la pieza. [6]

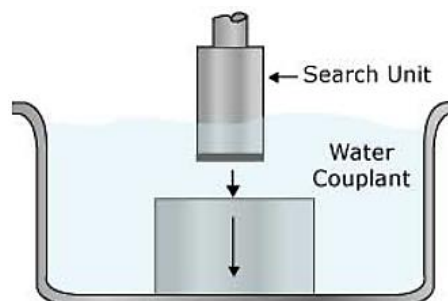


Figura 10. Acoplamiento por inmersión. Fuente. [6]

1.4.5. Métodos de inspección ultrasónica

1.4.5.1. Método de transmisión a través del material

En este método se utiliza, específicamente, dos palpadores para analizar las muestras mediante ensayo ultrasónico. Uno de ellos es conocido como palpador transmisor, mientras que el otro se lo denomina palpador receptor. [7]

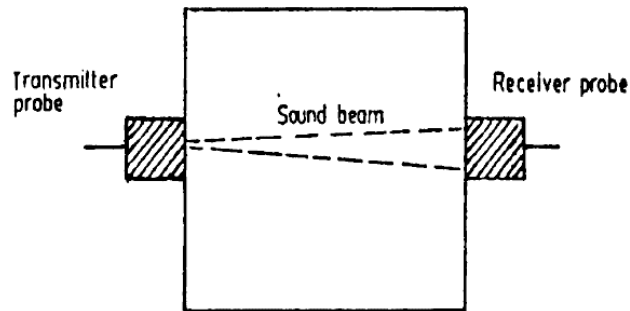


Figura 11. Posicionamiento de palpadores, transmisor y receptor, mediante el método de transmisión a través del material. Fuente [7]

En este método en particular la aparición de un posible defecto y/o discontinuidad interna del material se ve reflejada, dependiendo de su tamaño y orientación, en la pantalla del equipo con una disminución del rango de su señal de amplitud, o a su vez, en la pérdida total de la señal que se traduce, básicamente, en un defecto grave para el material de análisis. En la siguiente figura se podrá observar lo señalado en relación al porcentaje que se genera en la pantalla del equipo, y que, dependiendo del tipo de defecto encontrado en la muestra, este disminuirá en amplitud. [7]

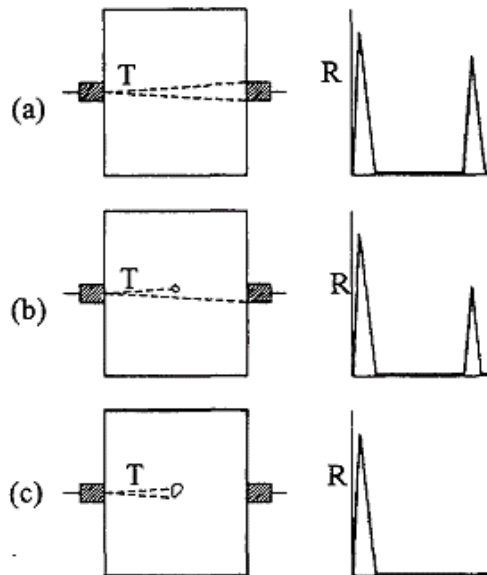


Figura 12. Variación del tamaño de la señal en el método de transmisión a través del material. (a) Muestra sin defectos. (b) Muestra con defecto pequeño. (c) Muestra con defecto amplio. Fuente [7]

Finalmente, es posible indicar que este método es ampliamente utilizado en fundiciones y lingotes de gran tamaño cuando, por efectos de adquisición de este tipo de materiales, surgen defectos graves y se observa alta atenuación. Particularmente este método no genera datos acerca de la localización y el tamaño preciso de los defectos encontrados. Adicionalmente es relevante señalar que los dos palpadores deben estar correctamente alineados en todo el proceso de inspección. [7]

1.4.5.2. Método pulso-eco

Este método, utilizado ampliamente en la industria, es el más representativo para el análisis y detección de defectos y discontinuidades en un procedimiento de inspección ultrasónica. El medio transmisor y receptor se encuentran en el mismo sitio y el análisis se centra en que cuando surge un defecto en el espectro del haz ultrasónico se genera un eco antes de llegar a completar el análisis del espesor del material. Comúnmente el único palpador utilizado para este método actúa como transmisor y receptor de dicho eco. Existen, en el contexto del método pulso-eco, dos maneras de transmisión del haz ultrasónico en el material de análisis; el primer lugar se encuentra la que se transmite de forma perpendicular a la superficie de contacto y en segundo lugar está el haz ultrasónico que posee un ángulo específico de transmisión. Esta última se caracteriza porque tiene un ángulo de barrido que cubre la mayor parte de la zona de fusión del

espesor del material, simplemente la zona que queda libre resulta mínima y no es representativa para cuestiones relacionadas al análisis ultrasónico [7]

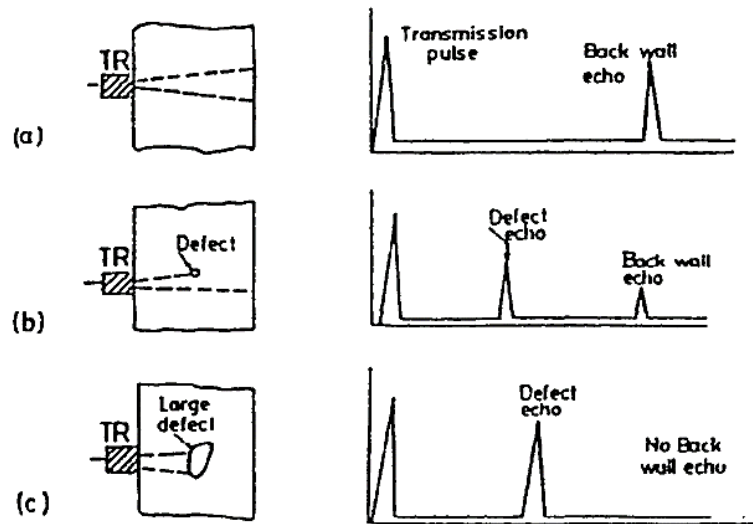


Figura 13. Principio del método pulso-eco en el ensayo por ultrasonido. (a) Muestra sin defectos. (b) Muestra con defecto pequeño. (c) Muestra con defecto amplio. Fuente [7]

En resumen, una buena resolución y calibración del equipo son necesarias, así como generar pulsos pequeños para que la reflexión proveniente de uno de los defectos se encuentre cerca del siguiente y no se pierda en función de su tamaño en relación al primer defecto. Una buena resolución depende, de igual manera, de la generación de una alta frecuencia que denotaría en una disminución del ancho del pulso. Paralelo a ello se puede inferir en el hecho de que el proceso mencionado previamente ayudará a detectar defectos más pequeños ya que existirá un aumento significativo de la sensibilidad del proceso de localización. [7]

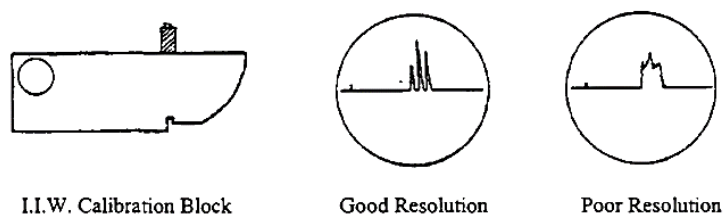


Figura 14. Ejemplo de buena y mala resolución. Fuente [7]

1.4.5.3. Método automático y semiautomático

Un caso especial de los ensayos ultrasónicos comunes es el ensayo semiautomático que básicamente consiste en la adquisición de dispositivos mecánicos o electromecánicos para generar el movimiento de la estructura base acoplada a la

tubería; pudiendo, de igual manera, generar el movimiento del palpador en lo referente a su trayectoria y velocidad. [3]

Una inspección automática o semiautomática es recomendable para analizar elementos con una geometría relativamente sencilla como y que se producen en gran volumen a nivel industria, entre ellas podemos nombrar, por ejemplo, chapas metálicas o tuberías de acero. [3]

En el contexto de las ventajas más representativas de este tipo de sistemas se puede mencionar que existe un acoplamiento entre el palpador y el elemento a inspeccionar que resulta uniforme y por ende posee mayor contacto entre las partes. De igual manera, es posible generar almacenamiento masivo de datos que posibilitan la mejor clasificación y análisis de los posibles defectos y discontinuidades inherentes de las partes analizadas. Otro aspecto importante es la objetividad de los resultados, esto es palpable debido al hecho de que en estos mecanismos se generan dichos datos mediante dispositivos electrónicos y de control que son precisos y poseen gran credibilidad en el manejo de resultados coherentes. [3]

Como se pudo apreciar en el apartado anterior, estos mecanismos poseen grandes ventajas, sin embargo, existen desventajas que es necesario mencionar para comprender el espectro total de lo referente al uso de sistemas semi-automáticos en cuestiones prácticas, ya sea en campo o en un laboratorio de ensayos. Principalmente los inconvenientes vienen dados por la morfología de las piezas y de los costos económicos que resultan de la compra de los dispositivos tanto eléctricos y mecánicos. [3]

En general, los sistemas automáticos y semiautomáticos se encuentran, actualmente, en auge en varias de las industrias más representativas a nivel mundial debido a su adaptabilidad, y otros beneficios, en distintos procesos de producción. Su importancia radica en la poca dependencia por parte del operario y su apreciación subjetiva del proceso que, básicamente, concluye en una mayor precisión proveniente de los elementos electrónicos, eléctricos y mecánicos inherentes de un sistema de esta magnitud. [7]

De forma puntual, el uso de estos sistemas implica, en resumen, los siguientes beneficios.

- Eliminación de errores causados por operarios
- Mayor facilidad de uso a diferencia, por ejemplo, de un proceso de inspección ultrasónica manual
- Reducción de los tiempos de inspección
- Capacidad de procesar y almacenar datos en una base virtual
- Análisis y evaluación mediante el uso de sistemas computarizados [7]

1.4.6. Técnicas de inspección ultrasónica

Los ensayos no destructivos por ultrasonido tienen la capacidad de manejarse mediante dos maneras, entre ellas se encuentran, en primero lugar, las que generan contacto entre el palpador y la muestra y, paralelamente, las que no generan contacto entre las partes y que, en lugar de ello, más bien poseen un medio conductor que comúnmente es agua. Las técnicas por contacto directo generalmente utilizan una delgada lámina que sirve como acoplante. De igual manera, las técnicas que no poseen contacto directo entre las partes tienen un medio conductor que ayuda, de manera significativa, a generar resultados. [7]

Las técnicas de contacto se encuentran subdivididas, a su vez, en tres tipos diferentes. En ellas tenemos la técnica de haz ultrasónico normal, técnica de haz ultrasónico con ángulo y la de onda superficial. La segunda categoría, de igual manera, se subdivide en técnica de inmersión y técnica de acoplamiento mediante aire. [7]

1.4.6.1. Técnica tándem

Existen ocasiones en las que es necesario, en un proceso de conducción del haz ultrasónico de tipo angular, el uso de dos elementos de contactos o palpadores. Uno de ellos será el emisor del eco mientras que el subsecuente será el receptor. El principio de funcionamiento se basa en que el primer transductor emite el haz de ultrasonido y el siguiente es lo recepta en una distancia específica dependiente del ángulo al cuál emite el espectro o pulso de ultrasonido. [7]

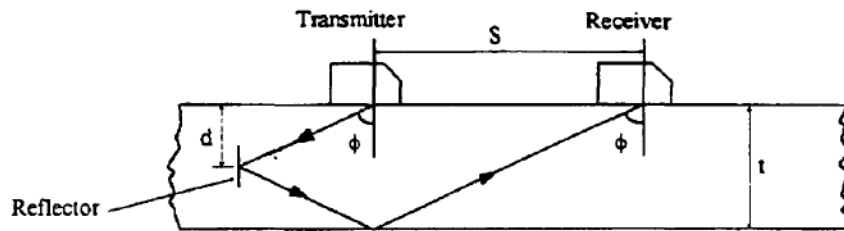


Figura 15. Técnica tándem para inspección por ultrasonido. Fuente [7]

De manera generalizada, en la actualidad, esta técnica está descrita o es realmente útil para la detección de defectos planos; sin embargo, el alcance está limitado a un área recurrente entre el espesor de pared del material y su superficie interna. [8]

El objeto de esta técnica radica en la localización y caracterización de posibles discontinuidades que forman parte de los procesos de fabricación recurrentes. Además, es posible caracterizar las propiedades de un material con ayuda de esta técnica. La distancia entre los dos elementos, transmisor y receptor, es posible calcularla de la siguiente manera. [7]

$$S = 2 (t - d) \tan \Phi$$

Donde:

Φ = ángulo del transductor

t = espesor del material

d = distancia entre la superficie y el punto de discontinuidad

1.4.6.2. Técnica de inmersión

La técnica de inmersión, generalmente, se la utiliza en laboratorios y para instalaciones extensas, que usualmente utilizan métodos automáticos o semi-automáticos de inspección. Entre sus ventajas podemos mencionar la uniformidad en cuanto a la aplicación del acoplante tanto para ondas de tipo transversal como para ondas longitudinales. [7]

En la técnica de inmersión los dos elementos se encuentran sumergidos en el líquido acoplante. El haz de ultrasonido atraviesa por el medio acoplante y sea que se utilice la generación de ondas longitudinales o angulares. En la figura se muestra la técnica de inmersión mediante las técnicas mencionadas previamente. [7]

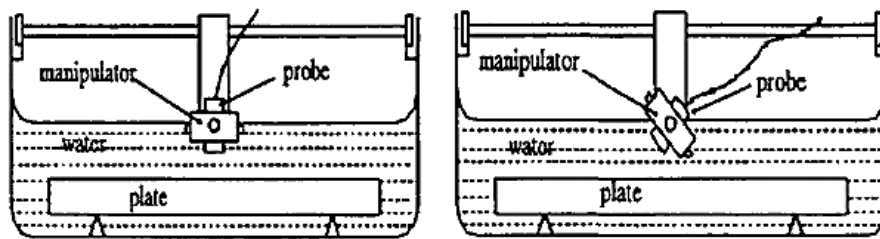


Figura 16. Técnica de inmersión. Fuente [7]

1.4.7. Equipo MITECH MFD 800B

Básicamente, el equipo de ultrasonido MFD 800B es un dispositivo utilizado para la detección de discontinuidades. En general, está conformado por una pantalla LCD con distintos colores y varios parámetros que satisfacen en su totalidad el proceso de inspección de juntas soldadas. De igual manera, tiene la capacidad de almacenar datos y transferirlos, mediante un puerto USB, al computador para su posterior análisis. [9]

Este dispositivo incorpora dentro de sus funciones frecuencias de 15 MHz que permiten hacer uso del equipo con materiales con espesores delgados; además posee varios filtros que son de utilidad en aplicaciones donde existe ruido relativamente alto y donde exista una ganancia extensa; un pulsador para situaciones en donde la frecuencia sea alta y, finalmente, un dispositivo interno que actúa como emisor de ondas que optimiza la penetración en materiales o elementos con altos espesores. [9]

El equipo puede ser utilizado ampliamente para localización de defectos y discontinuidades volumétricas, en piezas forjadas, tuberías, tanques de almacenamiento, turbinas y elementos estructurales. [9]

1.4.7.1. Funciones

- Detección de discontinuidades. Incorpora un detector de discontinuidades que depende significativamente de la industria a la cual estará enfocada la inspección ultrasónica.
- Figura de junta soldada. Configuración de los parámetros de soldadura serán reflejados en la pantalla.
- Posicionamiento de defectos. Observación de defectos en tiempo real, traducidos al monitor del equipo.
- Análisis de cantidad de defectos. Dependerán específicamente de la ganancia, con valores en decibelios (db), predeterminados para la inspección.

- Análisis de calidad de los valores que generan los distintos defectos en una junta soldada.
- Acoplamiento en superficies curvas o con configuración circular.

1.4.7.2. Partes del dispositivo de inspección

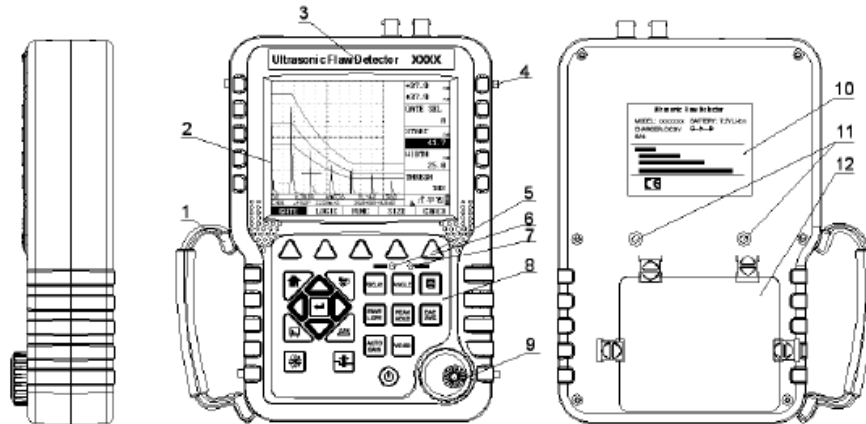












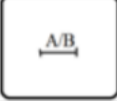





Figura 17. Partes del equipo MFD 800B. Fuente [7]

1. Agarradera
2. Pantalla
3. Marca del dispositivo de inspección
4. Ganchos
5. Teclado del menú principal
6. Led de notificaciones
7. Led de energía
8. Teclado general
9. Elemento giratorio
10. Especificaciones del equipo
11. Soportes
12. Almacenamiento de batería

1.4.7.3. Gráfica de las funciones del equipo

Tabla 1. Funciones básicas del equipo de ultrasonido.

| | | | |
|---|--|--|--|
|  | Encender o apagar el dispositivo |  | Calibración del ángulo |
|  | Modos de visualización |  | Guardar los datos generados |
|  | Retraso del punto cero de la sonda |  | Inicio o pausa de las funciones de autogranancia |
|  | Congelamiento de la pantalla del equipo |  | Desactiva la función encima, pantalla aumentada |
|  | Ampliación del pico de pantalla completa |  | Giro de la función de retención del pico y apagado |
|  | Submenú de ganancia o cambio del valor de db |  | Inicia o detiene la grabación en un segmento de pantalla |
|  | Funciones de la reglilla |  | Menús DAC / AVG |
|  | Selección del rango |  | Confirmación o cambio de la selección actual |

Fuente. [9]

1.4.7.4. Menú básico del equipo MFD 800B

a) Funciones del teclado principal del equipo

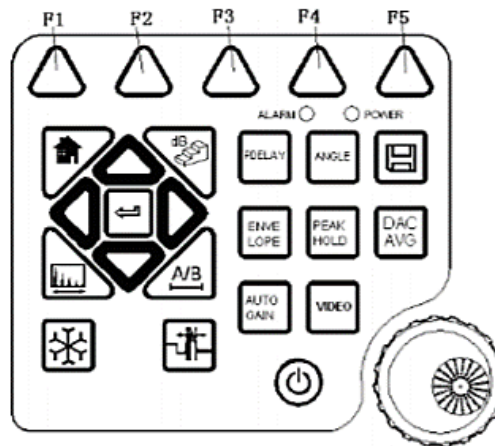


Figura 18. Teclado principal del equipo MFD 800 B. Fuente [9]

El teclado principal del equipo de ultrasonido MFD 800B está diseñado para que el usuario tenga una amplia comprensión de los distintos parámetros que se utilizan para el registro de datos. Como se observa en la gráfica previa existen, en la parte superior, cinco teclas que representan los distintos submenús que se correlacionan con las funciones principales del ensayo. [9]

A continuación, se observará cada uno de los submenús que forman parte importante del ensayo y del proceso inicial de calibración del equipo de ultrasonido.

b) Menú básico

Rango. Este acumulado de funciones básicas del equipo se relacionan al ajuste de lo relativo a la visualización. Esto quiere decir que la pantalla de inicio se ajusta en función del objeto que requiere de inspección. En general, el proceso de calibración requiere de un patrón fijo que dependerá su valor nominal del tipo de material con el cual se está trabajando. Es recomendable que el rango de la pantalla de visualización sea mayor que el estándar. [9]

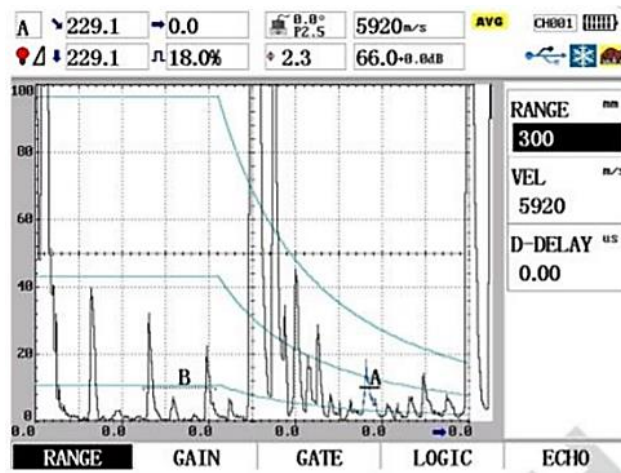


Figura 19. Selección del rango. Fuente. [9]

Ganancia. En términos generales, la ganancia se relaciona a la altura de pantalla A-scan y su aumento o disminución de forma visual. Esta ganancia incluye un parámetro básico y otro denominada como ganancia de corrección. Estos dos valores se pueden observar en la esquina superior derecha de la pantalla y tienen un valor límite de 110 db. [9]

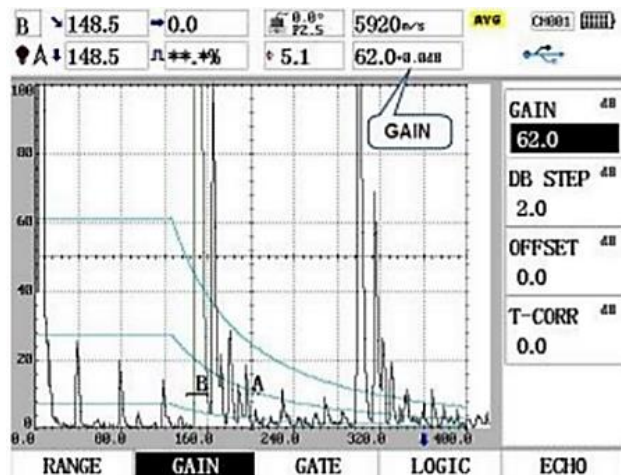


Figura 20. Selección de ganancia. Fuente [9]

Reglilla (Gate). Una reglilla, es este tipo de instrumentos de medición, se utilizan para monitorear un rango que es designado dependiendo del material y el cual se utiliza como referencia para la detección de discontinuidades. Dentro del equipo se encuentran dos reglillas denominada A y B, si en punto llegan a cruzarse entre ambas se utilizará un punto de referencia máximo para la evaluación final. [9]

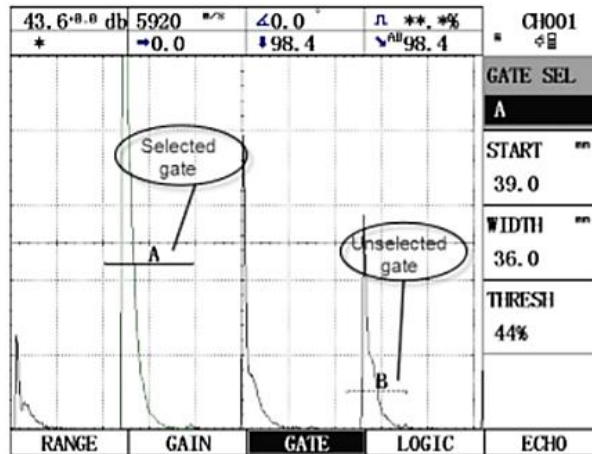


Figura 21. Selección de reglilla. Fuente [9]

1.4.7.5. Menú de calibración del equipo MFD 800B

a) Selección del tipo de sonda

En el proceso de calibración se utiliza un menú para indicar el tipo de sonda que es necesario generar en la inspección y es, en términos básicos, la división entre emisor y receptor. [9]

Longitudinal. Las sondas longitudinales son utilizadas únicamente para transductores de haz ultrasónico recto.

Angular. Su funcionamiento está enfocado para transductores de haz único.

Dual. Son utilizadas en casos donde un doble elemento sea necesario.

A través. Este modo de transmisión mediante dos sondas que parten de un solo elemento. [9]

1.4.7.6. Menú función del equipo MFD 800B

En este menú, específicamente, se establecen los parámetros de la junta soldada que son de gran utilidad al momento de registrar los datos con el equipo de ultrasonido ya que a partir de ellos se observará y se generará de mejor manera el direccionamiento de los posibles defectos y/o discontinuidades. [9]

De forma visual se generará un gráfico en donde estarán ubicados los parámetros inherentes de una junta soldada, es necesario mencionar que previo a ello que cada

parámetro debe ser colocado de manera adecuada para evitar complicaciones al momento de generar, visualmente, el cordón de soldadura. [9]

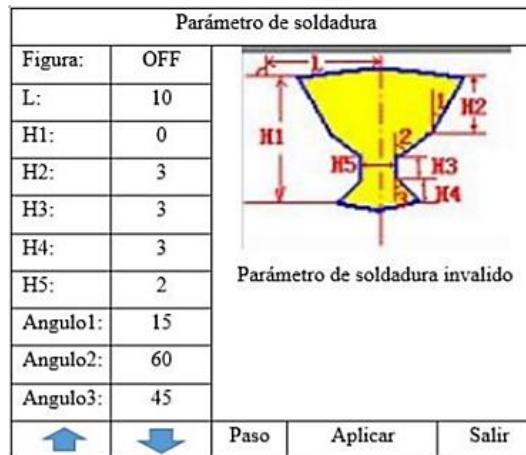


Figura 22. Parámetros de soldadura. Fuente [9]

1.4.8. Métodos de calibración

Los procesos de calibración se encuentran referidos o están relacionados al hecho de evaluar y, paralelamente, realizar un ajuste en lo referente a la precisión de los distintos equipos de medición. En los ensayos por ultrasonido existen varios tipos de métodos de calibración que dependerán de las condiciones de servicio y los requerimientos del elemento a ser evaluado. [10]

En primer lugar, es necesario, en el método por ultrasonido, que el equipo electrónico de inspección se encuentre correctamente calibrado para asegurar todos los requerimientos previos a la inspección en campo. El usuario debe realizar este paso antes de generar la inspección debido a que los parámetros inherentes al equipo van a variar según el material, la técnica y el método de inspección que se esté realizando en ese momento. Estos parámetros inherentes al equipo electrónico de inspección están relacionados, por ejemplo, a la configuración del equipo, el tipo de transductor necesario, la frecuencia, ganancia, velocidad del sonido entre otros. [10]

En una inspección ultrasónica, de igual manera, existe la necesidad de tener un patrón de referencia para generar un criterio mediante un proceso comparativo. Estas referencias son, básicamente, una guía para cuantificar la señal o información recibida por el equipo de ultrasonido. Igualmente, estas referencias generan en el inspector una pauta del tamaño de las fallas que pueden obtenerse en un elemento específico. Por

ejemplo, el método de inspección pulso-eco necesita referencias del tamaño de la discontinuidad y del espacio entre dicha discontinuidad o falla y el transductor. [10]

El inspector de ultrasonido puede utilizar, como se mencionó previamente, una discontinuidad estandarizada artificial como parámetro inicial y con datos y referencias ya establecidas. A partir de ellos con un proceso de comparación se puede estimar las subsecuentes discontinuidades posteriores y en función de este punto base de la inspección por ultrasonido. [10]

Inicialmente la inspección por ultrasonido requiere de un proceso de calibración con muestras ya establecidas para este fin que dependerán, de igual manera, de los factores que se mencionaron previamente. [10]

1.4.8.1. Introducción

El proceso de calibración para ensayos no destructivos posee varios parámetros de referencia, así como varios tamaños y formas en lo relacionado a las muestras iniciales de evaluación. El tipo de muestra utilizado dependerá inicialmente de la aplicabilidad del examen no destructivo y de las características que posee el objeto a ser evaluado. Es necesario que el material de la muestra se encuentre en relación al tipo de material que se requiere inspeccionar para que pueda existir el proceso comparativo adecuado y los parámetros de inspección en el equipo sea los mismos en todo momento. [10]

Estas muestras o bloques de calibración suelen tener superficies y agujeros carentes de defecto lo que no se asemeja a una situación real en las condiciones de servicio del objeto a ser analizado. Esto sugiere que las muestras se mantienen en todo momento como un valor de referencia para generar datos. [10]

1.4.8.2. Bloque de calibración SDH (Side Drilled Hole)

Este bloque de calibración, recomendada por el código ASME en su sección V, es utilizado para calibrar uniones soldadas. Se utiliza para usualmente en métodos de inspección como el TOFD y para corrección de las curvas amplitud-distancia independiente del espesor del elemento. De esta manera es espesor y diámetro de los

orificios se alternan dependiendo del espesor del elemento que se requiera inspeccionar. Generalmente se utiliza con transductores de tipo normal y angular. [11]

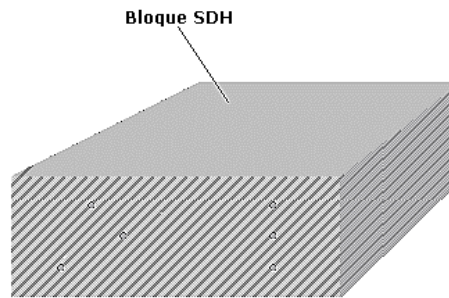


Figura 23. Bloque de calibración SDH. Fuente [11]

1.4.8.3. Bloque de calibración 10W

Conocido como bloque de calibración holandés, este bloque es de acero y posee las siguientes longitudes en su estructura 354 x 100 x 75 mm. Su diseño es específico para palpadores angulares. [11]

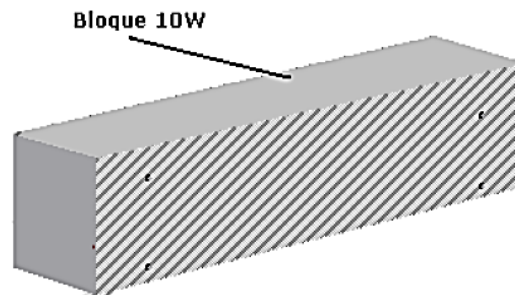


Figura 24. Bloque de calibración 10W. Fuente [11]

1.4.8.4. Bloque de calibración de acero de 25 x 150 x 250

Esta muestra para calibración ultrasónica es utilizada comúnmente para observar el poder de lo relativo a la resolución transversal de algunos palpadores.

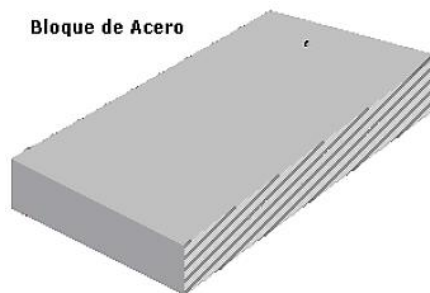


Figura 25. Bloque de calibración de 25 x 150 x 250. Fuente [11]

1.4.8.5. Bloque de calibración IIW V1

Este tipo de bloques de calibración suelen ser los más utilizados, en general, se encuentran de distintos materiales, siendo el más común el de acero. En su estructura se incluye un agujero de 50 mm de diámetro y posee, de igual manera, varias entallas ubicadas en la parte lateral del bloque. En la parte inicial del mismo se observa una forma semicircular que tiene un radio de 100 mm, con todo ello se puede analizar la respectiva calibración de los elementos que forman parte del equipo de ultrasonido mediante el uso de transductores. [11]

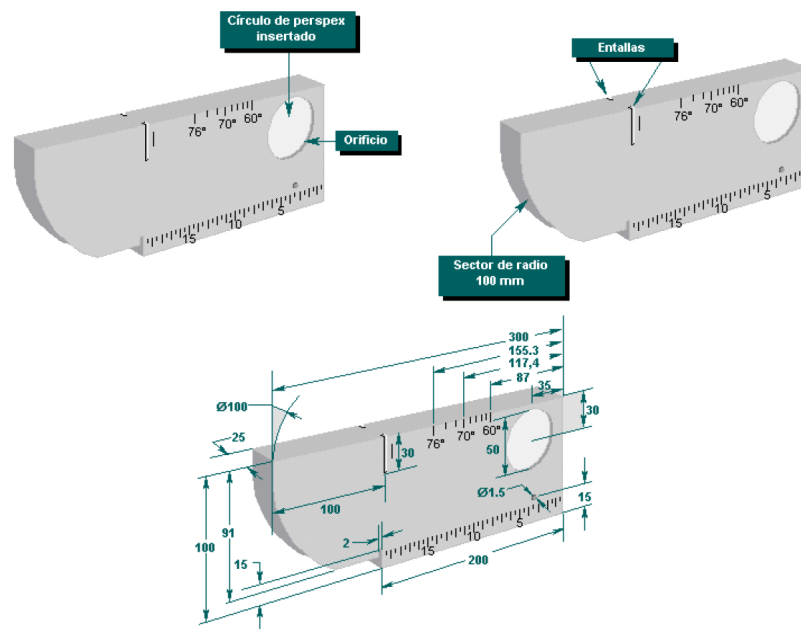


Figura 26. Bloque de calibración IIW V1. Fuente [11]

El tipo de palpadores utilizables con este tipo de bloques de calibración son los siguientes.

- Calibración con palpadores normal y angular
- Calibración con palpadores vertical y horizontal
- Comprobación del valor del ángulo en palpadores de tipo angular
- Comprobación de la resolución longitudinal
- Comprobación de la penetración máxima del palpador

1.4.8.6. Bloque de calibración IIW V2

De la misma manera que el bloque de calibración V1, este tipo de muestras pueden ser de acero o de cualquier material. Su uso se fundamenta principalmente con transductores de tipo angular con dimensiones que sobrepasen los 8 x 9 mm. [11]

Permite, de igual manera, la comprobación del ángulo de haz de ultrasonido del transductor, al igual que lo realiza el bloque de calibración V1. Una diferencia entre ambas muestras es que, por ejemplo, este bloque carece de entallas laterales. [11]

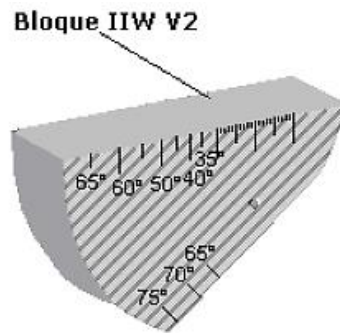


Figura 27. Bloque de calibración IIW V2. Fuente [11]

1.4.8.7. Bloque de calibración ASTM

Los bloques generados por la ASTM tienen una combinación de calibración que consiste en área-amplitud y paralelo a ello una de distancia-amplitud, que se registran según la normativa ASTM E-127. Su forma es cilíndrica y el material del que están hechos es de aluminio o acero, se caracterizan por poseer en su estructura un agujero en el centro de cada una de sus bases. Cada uno de estos bloques se identifican con dos números; uno de ellos relativo al diámetro del agujero y el otro en relación a la distancia que existe entre su superficie externa y el agujero, es decir, la distancia que recorre el haz de ultrasonido. [11]

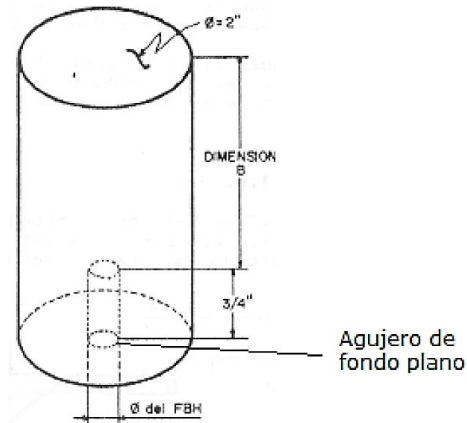


Figura 28. Bloque de calibración ASTM. Fuente [11]

1.4.8.8. Otros bloques de calibración

Este grupo de muestras se encuentra enlazado a las características geométricas del elemento que se va a analizar en la inspección por ultrasonido, ya que estructuralmente tienen una forma semejante. En general, poseen discontinuidades que simulación una situación en la que, posiblemente, se encuentre la pieza a inspeccionar. [11]

Estos bloques de calibración inducen a la probabilidad de construir casos puntuales de inspección en función de las necesidades o las condiciones de servicio a las cuales se encuentra expuesto el elemento. Por eso existe una mayor confiabilidad en la generación de resultados al final de la inspección. En la siguiente figura se observa un bloque de inspección para piezas que pueden ser forjadas y huecas, en este elemento se observan de igual manera, entallas tanto internas como externas. [11]

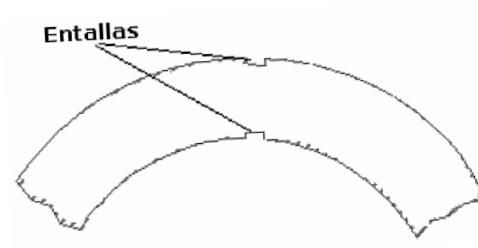


Figura 29. Bloque de calibración para elementos forjados. Fuente [11]

1.4.8.9. Bloque de calibración escalonado

Posee un diseño en forma de escalera, su función se encuentra estrechamente relacionada a palpadores normales, específicamente para transductores que son utilizados en medición de espesores. Sus dimensiones son variadas y dependen de la aplicación del elemento a inspeccionar. [11]

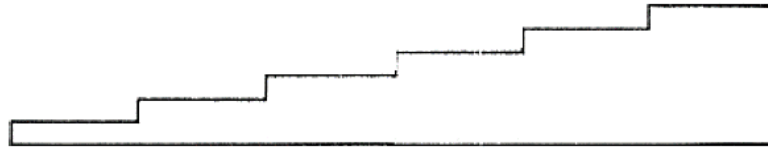


Figura 30. Bloque de calibración escalonado. Fuente [11]

1.4.8.10. Bloque de calibración según API

Esta institución internacional (API – American Petroleum Institute) genera un espectro de discontinuidades creadas a partir del mismo material de referencia para la inspección. Esto busca crear un patrón de inspección referente que ayude a generar resultados con mayor confiabilidad y estabilidad. [11]

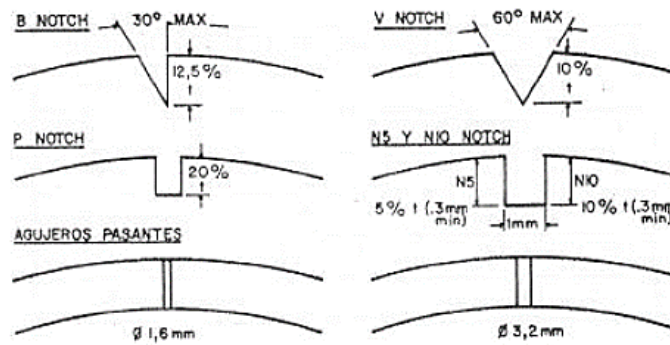


Figura 31. Bloque de calibración API. Fuente [11]

1.4.9. Materiales de construcción

1.4.9.1. Acrílico

Existen varios tipos de materiales de ingeniería termoplásticos que poseen características idóneas para aplicaciones específicas. Estos materiales son altamente utilizados a nivel mundial debido a sus excelentes propiedades térmicas, eléctricas, químicas y, sobre todo, mecánicas. Básicamente estos materiales resisten altas temperaturas de funcionamiento ya que no se ven afectados en su estructura interna, además, al igual que el acero u otro material contenido de hierro, sus propiedades

mecánicas son útiles en mecanismos donde sea necesario un, relativamente, alto nivel de esfuerzo y un bajo peso total. [12]

Su estructura interna puede modificarse para que sus propiedades sean semejantes a materiales como el acero, la madera, metales o cerámicos. Con esto se genera reducción de varios parámetros como los costos de obtención del material y el peso, ya que estos materiales, en especial el acrílico, tiene un peso relativamente bajo en comparación con los otros materiales mencionados previamente. En ingeniería, el acrílico, es considerado un material termoplástico amorfo e incluye otros materiales como policarbonatos y poliuretanos. [12]

Tabla 2. Propiedades del acrílico.

| Propiedades | Unidades | Acrílico |
|--|-----------------|-----------------|
| Densidad | gr/cc | 1.19 |
| Transmisión de luz | % | 92 |
| Índice de refracción | - | 1.48 |
| Temperatura de transmisión | °C | 95-106 |
| Temperatura de deflexión térmica (HDT – 1.8 MPa o 264 psi) | °C | 75-105 |
| Punto de derretimiento | °C | 125 |
| Límite de resistencia | MPa | 62 |
| Porcentaje de elongación | % | 4 |
| Módulo de elasticidad | GPa | 3.5 |
| Resistencia al impacto | J/m | 190 |

Fuente. [12]

1.4.9.2. Acero al carbono

El acero al carbono, básicamente, es una aleación que proviene de la unión del hierro con el carbono; el cual, estructuralmente, contiene un porcentaje de carbono que no excede el 2.1%. El acero al carbono contiene elementos de aleación en menor porcentaje como, por ejemplo, silicio, manganeso y cobre que no exceden el 1.5, 0.6, y 0.6 por ciento, respectivamente. [13]

Visualmente, se observa, por ejemplo, en el diagrama hierro-carbono, los límites máximos y mínimo del acero y el hierro fundido, así como sus distintas etapas y

microestructuras que aparecen en función del cambio de temperatura que se registre para su obtención. [13]

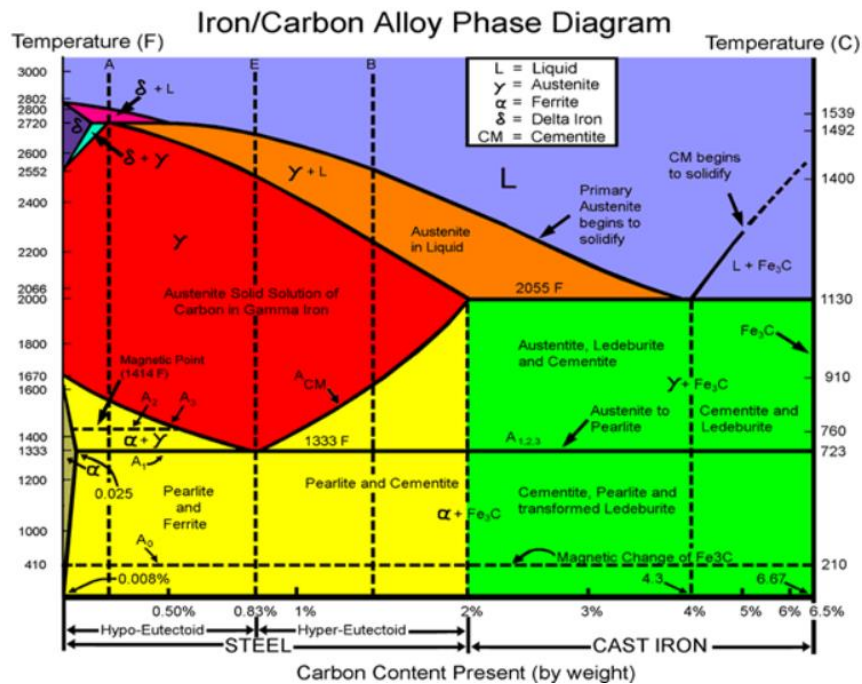


Figura 32. Diagrama hierro-carbono. Fuente [11]

Este material, a su vez, posee una división que está relacionada al porcentaje de carbono que se encuentra en su estructura. Está categorizado como acero al carbono alto, medio y bajo y cada uno de ellos, con sus porcentajes de carbono distintos, posee variadas características, propiedades y aplicaciones. [13]

Tabla 3. Clases de acero al carbono.

| Clases de acero | Contenido de carbono (%) | Microestructura | Propiedades | Normativa |
|-----------------|--------------------------|------------------|---|------------------------------------|
| Bajo carbono | <0.25 | Ferrita, perlita | Baja dureza y costo Alta ductilidad, maquinabilidad y soldabilidad | AISI 304 ASTM A815 AISI 316L |
| Medio carbono | 0.25 – 0.60 | Martensita | Baja templabilidad Media resistencia, ductilidad, tenacidad | AISI 409 ASTM A29 SCM 435 |
| Alto carbono | 0.60 – 1.25 | Perlita | Alta dureza, resistencia Baja ductilidad | AISI 440C EN 10088-3 |

Fuente. [13]

Dentro de las aplicaciones más representativas se encuentran las siguientes.

Bajo carbono. Usualmente se utilizan en automóviles y sus componentes, perfiles estructurales, tuberías de presión y de uso industrial y en puentes de uso múltiple. [13]

Medio carbono. Debido a sus propiedades inherentes son utilizados en aplicaciones como rieles, ruedas de trenes, cigüeñales de automóviles, de igual manera, es útil para generar engranajes. [13]

Alto carbono. Al tener una gran dureza por su alto porcentaje de carbono se utiliza principalmente en herramientas de corte y resortes. [13]

Tabla 4. Propiedades del acero.

| Clases de acero | AISI / ASTM | Porcentaje de carbono | Límite de resistencia (MPa) | Límite de fluencia (MPa) | Porcentaje de elongación | Aplicaciones |
|-----------------|---------------|-----------------------|-----------------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| Bajo | 1010 | 0.10 | 325 | 180 | 28 | Automóviles, paneles |
| Bajo | 1020 | 0.20 | 380 | 205 | 25 | Tuberías, estructuras |
| Bajo | A36 | 0.29 | 400 | 220 | 23 | Estructuras |
| Bajo | A516 Grado 70 | 0.31 | 485 | 260 | 21 | Recipientes a presión |
| Medio | 1030 | 0.27 – 0.34 | 460 | 325 | 12 | Ejes, engranajes, tornillos |
| Medio | 1040 | 0.37 – 0.44 | 620 | 415 | 25 | Cigüeñales |
| Alto | 1080 | 0.75 – 0.88 | 924 | 440 | 12 | Cables |
| Alto | 1095 | 0.90 – 1.04 | 665 | 380 | 10 | Herramientas de corte |

Fuente. [13]

1.4.10. Presentación de datos

1.4.10.1. A – scan

Básicamente podemos mencionar que todos los instrumentos de ultrasonido registran los datos de los distintos tipos de defectos y/o discontinuidades mediante un eco, este a su vez posee dos parámetros relevantes e indispensables para su aplicación y en general para la comprensión de los distintos métodos de ultrasonido existentes. [14]

En primero lugar mencionaremos a la amplitud que, puntualmente, resulta ser el tamaño del eco, esto dentro del contexto del ensayo y relativo al equipo utilizado, en el eje vertical; paralelamente, y en correlación a la amplitud, se encuentra el tiempo que está enlazado al eje horizontal y ocurre respecto a un punto inicial cero. De igual manera, todos los parámetros mencionados previamente se encuentran correlacionados con la velocidad del sonido dependiente del material a inspeccionar. [14]

En general, el lapso del tiempo en cual transcurre el palpador está relacionado con la distancia a la cual están dispuestas las discontinuidades y puede analizarse mediante la siguiente fórmula.

$$d = v \times t$$

Donde:

d = distancia desde la superficie del elemento hacia la discontinuidad

v = velocidad del sonido dependiente del material

t = tiempo transcurrido en el área de análisis

La manera más básica del análisis por ultrasonido es la de tipo A-scan que es conocida por la forma de onda que trasmite mediante un eco y su amplitud y tiempo respectivamente en los ejes mencionados previamente. A continuación, se observará un ejemplo de la forma de cómo se generan los ecos en un equipo convencional de ultrasonido en los distintos defectos y/o discontinuidades. Este método en particular induce a la observación de las ondas y el cambio de las mismas con la aparición de discontinuidades que, dependientes del tamaño, variaran en su forma y dimensión con respecto a una barra horizontal que indica el limitante de las ondas. En el caso, respecto al método A-scan, que sobrepase la barra en cuestión se observará como varía las ondas en forma y tamaño. [14]

En la Figura 1 se observa el transductor en el punto cero antes de realizar el movimiento. Como se puede analizar las ondas no poseen ninguna variación en función del tiempo y se encuentra debajo de la barra horizontal previamente calibrada con sus parámetros inherentes. [14]

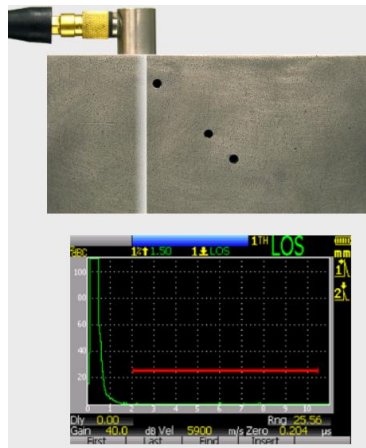


Figura 33. Punto inicial, A. Fuente. [14]

En la Figura 2 el transductor inició su movimiento y el eco captó un agujero. Se observa en la pantalla que la onda cambió drásticamente su dimensión y sobrepasó claramente la barra horizontal, esto sugiere la aparición de una discontinuidad. Esto ocurrirá en los siguientes agujeros ya que podemos inducir que poseen rasgos similares. Se debe considerar que existe una relativa igualdad en las características de la onda para los siguientes agujeros; sin embargo, cabe mencionar que es la distancia el único elemento que tendrá una variación ya que es dependiente de la profundidad a la que se encuentran dichos orificios. En general, es el equipo el cual indica esta distancia en la pantalla. [14]

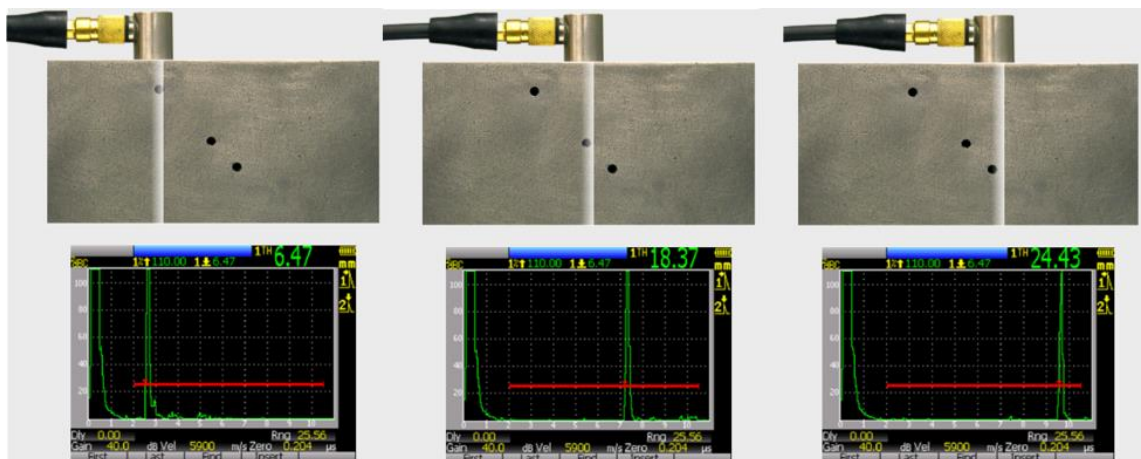


Figura 34. Recorrido del transductor, A - scan. Fuente. [14]

1.4.10.2. B – scan

Este método de inspección ultrasónica presenta ventajas en comparación, por ejemplo, con el método A-scan. Aquí se mantiene, en el proceso de inspección, todo lo referente

a la geometría y la continuidad de las partes a analizar; mientras que el método A-scan proporciona una parte o en sí genera un registro de los defectos encontrados puntualmente mediante ondas. El espectro que se encuentra en B-scan está relacionado a la continuidad y a una divergencia de patrones (colores) ligado a la aparición de un defecto y/o discontinuidad encontrados. [15]

En general, este método es utilizado para defectos de tipo convencional y, paralelamente, para medir espesores de corrosión en placas. Todo el ensayo se encuentra en función del tiempo o la profundidad que, a su vez, está relacionado a la posición o distancia de escaneo del transductor de forma lineal. [15]

Esto permite la correspondencia del ensayo con el análisis de discontinuidades en función del espesor y la distancia proporcional al tiempo de áreas que resultan específicas. Todo el movimiento se puede generar, tanto en ensayos de tipo manual como automático, mediante el uso de elementos electromecánicos que son conocidos comercialmente como codificadores. Puntualmente se puede deducir que el método y los equipo que utilizan B-scan registran los datos respecto a un patrón característico y a la continuidad de la placa. A continuación, se observará un ejemplo del método de inspección ultrasónica. [15]

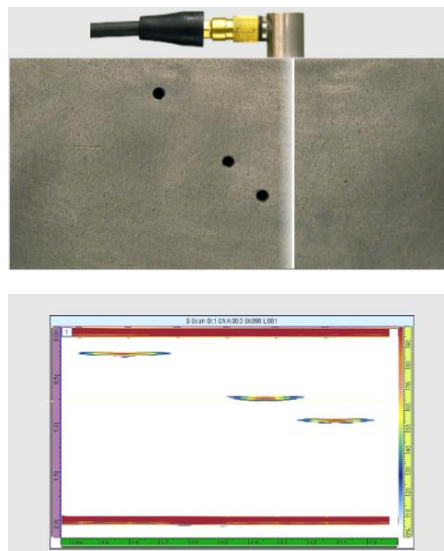


Figura 35. Presentación de un sistema B - scan. Fuente. [15]

Al analizar la presente ilustración se observa, como se menciona en el apartado anterior, que el transductor recorrió, de forma lineal, la placa de análisis. El espectro o

cambio en los colores y por lo tanto en la continuidad de la placa es apreciables durante todo el movimiento, generando, de esta manera, datos de alta credibilidad que se encuentran a una distancia específica y son apreciables en la pantalla del equipo utilizado. A partir de ello, y basándose en normas específicas, se generará los respectivos criterios de aceptación o rechazo del elemento de estudio. [15]

1.4.10.3. C – scan

El presente método, básicamente, genera un movimiento en un plano del elemento a inspeccionar. En general, se utiliza sistemas de tipo automático para realizar el movimiento por toda la superficie. El proceso de censado, por parte del equipo, se realiza a intervalos de tiempo que son regulares y es producido mediante una señal con una amplitud específica; subsecuentemente a este asunto existe un movimiento del transductor por toda la superficie. La amplitud es, particularmente, representada, ya sea mediante colores o por una escala de grises que provén una imagen o resultado final con características particulares y que irán en función del tamaño de los posibles defectos y/o discontinuidades encontrados. [16]

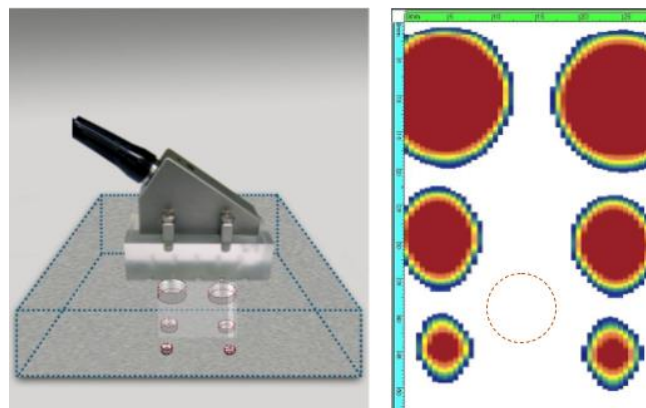


Figura 36. Esquema de inspección mediante C - scan. Fuente [16]

La ilustración relativa a este método está representada mediante colores que son característicos de la aparición de discontinuidades en un elemento. El transductor genera un movimiento lineal para encontrar los posibles defectos inherentes al elemento en cuestión. [16]

En general, los tres métodos de inspección analizados utilizan una generación de datos que es característica, por ejemplo, la representación mediante ondas o un patrón de colores que están enlazados a parámetros como el tiempo, la profundidad o el espesor

de la placa de estudio. Su funcionalidad y elección dependerá del tipo de elemento que se vaya inspeccionar y de los recursos a los cuales se encuentra expuesto el personal que necesite realizar un análisis por ultrasonido mediante cualquier de los tres métodos más representativos de la inspección ultrasónica. [17]

Particularmente, la cuestión de calibración y de noción, por ejemplo, de la velocidad del sonido y de ciertos parámetros del equipo son altamente importantes ya que una buena práctica inicial converge en el hecho de concepción de datos con alta credibilidad que serán posteriormente analizados en función de ciertas normas dependientes de la caracterización del material. Particularmente, la figura muestra una idea generalizada de los tres métodos de inspección y de los distintos elementos que son influyentes para el análisis. [17]

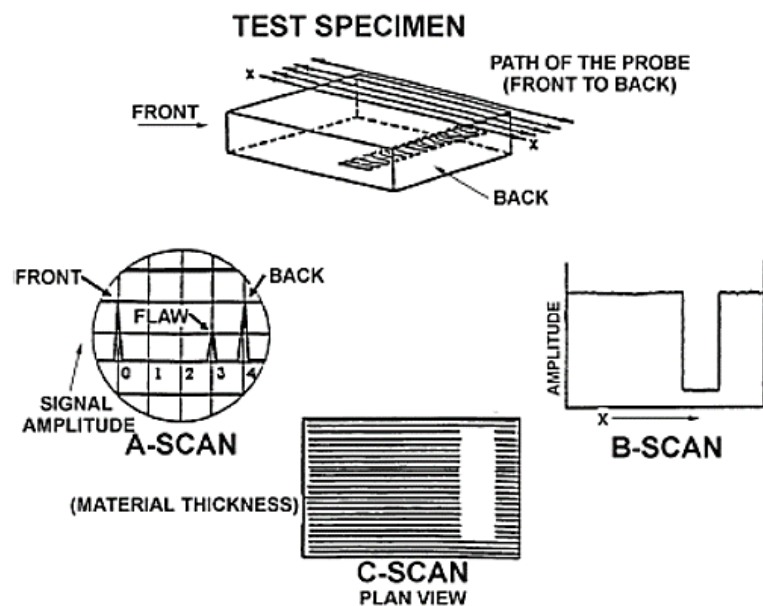


Figura 37. Esquemas A-scan, B-scan, C-scan. Fuente [17]

1.4.10.4. Phased array

En general, este proceso de inspección ultrasónica consiste, principalmente, en el uso de elementos individuales que serán controlados mediante un dispositivo electrónico de control de movimiento. Esto sugiere que en el ensayo se podrá controlar ciertos parámetros como la velocidad y el número de veces a la cual se mueva el transductor en una posición específica, paralelamente el ensayo es contundente con el proceso de barrido y escaneado sobre el elemento a inspeccionar. [18]

A continuación, se observa el proceso de trabajo de este tipo de inspección por ultrasonido; se observará, de igual manera, que dentro del ensayo generalizado existen ciertas formas de analizar las juntas soldada, podemos encontrar escaneo electrónico, sectorial y finalmente un escaneo con enfoque de profundidad. [18]

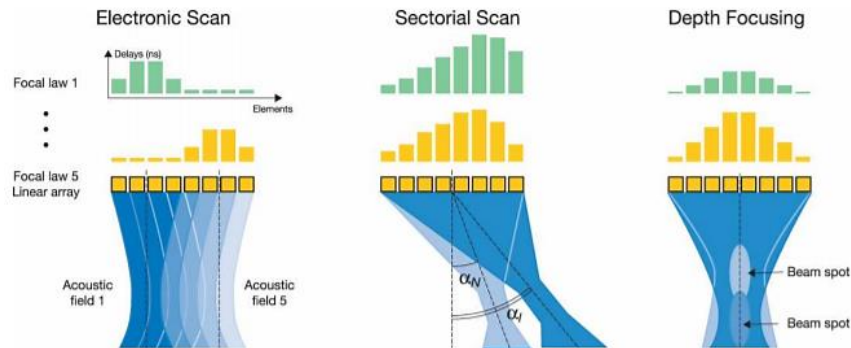


Figura 38. Esquemas de presentación Phased array. Fuente [18]

a) Escaneo electrónico o E – scan

Este método relativo a Phased Array genera una multiplexación, consiste básicamente en una matriz generada a través de un material piezoeléctrico que tiene hasta 128 elementos o pulsos simultáneos que se organizan en subgrupos de 8 a 16. Este tipo de escaneo permite una cobertura estrecha del área de análisis y suelen ser relativamente fáciles de programar. Típicamente se utiliza transductores que se caracterizan por tener un pulso de salida con un ángulo de 45° o 60°. [18]

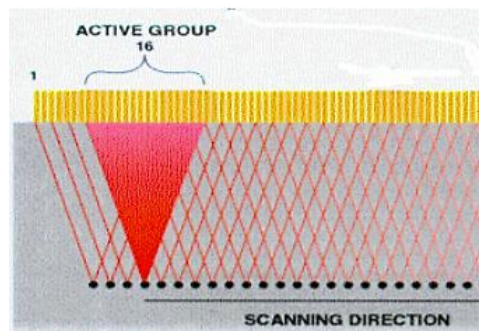


Figura 39. Esquema E - scan. Fuente [18]

b) Escaneo sectorial o S – scan

Un escaneo sectorial adquiere, básicamente, el mismo principio que el escaneo electrónico, sin embargo, la diferencia radica en el tiempo en el cual se genera cada pulso, esto, a su vez, produce una serie de ángulos distintos en el área de inspección. Sus aplicaciones se encuentran enfocadas a elementos que requieran de matrices

estacionarias para su respectivo análisis, entre ellas podemos mencionar, por ejemplo, el álabe de una turbina o de forma generalizada se utiliza este método para analizar defectos o examinar características de un elemento. Dependiendo del espaciado entre elementos se utiliza ángulos de barrido que oscilan entre $\pm 20^\circ$ y $\pm 80^\circ$. [18]

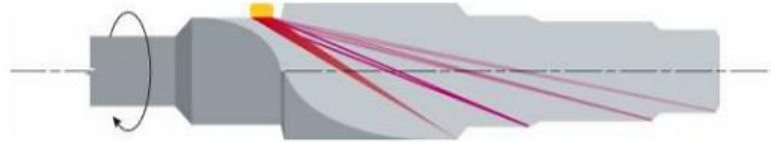


Figura 40. Esquema S - scan. Fuente [18]

c) Aplicaciones Phased array

De forma generalizada sus aplicaciones dependerán del tipo de elemento a realizar, en general este ensayo se utiliza comúnmente en la industria aeroespacial, nuclear, acerías, plantas petroquímicas, construcción y análisis de tuberías, etc. Es preciso mencionar que su utilización se fundamenta en las ventajas que se detallan a continuación. [18]

- **Velocidad.** El escaneo de las piezas a examinar se lo realiza de manera mucho más rápida y precisa que con la utilización manual del transductor.
- **Flexibilidad.** Las configuraciones, en el contexto de flexibilidad, puede tener un cambio inmediato que sea adaptable a cierta necesidad dependientes del inspector y de la situación y el espacio en el cual se encuentra. Además, sugiere, en el tema de dimensionamiento, que existirá un mejor manejo en el espacio a utilizar al momento de realizar el ensayo.
- **Ángulos de inspección.** Varios son los ángulos del transductor que se pueden utilizar, esto dependerá del tipo de elemento base al cual se va a realizar la inspección.
- **Paso pequeño.** Matrices más pequeñas da una mejor percepción de las discontinuidades o defectos encontrados. Esto se debe a que su área de trabajo puede llegar a inspeccionar espacios restringidos o limitados. [18]

1.4.11. Impedancia acústica

Este término, importante en el contexto de inspección ultrasónica, está enfocado en la forma en que se transmite la energía entre dos materiales distintos. Principalmente se

caracteriza por el hecho de que parte de la energía es transmitida al segundo medio y parte es reflejada. Básicamente su principal característica viene dada por la cantidad de reflexión y transmisión de las ondas ultrasónicas en los límites de los dos materiales que forman parte del proceso de inspección. [19]

La impedancia acústica puede ser igual para dos materiales, este caso relativamente especial tiene como resultado la falta de reflexión entre las partes involucradas. Sin embargo, si la impedancia acústica entre los materiales difiere de forma significativa habrá una reflexión relativamente completa. Este es el principio utilizado en la inspección ultrasónica y es relevante para calcular la energía reflejada y transmitida mediante el criterio de impedancia acústica; de igual manera esto genera ayuda en la correcta selección de materiales en dónde se analiza la correcta transferencia de energía entre las partes para sistemas básicos y complejos de inspección por ultrasonido. [19]

La impedancia acústica (Z_1), está definida por el producto de la velocidad de onda longitudinal (V_1) y la densidad del material (ρ), como se muestra continuación. De igual manera, es posible ilustrar valores de impedancia acústica de ciertos materiales, tanto metales como no metales, en la siguiente tabla. [19]

$$Z_1 = \rho V_1$$

| Material | Density (ρ), kg/m ³ | Sonic velocities, m/s | | | Acoustic impedance (Z_1)(d), MRayl |
|--|---------------------------------------|-----------------------|-----------|-----------|--|
| | | V_1 (a) | V_1 (b) | V_1 (c) | |
| Ferrous metals | | | | | |
| Carbon steel, annealed | 7850 | 5940 | 3240 | 3000 | 46.6 |
| Alloy steel | | | | | |
| Annealed | 7860 | 5950 | 3260 | 3000 | 46.8 |
| Hardened | 7800 | 5900 | 3230 | ... | 46.0 |
| Cast iron | 6950–7350 | 3500–5600 | 2200–3200 | ... | 25–40 |
| 52100 steel | | | | | |
| Annealed | 7830 | 5990 | 3270 | ... | 46.9 |
| Hardened | 7800 | 5890 | 3200 | ... | 46.0 |
| D6 tool steel | | | | | |
| Annealed | 7700 | 6140 | 3310 | ... | 47.0 |
| Hardened | 7700 | 6010 | 3220 | ... | 46.0 |
| Stainless steels | | | | | |
| Type 302 | 7900 | 5660 | 3120 | 3120 | 44.7 |
| Type 304L | 7900 | 5640 | 3070 | ... | 44.6 |
| Type 347 | 7910 | 5740 | 3100 | 2800 | 45.4 |
| Type 410 | 7670 | 5390 | 2990 | 2160 | 41.3 |
| Type 430 | 7700 | 6010 | 3360 | ... | 46.3 |
| Nonferrous metals | | | | | |
| Aluminum 1100-O | 2710 | 6350 | 3100 | 2900 | 17.2 |
| Aluminum alloy 2117-T4 | 2800 | 6250 | 3100 | 2790 | 17.5 |
| Beryllium | 1850 | 12800 | 8710 | 7870 | 23.7 |
| Copper 110 | 8900 | 4700 | 2260 | 1930 | 41.8 |
| Copper alloys | | | | | |
| 260 (cartridge brass, 70%) | 8530 | 3830 | 2050 | 1860 | 32.7 |
| 464 to 467 (naval brass) | 8410 | 4430 | 2120 | 1950 | 37.3 |
| 510 (phosphor bronze, 5% A) | 8860 | 3530 | 2230 | 2010 | 31.2 |
| 752 (nickel silver 65-18) | 8750 | 4620 | 2320 | 1690 | 40.4 |
| Lead | | | | | |
| Pure | 11340 | 2160 | 700 | 640 | 24.5 |
| Hard (94Pb-6Sb) | 10880 | 2160 | 800 | 730 | 23.5 |
| Magnesium alloy M1A | 1760 | 5740 | 3100 | 2870 | 10.1 |
| Mercury, liquid | 13550 | 1450 | ... | ... | 19.5 |
| Molybdenum | 10200 | 6250 | 3350 | 3110 | 63.8 |
| Nickel | | | | | |
| Pure | 8800 | 5630 | 2960 | 2640 | 4.95 |
| Inconel | 8500 | 5820 | 3020 | 2790 | 4.95 |
| Inconel X-750 | 8300 | 5940 | 3120 | ... | 4.93 |
| Monel | 8830 | 5350 | 2720 | 2460 | 4.72 |
| Titanium, commercially pure | 4500 | 6100 | 3120 | 2790 | 2.75 |
| Tungsten | 19250 | 5180 | 2870 | 2650 | 9.98 |
| Nonmetals | | | | | |
| Air(e) | 1.29 | 331 | ... | ... | 0.0004 |
| Ethylene glycol | 1110 | 1660 | ... | ... | 1.8 |
| Glass | | | | | |
| Plate | 2500 | 5770 | 3430 | 3140 | 14.4 |
| Pyrex | 2230 | 5570 | 3440 | 3130 | 12.4 |
| Glycerin | 1260 | 1920 | ... | ... | 2.4 |
| Oil | | | | | |
| Machine (SAE 20) | 870 | 1740 | ... | ... | 1.50 |
| Transformer | 920 | 1380 | ... | ... | 1.27 |
| Paraffin wax | 900 | 2200 | ... | ... | 2.0 |
| Plastics | | | | | |
| Methylmethacrylate (Lucite, Plexiglas) | 1180 | 2670 | 1120 | 1130 | 3.2 |
| Polyamide (nylon) | 1000–1200 | 1800–2200 | ... | ... | 1.8–2.7 |
| Polytetrafluoroethylene (Teflon) | 2200 | 1350 | ... | ... | 3.0 |
| Quartz, natural | 2650 | 5730 | ... | ... | 15.2 |
| Rubber, vulcanized | 1100–1600 | 2300 | ... | ... | 2.5–3.7 |
| Tungsten carbide | 10000–15000 | 6660 | 3980 | ... | 67.0–99.0 |
| Water | | | | | |
| Liquid(f) | 1000 | 1490 | ... | ... | 1.49 |
| Ice(g) | 900 | 3980 | 1990 | ... | 3.6 |

(a) Longitudinal (compression) waves. (b) Transverse (shear) waves. (c) Surface waves. (d) For longitudinal waves $Z_1 = \rho V_1$. (e) At standard temperature and pressure. (f) At 4 °C (39 °F). (g) At 0 °C (32 °F)

Figura 41. Propiedades de materiales para ensayo ultrasónico. Fuente [19]

El porcentaje de energía que se transmite entre los dos materiales depende de la impedancia de cada uno de ellos, el mismo es conocido como relación de impedancia acústica y está generado por la siguiente fórmula Z_2/Z_1 , que a su vez está en concordancia con un ángulo de incidencia. Por ejemplo, si este ángulo es cero se genera incidencia normal de la onda ultrasónica. El coeficiente de reflexión mencionado previamente se lo denomina R y se relaciona, de igual manera, con la intensidad del haz reflejado I_r y la incidencia del haz I_i , y viene dado por la siguiente fórmula. [19]

$$R = I_r/I_i = [(Z_2-Z_1)/(Z_2+Z_1)]^2 = [(r-1)/(r+1)]^2$$

Dónde:

Z_1 = Impedancia acústica del primer material

Z_2 = Impedancia acústica del segundo material

$r = Z_2/Z_1$ = Relación de impedancia acústica

Un término importante en convergencia con lo planteado previamente es el denominado coeficiente de transmisión (T), el cual se lo calcula mediante la aplicación de la siguiente fórmula. [19]

$$R + T = 100\%$$

Esto quiere decir, que ya sea que la energía analizada para el ensayo por ultrasonido sea mediante reflexión o transmisión, la misma se obtiene al aplicar la fórmula anterior debido a que el porcentaje de transmisión se complementa con el porcentaje de reflexión hasta obtener el 100% que, básicamente, es la energía total necesaria para realizar un proceso de transmisión y reflexión. [19]

En un contexto distinto, es posible calcular el coeficiente de transmisión de energía mediante el uso de la intensidad del haz reflejado I_r y la incidencia del haz I_i como se muestra a continuación. [19]

$$T = I_r/I_i = 4Z_2Z_1/(Z_2+Z_1)^2 = 4r/(r+1)^2$$

1.4.12. Proceso de reflexión ultrasónica

En general el proceso de ultrasonido y, específicamente, el haz ultrasónico tiene propiedades equivalentes a las de la luz. Un criterio puntual y objetivos es que cuando el haz de ultrasonido irrumpe sobre una superficie, y la misma posee, internamente, un elemento que interrumpe el paso del haz, este se reflejara a partir del mismo con una dirección y ángulo específicos. [20]

Básicamente, el ángulo que refleja el haz de ultrasonido es igual al ángulo de incidencia. Por ejemplo, si el ángulo de incidencia es normal a la superficie, el ángulo reflejado también lo será. Asimismo, si el ángulo incidente en la superficie tiene un ángulo predeterminado la reflexión del mismo tendrá el mismo valor del ángulo de incidencia. [20]

1.4.13. Proceso de refracción ultrasónica

La refracción se genera mediante el paso del haz ultrasónico de un medio hacia otro, pero, particularmente, con distinta velocidad; además con un ángulo de incidencia que no debe ser normal respecto a la superficie que separa los dos materiales. Este fenómeno, en los ensayos ultrasónicos, es conocido como refracción. Todo este proceso tiene una connotación matemática que se enfoca directamente a la aplicación de la Ley de Snell y puede ser vista, de igual manera, en la inclusión del proceso de reflexión del haz ultrasónico. [20]

1.4.14. Relación entre reflexión y refracción

La Ley de Snell induce a la comprensión del comportamiento de las ondas ultrasónicas y sugiere que la relación existente entre el seno del ángulo de incidencia y el de reflexión o refracción están en equivalencia a las velocidades de los materiales que se encuentran en contacto. Matemáticamente se expresa de la siguiente manera. [19]

$$\sin \alpha / \sin \beta = V_1 / V_2$$

Dónde:

α = Ángulo de incidencia

β = Ángulo de reflexión o refracción

V_1, V_2 = Velocidad de incidencia refracción o reflexión de los materiales

Una correlación generalizada se puede observar en la siguiente figura, aquí se visualiza la incidencia de las ondas longitudinales en un proceso de reflexión y refracción respecto a un plano. [19]

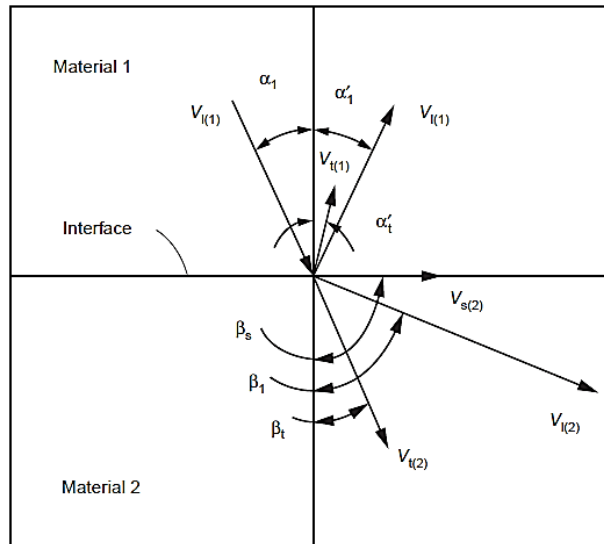


Figura 42. Diagrama de relación de los posibles tipos de reflexión y refracción a partir de una onda longitudinal. Fuente [19]

1.4.15. Inspección de juntas soldadas

Un palpador angular se conecta al equipo de ultrasonido y posteriormente se acopla sobre una superficie para generar un proceso de refracción dentro del elemento a inspeccionar. Las ondas se propagan en forma de zigzag a través del material como se muestra en la siguiente figura. [20]

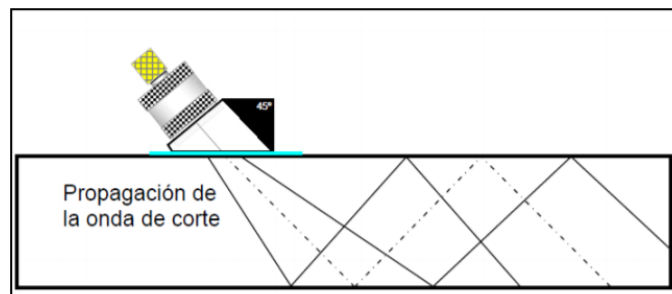


Figura 43. Propagación de haz ultrasónico. Fuente [20]

El principio de reflexión en un ensayo ultrasónico se genera, en primera instancia, en la parte inferior del espesor de la placa y es conocida como *distancia de salto medio*

$(S_D/2)$; en contraste, la distancia reflejada desde la parte inferior hasta el segmento superior de la palca de análisis es conocida como **distancia de salto** S_D . [20]

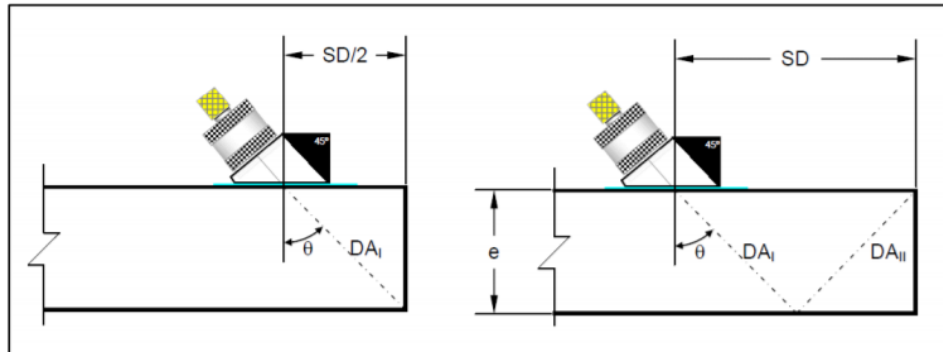


Figura 44. Esquema de distancias de salto y salto medio. Fuente [20]

La distancia que recorre el haz ultrasónico hacia el final del espesor de la placa se denomina "**primera pierna**" (DA_1); paralelamente la distancia que se refleja de la primera pierna es denominada "**segunda pierna**" (DA_2). Lo mencionado previamente es sucesivo en función del número de trayectorias en "V" que aparezcan en la inspección por ultrasonido. [20]

Comúnmente en el proceso de inspección se establece el ángulo de refracción del transductor (θ) el cuál se encuentra perceptible en el mismo, sumado a esto se estimará espesor de la placa (e) para, finalmente, calcular la distancia de salto y consecuentemente el recorrido que se genera en un medio salto. [20]

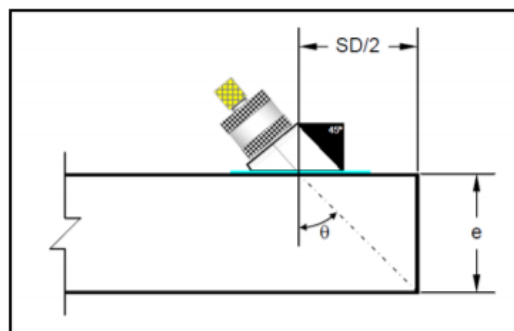


Figura 45. Parámetros utilizados para el cálculo de distancia de medio salto. Fuente [20]

Es posible determinar, matemáticamente, la distancia de medio salto mediante la aplicación de fórmulas que involucran a todos los parámetros que intervienen en el proceso. [20]

$$\tan \theta = \frac{S_D/2}{e}$$

Despejando estos valores obtenemos lo planteado previamente.

$$\frac{S_D}{2} = e * \tan \theta ; S_D = 2 * e * \tan \theta$$

En general, los transductores, llevan consigo su ángulo inherente de refracción; esto quiere decir que para analizar y calcular la distancia en la cual se establecerá el palpador es necesario la medición del espesor de la placa. [20]

1.4.16. Ubicación de discontinuidades

El proceso de identificación de discontinuidades, en conjunto con el equipo adaptado al palpador y a la junta soldada, estará en relación de los parámetros planteados preliminarmente. En el proceso de calibración se genera un rango en función del espesor de la placa que nos informará la ubicación y la profundidad de las discontinuidades encontradas. A partir de allí se podrá generar un criterio de análisis e inspección que se podrá observar directamente en la pantalla del equipo; sin embargo, es posible detectar, mediante cálculos matemáticos, dicha distancia con la aplicación de las fórmulas que se presentarán a continuación. [20]

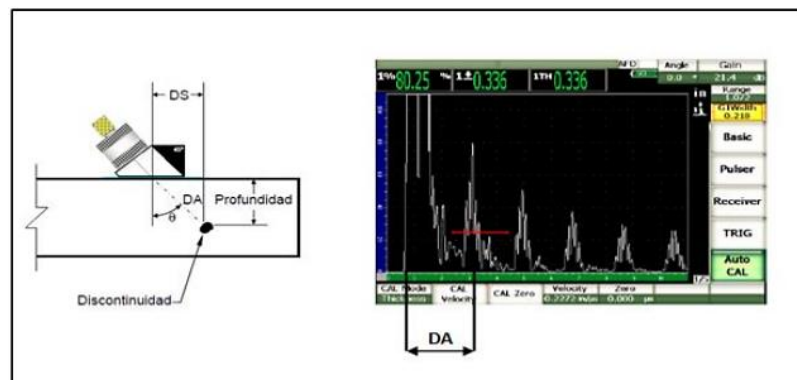


Figura 46. Relación de ubicación de discontinuidades entre el equipo y el haz ultrasónico. Fuente [20]

En concordancia con las relaciones trigonométricas se obtienen las siguientes ecuaciones para caracterizar las discontinuidades. [20]

$$\sin \theta = \frac{DS}{DA}$$

$$\cos \theta = \frac{P}{DA}$$

Por lo tanto, despejando las ecuaciones previas se obtienen las siguientes expresiones.

$$DS = DA * \sin \theta$$

$$P = DA * \cos \theta$$

Dónde:

DS = Distancia superficial

DA = Distancia angular

θ = Ángulo de refracción

P = Profundidad

Es posible que las discontinuidades encontradas por el haz ultrasónico tengan su ubicación después de generar el proceso de reflexión dentro de la placa de análisis. Lógicamente lo que se observará en la pantalla del equipo será la relación entre los elementos a una distancia mayor. [20]

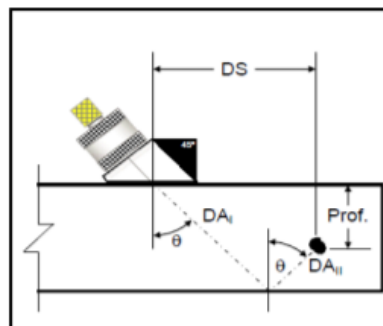


Figura 47. Reflexión de haz ultrasónico en el proceso de detección. Fuente [20]

Teniendo en consideración las fórmulas previas, se despliegan las siguientes ecuaciones.

$$DS = DA * \sin \theta$$

$$P = 2 * e * (DA_1 + DA_2) * \cos \theta$$

De la expresión anterior se genera la siguiente fórmula.

$$P = 2 * e - (DA_1 + \cos \theta)$$

Dónde:

DS = Distancia superficial

DA = Distancia angular

θ = Ángulo de refracción

DA_t = Distancia angular total (DA₁ + DA₂)

1.4.17. Inspección de un cordón de soldadura

En el instante en el cual se inspecciona un cordón de soldadura mediante el método de ultrasonido con el uso inherente de un palpador angular, es indispensable barrer la sección transversal. Para realizar esta acción, el palpador debe ser desplazado las distancias de un salto y medio salto. Al desplazar el transductor por la distancia de barrido es apreciable que el haz ultrasónico barre o analiza la raíz y el refuerzo de cordón de soldadura. [20]

De este hecho se deduce que el cordón actuará en una zona específica que será calculada por el encargado de realizar la inspección por ultrasonido. En general los términos más relevantes son el espesor de placa y el ángulo de refracción. [20]

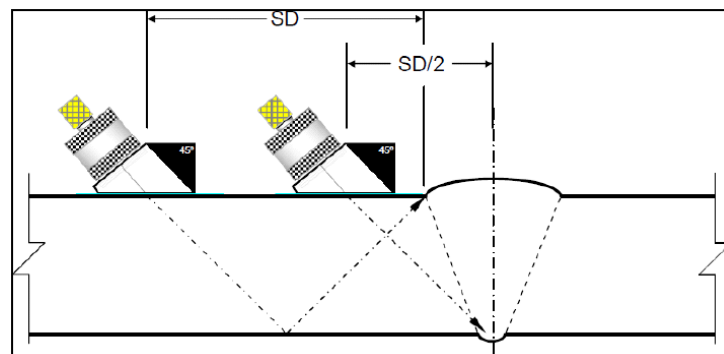


Figura 48. Esquema de distancia de salto y medio salto. Fuente [20]

1.4.18. Zona de barrido

El proceso de inspección por ultrasonido necesita de un barrido eficiente en la zona que recorrerá el transductor para realizar dicha acción. Es indispensable establecer e identificar el área de recorrido del transductor sobre la placa mediante el cálculo necesario para obtener, específicamente, las distancias de salto y medio salto. Esta zona es conocida como *Zona de Barrido* y es el área de desplazamiento del transductor. [20]

El transductor se mueve entre dos puntos específicos, el *Límite Lejano* correspondiente a la distancia de salto y el *Límite Cercano* relativo al medio salto; para la distancia mencionada en primer lugar es recomendable aumentar una pulgada para generar mejores resultados. [20]

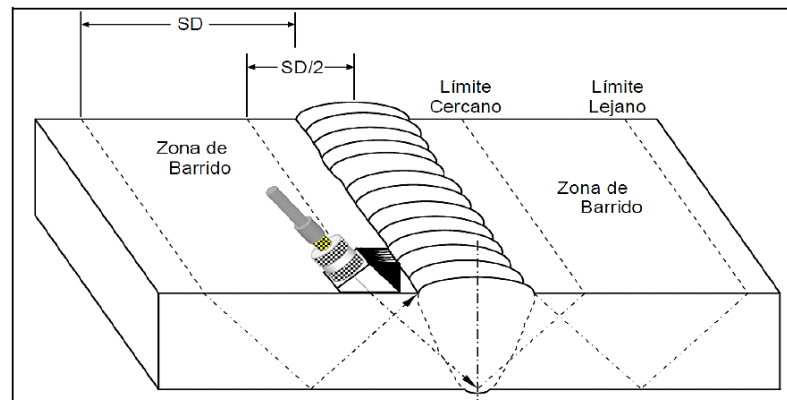


Figura 49. Zona de barrido. Fuente [20]

1.4.19. Patrones de barrido

Se ha determinado que el barrido del transductor debe plasmarse dentro de los límites cercano y lejano; sin embargo, es necesario que se analice la forma de realizar el desplazamiento dentro de esta zona. Existen varios tipos de movimiento que pueden generarse en un ensayo ultrasónico. [20]

- **Movimiento Transversal.** Este movimiento se lo realiza desde adelante y hacia atrás en los límites de la zona de barrido para el proceso de inspección.
- **Movimiento Longitudinal.** El movimiento se realiza de manera lateral y en paralelo al eje de soldadura por todo lo largo cordón. El avance debe llegar, como máximo, al 75% del ancho activo para cada barrido.

- **Movimiento Radial.** Es necesario comprender que existen casos especiales en que las discontinuidades no son paralelas al eje principal de soldadura. Esto indica que es posible analizar las discontinuidades mediante un movimiento que oscile entre los 10° y 15° . Es posible tener mayor seguridad en los resultados generados por inspector si convergen estos movimientos en un ensayo ultrasónico, con esto se busca barrer toda la zona necesaria para analizar la soldadura. [20]

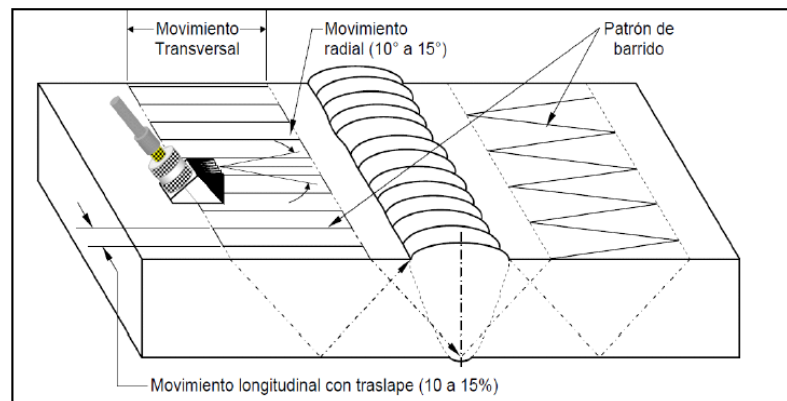


Figura 50. Patrones de barrido en una junta soldada. Fuente [20]

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1. Materiales

2.1.1. Selección de alternativas

Para desarrollar un proyecto de esta magnitud es necesario valorar ciertos parámetros y características que posibiliten su correcta aplicación en situaciones reales de funcionamiento. El mecanismo debe ser aceptable y adaptable a ciertas circunstancias y limitantes, obligatorios para su realización; de igual manera, el costo, mantenimiento, vida útil y facilidad de movilidad son otros de los aspectos más relevantes de analizar para su aplicabilidad. Asimismo, la adquisición de componentes en el mercado es otro tema a tratar en la selección de la alternativa correcta de aplicación.

2.1.2. Selección de alternativas del tipo de movimiento del mecanismo

2.1.2.1. Sistema manual

El ensayo de ultrasonido, en general, utiliza la energía ultrasónica con altos niveles de frecuencia que se manejan, particularmente, para realizar exámenes y para medir, por ejemplo, el espesor de un material. La inspección por ultrasonido es útil al momento de realizar evaluación de las posibles fallas que pueden surgir tras haber realizado un previo proceso de soldadura. De igual manera, a continuación, se ilustra la configuración más usual (pulso-eco) del proceso de inspección por ultrasonido. [21]

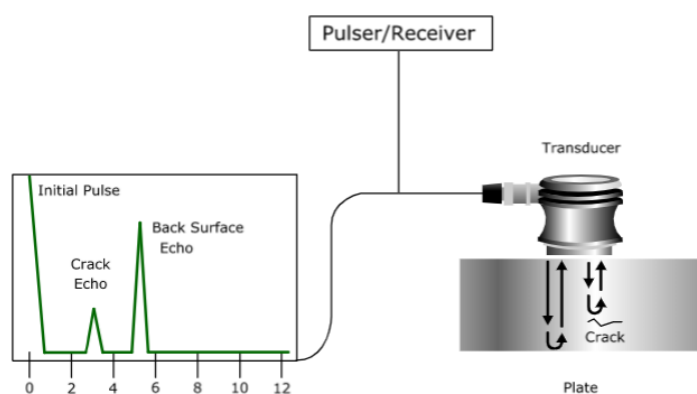


Figura 51. Método de inspección por ultrasonido con configuración pulso-eco. Fuente [21]

Dentro de las características más relevantes de los ensayos manuales se encuentra que el operario es el encargado de generar todo el movimiento alrededor de la junta

soldada. Asimismo, este tipo de inspección manual resulta económica en comparación de otras técnicas más sofisticadas; sin embargo, esto solo es aplicable si la longitud de la soldadura no es excesiva. [22]

En ocasiones, incluso, se utiliza el proceso de ultrasonido manual para inspecciones largas. Esto se realiza cuando es indispensable un bajo impacto en los costos de operación finales. De igual manera, se encuentran limitantes como los que se nombran a continuación. [22]

- El proceso de inspección ultrasónica manual es dependiente, en su totalidad, de las habilidades y experiencia del operario y de su propia interpretación de resultados en lo relativo a los defectos y discontinuidades encontrados.
- En informe de resultados puede resultar un tema de uso individual, evitando, por parte del operario, una generación de datos enfocada al consumidor o usuario final. [22]

2.1.2.2.Sistema semiautomático

Los sistemas semiautomáticos, en general, tienen un proceso de mejora continua en el contexto tecnológico actual. De igual manera, se puede apreciar su uso en medianas y grandes industrias, ofreciendo, particularmente, una amplia gama de aplicaciones a nivel industrial. El propósito de emplear los sistemas semi-automáticos se detalla a continuación. [22]

- Eliminación de las posibles variaciones en la inspección; se evita proporcionalmente errores de tipo personal por parte del operario.
- La operación por ultrasonido manual es compleja de realizar.
- Bajo impacto económico en la mano de obra y disminución de los tiempos de inspección debido a la creciente velocidad de análisis de las juntas soldadas.
- Mayor exactitud en los resultados finales y eficiente procesamiento de información. [22]

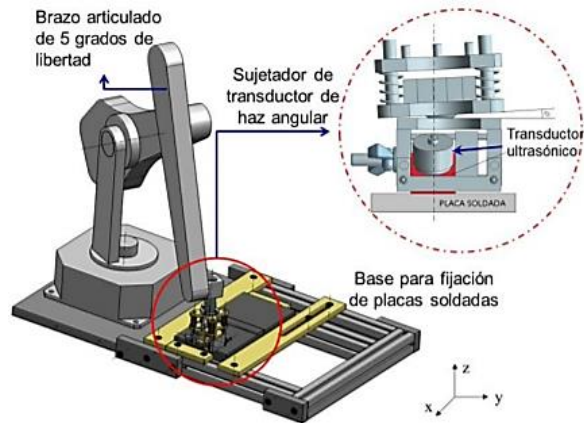


Figura 52. Sistema semiautomático de inspección. Fuente [22]

2.1.2.3.Sistema automático

Los sistemas automáticos se encuentran definidos en un contexto donde la operación registra datos y genera resultados de manera automática, así como la aparición de un procesamiento de las discontinuidades y/o defectos encontrados. El ensayo se realiza, específicamente, a través de una unidad que controla el movimiento y tiene inherentemente un esquema de inspección anticipado. [22]

En este tipo de sistemas se procesa los resultantes a través de una unidad que valida los datos que se presentan en una pantalla y están, de igual manera, disponibles para cualquier circunstancia posterior de evaluación o análisis. Todos los datos generados en el sistema se envían a un procesador (computador), procesamiento que asegura la evaluación de resultados. De igual manera, el computador es quien genera la ubicación exacta de los defectos y/o discontinuidades. Este dispositivo procede a indicar las discontinuidades del elemento de trabajo y, en general, a indicar la condición total de la junta soldada. [22]



Figura 53. Sistema automático de inspección por ultrasonido. Fuente [22]

Tabla 5. Criterios de selección para el movimiento del mecanismo.

| Sistema | Ventaja | Desventaja |
|-----------------|---|--|
| Manual | Bajo costo de operación, en comparación con los otros sistemas de inspección. | Dependencia del criterio y habilidades del operario, así como de su experiencia. |
| Semi-automático | Bajo impacto económico en la mano de obra. Credibilidad en la generación de resultados que arroje en sistema de control. Incidencia de varios tipos de configuración para la inspección en tuberías y chapa metálica. | Requiere capacitación constante de la utilización del equipo de ultrasonido y del mecanismo de accionamiento. Además de la preparación del movimiento del dispositivo desde el computador. |
| Automático | Precisión en la información generada por el sistema de control. Capacidad de generar un amplio registro de los datos relativo a los defectos y discontinuidades encontrados en la junta soldada. | Inversión inicial elevada y difícil adquisición de equipos de automatización. Utilizado, en su mayoría, en empresas con alto poder adquisitivo en la industria de los ensayos no destructivos y/o afines. |

Fuente. Autor

Matriz de selección

Codificación

Sistema manual: SM

Sistema semi-automático: SSA

Sistema automático: SA

Criterios de evaluación

Alto: 5

Medio alto: 4

Medio: 3

Medio bajo: 2

Bajo: 1

Tabla 6. Matriz de selección de alternativas del tipo de movimiento.

| | SM | SSA | SA |
|---------------------|-----------|-----------|-----------|
| Costo del equipo | 1 | 4 | 5 |
| Área de trabajo | 3 | 4 | 5 |
| Costo mano de obra | 5 | 4 | 2 |
| Mantenimiento | 1 | 4 | 5 |
| Porcentaje de error | 5 | 3 | 1 |
| Sumatoria | 15 | 19 | 18 |

Fuente. Autor

De acuerdo a la ponderación de la Tabla 6, se puede apreciar que el sistema más adecuado es de tipo semiautomático ya que es más práctico y funcional que los demás sistemas y genera mayor confiabilidad que un ensayo manual. De igual manera, tiene un costo relativamente bajo en comparación con un ensayo automatizado que requiere, obligatoriamente, un costo inicial y de mantenimiento bastante altos.

2.1.3. Análisis del sistema de control

2.1.3.1. Arduino

Arduino es, básicamente, un tipo de plataforma que se maneja, de forma específica, con un código abierto. Esta se encuentra conformada por una placa que lleva consigo un circuito impreso y contiene, paralelamente, un microcontralor. Esta plataforma se caracteriza por poseer varias entradas y salidas, tanto analógicas como digitales; de igual manera utiliza un lenguaje de programación llamada Processing. [23]

A diferencia del trabajo usual con microcontroladores, Arduino presenta varias ventajas puntuales en todo el espectro de su uso, entre las más relevantes podemos nombrar las siguientes. [23]

- **Factibilidad.** Las placas que Arduino presenta al público en general son de las más accesibles que se encuentran en el mercado debido a su precio y disponibilidad inmediata.
- **Multi-Plataforma.** En general, Arduino funciona correctamente con todos los sistemas operativos que ofrece el mercado.
- **Programación.** La programación de Arduino, a la cual está expuesto el usuario, es relativamente sencilla ya que utiliza un entorno llamado Processing,

el mismo confiere una mejor asimilación de los distintos comandos en todo el proceso de codificación.

- **Software ampliable – código abierto.** Arduino es un software libre y puede ser ampliado en función de las necesidades de los programadores o diseñadores de proyectos.
- **Hardware ampliable – código abierto.** La plataforma está diseñada mediante microcontroladores ATMEGA – 168, 328 y 1280. De igual manera, los módulos se encuentran diseñados para realizar una versión propia dependiente de las necesidades del programador. [23]



Figura 54. Tarjeta de control Arduino. Fuente [23]

2.1.3.2.DAQ

Una tarjeta de adquisición de datos es, esencialmente, un dispositivo capaz de asimilar cualquier señal analógica o digital proveniente, por ejemplo, de dispositivos electrónicos como transductores o sensores y posteriormente enviarla al computador para realizar una acción específica como el análisis de datos de cualquier tipo o el monitoreo de un sistema o situación determinada. [24]

A diferencia de otros dispositivos de adquisición de datos, las tarjetas DAQ son más relevantes en cuestiones de procesamiento de información, análisis y conectividad, sin embargo, se limita sustancialmente en el número de entradas y salidas que posee. A pesar de ello, se utiliza en aplicaciones industriales con a quipos que resultan robustos, generando una buena captación de datos para su posterior análisis. [24]



Figura 55. Tarjeta de control DAQ. Fuente [24]

Tabla 7. Criterios de selección del sistema de control.

| Alternativa | Ventaja | Desventaja |
|-------------|---|--|
| Arduino | Bajo costo de adquisición y accesibilidad a varios sistemas pre establecidos para su adaptación a las necesidades de un sistema de trabajo personalizado. | Retraso mínimo en la adquisición de datos. |
| DAQ | Software personalizado y fácil de utilizar en el campo industrial y educativo. | Limitado número de puertos de entrada y salida para la adquisición de datos. Alto costo de adquisición y operación. |

Fuente. Autor

Matriz de selección

Codificación

Tarjeta Arduino: TA

Tarjeta DAQ: TD

Criterios de evaluación

Alto: 5

Medio alto: 4

Medio: 3

Medio bajo: 2

Bajo: 1

Tabla 8. Matriz de selección de alternativas del sistema de control.

| | TA | TD |
|------------------|-----------|-----------|
| Costo | 3 | 4 |
| Funcionabilidad | 5 | 3 |
| Adquisición | 5 | 2 |
| Fiabilidad | 4 | 5 |
| Vida útil | 4 | 5 |
| Sumatoria | 21 | 19 |

Fuente. Autor

De acuerdo a la ponderación de la Tabla 8, indica que el sistema con mayor aceptabilidad en función de la realidad del proyecto es Arduino. Esta tarjeta de adquisición de datos es, en general, una opción rentable al momento de disminuir costos y obtener resultados óptimos en un sistema semiautomatizado.

2.1.4. Estudio estructural del mecanismo

Para este caso en particular se analizarán tres mecanismos relevantes relativos al movimiento alrededor de la tubería. De igual manera, se observará, en la culminación del mecanismo, un movimiento horizontal que favorece al análisis de las discontinuidades. El mismo se encuentra en función del movimiento mencionado previamente; esto sugiere la dependencia de ambas partes para la correcta selección del mecanismo global.

Tabla 9. Criterios de selección de la estructura.

| Transmisión | Ventajas | Desventajas |
|-------------|--|---|
| Cadenas | Adquisición del equipamiento es accesible a la realidad del país y del proyecto. Se acopla a distintos tipos de espesores y tamaños. | Requieren de un subsistema que garantice la estabilidad de todo el mecanismo y movimiento de las partes involucradas. |
| Abrazadera | Es relativamente fácil su ubicación, por ejemplo, en una tubería. | Se limita a un cierto rango de medidas para su correcta implantación debido a que su mecanismo es único y no puede modificarse. |
| Eslabones | Posibilidad de acoplamiento. Mecanismo compacto y estable. | Alto costo de adquisición de las partes. Posible mecanización de las partes que conforman el mecanismo. |

Fuente. Autor

Matriz de selección

Codificación

Mecanismos por cadenas: MC

Mecanismo de abrazadera: MA

Mecanismo por eslabones: ME

Criterios de evaluación

Alto: 5

Medio alto: 4

Medio: 3

Medio bajo: 2

Bajo: 1

Tabla 10. Matriz de selección de alternativas de la estructura.

| | MC | MA | ME |
|------------------|-----------|-----------|-----------|
| Costo | 3 | 4 | 5 |
| Espacio | 3 | 3 | 2 |
| Adquisición | 4 | 3 | 5 |
| Mantenimiento | 4 | 2 | 3 |
| Adaptabilidad | 5 | 1 | 5 |
| Sumatoria | 19 | 13 | 20 |

Fuente. Autor

De acuerdo a la ponderación de la Tabla 10, se indica que el mecanismo con mayor aceptación, y basándose en la adquisición de la misma en el contexto educativo y del país, es el mecanismo por eslabones. Esto es aceptable ya que son partes relativamente fáciles de conseguir. De igual manera, su mecanismo es posiblemente adaptable, y de acuerdo a la presente investigación esto es necesario para generar mayor aceptación en la inspección de los distintos diámetros de tubería existentes de manera comercial.

2.1.5. Selección de alternativas del material de construcción

Los materiales más utilizados en la actualidad, en procesos de ingeniería, son el acero, los polímeros, aluminio. Cada uno de ellos con características funcionales que dependen de las condiciones de servicio de la máquina o mecanismo donde se las utilizará.

Tabla 11. Criterios de selección de la estructura.

| Material | Ventajas | Desventajas |
|-----------|---|--|
| Acero | Adquisición del material es relativamente sencilla. Presenta bajo costo en cuanto a una compra del mismo con un peso significativo Viene en varias presentaciones como, por ejemplo, perfiles, láminas, ejes. | Oxidación del material en su exposición al medio ambiente. Relativamente pesado para una estructura que requiera vencer un movimiento con un torque de gran magnitud. |
| Polímeros | Su maquinado es relativamente sencillo. Fácil de adquirir en varias presentaciones. Son ligeros en comparación con otros materiales. Resistentes a ambientes corrosivos. | Su fragilidad es alta en condiciones de servicio de impacto. Producen contaminación ambiental tras haber cumplido su ciclo de vida óptimo. |
| Aluminio | Aceptable para un proceso de mecanizado. Alta resistencia a ambientes corrosivos | Alto costo de adquisición. |

Fuente. Autor

Matriz de selección

Codificación

Material acero: MA

Material polímero: MP

Material aluminio: ML

Criterios de evaluación

Alto: 5

Medio alto: 4

Medio: 3

Medio bajo: 2

Bajo: 1

Tabla 12. Matriz de selección de alternativas de la estructura.

| | MA | MP | ML |
|------------------|-----------|-----------|-----------|
| Costo | 3 | 2 | 5 |
| Fragilidad | 1 | 3 | 2 |
| Adquisición | 5 | 2 | 2 |
| Mantenimiento | 5 | 1 | 5 |
| Adaptabilidad | 2 | 3 | 1 |
| Sumatoria | 16 | 11 | 15 |


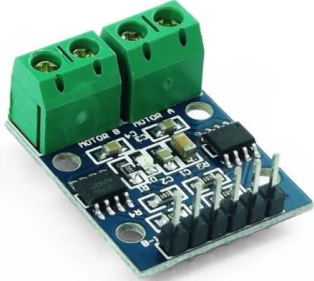
Fuente. Autor


De acuerdo a la ponderación de la Tabla 12, se indica que el material con mayor aceptación, y basándose en la adquisición de la misma en el contexto educativo y del país, es el polímero. Esto es aceptable ya que el material presenta gran adaptabilidad bajo costo y peso para vencer el torque de un motor que requiera mover un mecanismo, por ejemplo, en nuestro caso puntual, un mecanismo de eslabones para un ensayo por semiautomático por ultrasonido.


2.1.6. Materiales y Costos

2.1.6.1. Lista de materiales

Tabla 13. Referencia de equipos y materiales utilizados.

| Material | Descripción | Representación |
|---------------|---|---|
| Arduino Mega | Placa con microcontrolador de 8 bits, posee mayor cantidad de pines i/o. Cuenta con el microcontrolador Atmega2560 con más memoria para el programa, más RAM y más pines que el resto de los modelos. |  |
| Driver L9110S | El Driver L9110S de doble canal es un módulo compacto que se puede utilizar para controlar pequeños robots. Este pequeño módulo tiene dos chips controladores de motor L9110S independientes y cada uno puede |  |

| | | |
|----------------------------------|--|---|
| | conducir hasta 800mA de corriente continua. | |
| Driver Ramp 1.4 | Permite manejar 5 motores paso a paso (pap/stepper) de forma independiente (X, Y, Z, E0 y E1), puede manejar motores paso a paso de hasta 2A por bobina y microstepping de 1/16. |  |
| Motor NEMA 34 | Motor bipolar con la capacidad de dar 200 pasos por vuelta, al exterior saca 4 hilos que dan acceso a las 2 bobinas que tiene internamente. |  |
| Bomba de agua sumergible 100 l/h | Mini bomba de agua DC sumergible. |  |
| Rodamiento rígido de bolas | Los rodamientos rígidos de una hilera de bolas son particularmente versátiles. Su diseño es sencillo, no desarmable, son apropiados para velocidades altas e incluso muy altas, son resistentes durante su funcionamiento y exigen poco mantenimiento. |  |
| Lámina de acrílico transparente | Resistencia a la intemperie: Virtualmente no es afectado por el sol, lluvia, frío o calor extremos. Apariencia: Brillantez, claridad y transparencia equivalentes a la del vidrio. Ligereza y transmisión de luz: 50% mayor que el vidrio y 43% más que el aluminio. |  |

| | | |
|-----------------|---|---|
| | Resistencia al impacto: Resiste hasta 17 veces más que el vidrio ordinario en espesores de 3 a 6 mm. | |
| Tornillo sinfín | <ul style="list-style-type: none"> • Diámetro del husillo: Ø8mm. • Precisión de paso (pitch): 2mm • Avance por vuelta (lead): 8mm • Longitud: 300mm |  |

Fuente. Autor

2.1.6.2. Costos de materia prima

Tabla 14. Costos de materia prima.

| Costos de Materia Prima | | | | |
|-------------------------|----------|--|-------------------|----------------|
| No. | Cantidad | Descripción | Valor unitario \$ | Valor total \$ |
| 1 | 1 | Placa Arduino Mega con microcontrolador de 8 bits | 20 | 20 |
| 2 | 1 | Driver L9110S de doble canal | 5 | 5 |
| 3 | 1 | Driver Ramp 1.4 para manejo de motores a pasos | 10 | 10 |
| 4 | 2 | Motor bipolar con la capacidad de dar 200 pasos por vuelta | 20 | 40 |
| 5 | 1 | Mini bomba sumergible | 50 | 50 |
| 6 | 10 | Rodamientos rígidos de bolas | 2 | 20 |
| 7 | 1 | Plancha de acrílico de 6 mm de espesor | 80 | 80 |
| 8 | 1 | Tornillo sinfín | 30 | 30 |
| 9 | 1 | Otros | 45 | 45 |
| Total | | | | 300 |

Fuente. Autor

Tabla 15. Costos de mano de obra.

| Costos de Mano de Obra | | |
|-------------------------------|--------------------------------------|-----------------------|
| No. | Descripción | Valor total \$ |
| 1 | Corte de eslabones en maquinaria CNC | 100 |
| 2 | Taladrado de agujeros | 10 |
| 3 | Conexión eléctrica | 20 |
| 4 | Ensamblaje | 50 |
| 5 | Acabados finales | 20 |
| 6 | Otros | 20 |
| Total | | 220 |

Fuente. Autor

Tabla 16. Costos indirectos.

| Costos indirectos | | |
|--------------------------|--|-----------------------|
| No. | Descripción | Valor total \$ |
| 1 | Uso de software especializado | 100 |
| 2 | Transporte | 30 |
| 3 | Alimentación | 30 |
| 4 | Servicio de internet | 20 |
| 5 | Proceso de diseño | 100 |
| 6 | Proceso de investigación y adquisición de normas | 20 |
| Total | | 300 |

Fuente. Autor

2.2.Métodos

2.2.1. Análisis de impedancia acústica entre materiales

La impedancia acústica, básicamente, surge de la necesidad de comprender la cantidad de energía que se genera entre los materiales que se encuentran en contacto en un ensayo ultrasónico convencional. Para este proceso en particular se analizará el desempeño energético entre el acero y el elemento acoplante que, en nuestro caso, se generó con dos elementos, uno de ellos es agua y el otro es glicerina. Los parámetros de cálculo se encuentran en la Figura 41 y son, específicamente, la densidad del material y la velocidad del sonido del mismo.

Análisis de impedancia acero y agua

Datos:

$$\rho_{\text{acero}} = 7850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$V_{\text{acero}} = 5940 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\rho_{\text{agua}} = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$V_{\text{agua}} = 3240 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$Z_{\text{acero}} = \rho_{\text{acero}} * V_{\text{acero}}$$

$$Z_{\text{acero}} = 7850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 5940 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$Z_{\text{acero}} = 45.0252 \times 10^6 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 * \text{s}}$$

$$Z_{\text{agua}} = \rho_{\text{agua}} * V_{\text{agua}}$$

$$Z_{\text{agua}} = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 1490 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$Z_{\text{agua}} = 1.49 \times 10^6 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 * \text{s}}$$

$$r = \frac{Z_2}{Z_1}$$

$$r = \frac{Z_{\text{acero}}}{Z_{\text{agua}}}$$

$$r = \frac{45.0252 \times 10^6}{1.49 \times 10^6}$$

$$r = 30.21$$

$$R = [(r-1)/(r+1)]^2$$

$$R = [(30.21-1)/(30.21+1)]^2$$

$$R = 0.88 = 88\%$$

$$R + T = 100\%$$

$$T = 100\% - R$$

$$T = 100\% - 88\%$$

$$T = 12\%$$

Análisis de impedancia acero y glicerina

Datos:

$$\rho_{\text{acero}} = 7850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$V_{\text{acero}} = 5940 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\rho_{\text{glicerina}} = 1260 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$V_{\text{glicerina}} = 1920 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$Z_{\text{acero}} = \rho_{\text{acero}} * V_{\text{acero}}$$

$$Z_{\text{acero}} = 7850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 5940 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$Z_{\text{acero}} = 45.0252 \times 10^6 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 * \text{s}}$$

$$Z_{\text{glicerina}} = \rho_{\text{glicerina}} * V_{\text{glicerina}}$$

$$Z_{\text{glicerina}} = 1260 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 1920 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$Z_{\text{glicerina}} = 2.4192 \times 10^6 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 * \text{s}}$$

$$r = \frac{Z_2}{Z_1}$$

$$r = \frac{Z_{\text{acero}}}{Z_{\text{glicerina}}}$$

$$r = \frac{45.0252 \times 10^6}{2.4196 \times 10^6}$$

$$r = 18.61$$

$$R = [(r-1)/(r+1)]^2$$

$$R = [(18.61-1)/(18.61+1)]^2$$

$$R = 0.81 = 81 \%$$

$$R + T = 100\%$$

$$T = 100\% - R$$

$$T = 100\% - 81 \%$$

$$T = 19 \%$$

2.2.2. Ubicación del transductor (Distancias mínima y máxima)

Existen dos distancias, mínima y máxima, que son parte de los parámetros más relevantes de diseño para la ubicación de los transductores. Las consideraciones a tomar en cuenta para generar cálculos de la distancia apropiada a que se debe colocar el palpador son el espesor de la placa y el ángulo de reflexión del transductor.

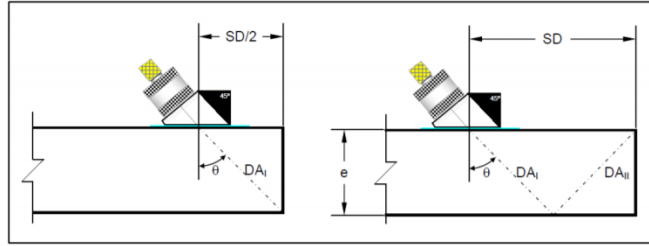
Para nuestro caso en particular se realizó los cálculos con una tubería de espesor de ½ de pulgada o 12.7 mm y un ángulo de 70°. A partir de ellos se puede generar los cálculos de distancia de salto y medio salto.

Datos:

$$\theta = 70^\circ$$

$$e = 12.7 \text{ mm}$$

$$\tan \theta = \frac{S_D/2}{e}$$



$$S_D = 2 * e * \tan \theta$$

$$S_D = 2 * 12.7 * \tan 70$$

$$S_D = 69.79 \text{ mm} \approx 70 \text{ mm} = 7 \text{ cm (Distancia de salto)}$$

$$S_D/2 = 35 \text{ mm} = 3.5 \text{ cm (Distancia de medio salto)}$$

2.2.3. Velocidad tangencial

El cálculo de la velocidad tangencial, para nuestro mecanismo en particular, es un dato que indica la velocidad que recorre el móvil en función del tiempo. Se puede apreciar este término físicamente debido a que el mecanismo recorre de manera tangencial alrededor de la tubería y, a su vez, el punto central de dónde se despliegan las fuerzas es relativo al radio de tubería. A mayor radio de cobertura será mayor la trayectoria que debe recorrer el mecanismo para realizar la inspección. La fórmula para el cálculo de la velocidad tangencial se menciona a continuación.

$$v_t = \frac{2\pi * (r)}{t}$$

Donde:

$$v_t = \text{velocidad tangencial } \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)$$

r = radio de la tubería a ser inspeccionada (m)

t = tiempo de recorrido (s)

Para la obtención de los datos más relevantes para el cálculo de la velocidad tangencial se procedió, inicialmente, la toma del tiempo que tarda en recorrer o rodear la tubería. Se tomó un máximo de 5 medidas para obtener un promedio final que facilite con el cálculo una velocidad promedio general a la que va a deslizarse el mecanismo. Es importante mencionar que dentro del ensayo es posible detener el mecanismo y

analizar la posible existencia de defectos y/o discontinuidades. Sin embargo, en esta ocasión se realizaron mediciones sin prescindir del efecto del análisis inherente que requiere el ensayo por ultrasonido.

Tabla 17. Tiempos de avance del mecanismo.

| Evaluación del tiempo de avance del mecanismo | | | | | | | | | | |
|---|----------|----|----|----|----|----|----------|----------|----|----------|
| Tubería | Unidades | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 | Unidades | Promedio | ≈ | Unidades |
| 6 | Pulgadas | 40 | 45 | 50 | 39 | 44 | Segundos | 43.6 | 44 | Segundos |
| 8 | Pulgadas | 60 | 62 | 50 | 70 | 60 | Segundos | 60.4 | 60 | Segundos |

Fuente. Autor

Tubería de 6 pulgadas

$$v_t = \frac{2\pi*(r)}{t}$$

$$v_t = \frac{2\pi*(76 \text{ mm})}{44 \text{ s}}$$

$$v_t = \frac{2\pi*(0.076 \text{ m})}{44 \text{ s}}$$

$$v_t = 0.0108 \text{ m/s}$$

Tubería de 8 pulgadas

$$v_t = \frac{2\pi*(r)}{t}$$

$$v_t = \frac{2\pi*(101.5 \text{ mm})}{60 \text{ s}}$$

$$v_t = \frac{2\pi*(0.1015 \text{ m})}{44 \text{ s}}$$

$$v_t = 0.0106 \text{ m/s}$$

2.2.4. Cálculo de Fuerzas

Datos:

Torque motor = 3 N-m

$r_1 = 3$ pulgadas = 0.0762 m

$r_2 = 4$ pulgadas = 0.1016 m

Peso mecanismo = 3 kg \approx 30 N

$$T = F \cdot r$$

$$F = \frac{T}{r}$$

$$F = \frac{3 \text{ N-m}}{0.0762 \text{ m}}$$

$$F = 39.37 \text{ N} \approx 40 \text{ N}$$

$$F = \frac{3 \text{ N-m}}{0.1016 \text{ m}}$$

$$F = 29.52 \text{ N} \approx 30 \text{ N}$$

$$\sum F_y = 0$$

$$N - P = 0$$

$$N - 30 \text{ N} = 0$$

$$N = 30 \text{ N}$$

$$\sum F_x = 0$$

$$f_r + F = 0$$

$$0.5 \cdot 30 + F = 0$$

$$F = 15 \text{ N}$$

2.2.5. Cálculo de Bomba Sumergible

Una bomba sumergible se ha diseñado para que, el conjunto de sus componentes (motor impulsor, aparatos de succión y descarga), pueda sumergirse completamente en un líquido.

Datos:

$$\text{Caudal (Q)} = 100 \frac{\text{li}}{\text{h}} = 2.78 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 0.45 \frac{\text{gal}}{\text{min}}$$

$$\text{Diámetro (D)} = 0.8 \text{ cm} = 0.008 \text{ m}$$

v = Velocidad de flujo de agua

$$v = \frac{Q}{A}$$
$$v = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D^2}$$
$$v = \frac{4 \cdot 2.78 \times 10^{-5}}{\pi \cdot (0.008)^2}$$
$$v = 0.55 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

La velocidad de flujo de agua no debería, en ninguna situación, ser menor a 0.50 m/s, esto se debe al hecho que una velocidad extremadamente baja de flujo podría generar ciertos problemas relativos a la sedimentación. Por el contrario, si la velocidad aumentara por encima de 5 m/s de originaría fenómenos de tipo abrasivo en el interior de las tuberías que están relacionadas a la durabilidad del material.

La potencia de una bomba, básicamente, se define como la rapidez con la cual se transfiere la energía.

Datos:

$$\text{Caudal (Q)} = 100 \frac{\text{li}}{\text{h}} = 2.78 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 0.45 \frac{\text{gal}}{\text{min}}$$

$$\text{Altura del fluido (h)} = 110 \text{ cm} = 1.10 \text{ m}$$

$$\text{Densidad del fluido } (\rho_{\text{glicerina}}) = 1260 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Densidad del fluido } (\rho_{\text{agua}}) = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Aceleración de la gravedad } (g) = 9.81 \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

Pb = Potencia de la bomba

$$Pb = \rho_{\text{glicerina}} * g * Q * h$$

$$Pb = \rho_{\text{glicerina}} * g * Q * h$$

$$Pb = 1260 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 9.81 \frac{\text{m}^2}{\text{s}} * 2.78 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 1.10 \text{ m}$$

$$Pb = 0.38 \text{ W}$$

$$Pb = \rho_{\text{agua}} * g * Q * h$$

$$Pb = \rho_{\text{agua}} * g * Q * h$$

$$Pb = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 9.81 \frac{\text{m}^2}{\text{s}} * 2.78 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 1.10 \text{ m}$$

$$Pb = 0.30 \text{ W}$$

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Análisis y discusión

En general, los ensayos por ultrasonido presentan ventajas indiscutibles respecto a otros métodos de análisis. Este tipo de ensayos es altamente efectivo ya que su análisis es de tipo volumétrico y, a diferencia de un ensayo radiográfico industrial, este no afecta al personal que realiza la inspección.

A continuación, se muestra una guía para la elección de ensayos no destructivos, teniendo en consideración factores relevantes como, por ejemplo, el equipo que se utiliza para realizar la inspección, sus aplicaciones, ventajas inherentes y limitaciones o posibles efectos adversos para el personal o el medio ambiente.

Tabla 18. Selección de Ensayos no destructivos

| Guía de selección - Ensayos No Destructivos | | | |
|--|--|---|--|
| Equipo | Aplicaciones | Ventajas | Desventajas/Limitaciones |
| Visual | | | |
| Lupas, boroscopios, espejos, galgas | Soldadura superficial, corrosión | Requiere poca capacitación, bajo costo en adquisición de equipos, aplicaciones variadas | Condiciones de soldadura de tipo superficial |
| Tintas Penetrantes | | | |
| Tintas penetrantes tinturadas, fluorescentes, reveladores y limpiadores | Poros y grietas, soldadura superficial | Bajo costo de adquisición, no requiere de fuentes externas para su uso | Tiempo limitado para el análisis, preparación previa y limpieza posterior al análisis |
| Partículas Magnéticas | | | |
| Yugo magnético, partículas o polvos de tipo magnético, fuente de energía | Discontinuidades/defectos superficiales y subsuperficiales | Bajo costo, equipo portátil, detección de fallas subsuperficiales | Aplica a materiales de tipo ferromagnético, necesita de una fuente de energía, magnetización y preparación previo al inicio del ensayo |
| Radiografía Industrial | | | |
| Equipo de rayos gama, protectores, blindaje de plomo, máquina de rayos X, alimentación eléctrica | Discontinuidades en la estructura interna | Inspección superficial, subsuperficial, determinación exacta de discontinuidades | Elevado costo de equipos, peligro potencial para el personal que realiza la inspección |
| Ultrasonido | | | |
| Bloques de calibración, transductores o palpadores, equipo de ultrasonido, acoplante | Análisis de espesores, corrosión, defectos/discontinuidades volumétricas | Resultados inmediatos, equipo de ultrasonido portátil, detección volumétrica | Preparación de la superficie adecuada, requiere de un material líquido entre el transductor y la superficie de análisis |

Fuente. [11]

En la Tabla 18 se analiza los factores más representativos de los ensayos que, usualmente, se utilizan para la inspección de juntas soldadas. En conclusión, el ensayo por ultrasonido es el más beneficioso en contraste con los demás ensayos utilizados en la industria de los ensayos no destructivos. Lo más representativo resulta del hecho que el ensayo por ultrasonido analiza defectos y discontinuidades volumétricas, el equipo es portátil y no afecta el encargado de realizar el ensayo.

Sin embargo, dentro las características de los ensayos por ultrasonido se evidencian varios métodos que, de igual manera, infieren en el hecho de que presentan características y especificaciones distintas. Por lo tanto, sus resultados tendrán cierto grado de variación. Para este caso se realizó dos ensayos, uno de ellos fue ejecutado de forma manual o convencional, mientras que el otro se lo realizó mediante el mecanismo del presente trabajo que relaciona a los sistemas semi-automáticos de inspección por ultrasonido en tuberías.

De igual importancia, dentro de los datos arrojados por los ensayos por ultrasonido, se evidencian varios factores que pueden influenciar en los resultados finales. A continuación, se mencionan los más significativos.

- Frecuencia que posee el palpador, ángulo y el diámetro del mismo
- Temperatura en la que se desarrolla el ensayo
- El tipo de acoplante (agua, glicerina)
- Las habilidades y la experiencia del personal que realiza el ensayo por ultrasonido
- Material a inspeccionar
- La rugosidad de la superficie
- Las condiciones en las que se encuentra el área de inspección

Ensayo por Ultrasonido Manual o Convencional

Un ensayo por ultrasonido convencional o realizado de forma manual, es decir, el operario/inspector se encuentra totalmente en contacto con el palpador realizando el movimiento para el análisis, conlleva varias complicaciones al momento de generar los resultados y la lectura de los mismos por parte del encargado de realizar el ensayo.

Se determinó que las complicaciones más representativas se encuentran en función de la experiencia con respecto al uso de los equipos por parte del operario. De igual manera, se observó otros aspectos influyentes dentro de un análisis por ultrasonido convencional. A continuación, se mencionan los más representativos en base a un ensayo práctico realizado en el laboratorio de Materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica.

- La velocidad de avance no es constante alrededor de la tubería, por lo tanto, influye en los resultados finales aspectos de manipulación del equipo por parte del operario.
- La presión de contacto, al generar en el ensayo presiones que no son constantes en el área de análisis puede conllevar a resultados que no son altamente confiables.
- La cantidad y el tipo de acoplante, ya que no se posee una especificación que indique la cantidad exacta de acoplante los resultados, de igual manera, podrían resultar poco confiables. Asimismo, se determinó la variación de los resultados con respecto al tipo de acoplante, teniendo como referencia que la glicerina es un líquido que posee mejores características para este ensayo en comparación al uso de agua.
- La velocidad para la culminación del ensayo es otro de los limitantes, ya que, al comparar los resultados en cuanto al tiempo de inspección, un ensayo semiautomático o automático generan una mayor eficiencia en la culminación de la inspección.

Uno de los aspectos relativamente positivos que deriva de un análisis por ultrasonido convencional en función de un análisis automatizado o semiautomático es el costo de producción que conlleva el mismo en relación a la adquisición de materia prima, costos inherentes de fabricación y mano de obra.

Ensayo por Ultrasonido Semiautomático

Para el caso de los sistemas semiautomáticos resulta beneficioso que, por ejemplo, existe un control por computador del movimiento del transductor. Este control de movimiento es referente a la velocidad, al inicio y paro del movimiento y al control

transversal de la distancia preestablecida de análisis de las tuberías que se van a analizar.

Es recomendable, debido a la naturaleza del diseño y desarrollo actual, que se genere la inspección para las tuberías especificadas de 6 y 8 pulgadas respectivamente y que, igualmente, presenten una geometría sencilla y con una preparación previa de la superficie destinada para el análisis de defectos y/o discontinuidades.

Una de las ventajas que resulta significativa de un ensayo semiautomático es la uniformidad de acoplamiento del palpador con relación a la tubería y de la uniformidad en la velocidad de movimiento. Se concluyó posteriormente en el ensayo que los tiempos y la efectividad del análisis mejoraron en relación a un ensayo convencional.

3.2. Análisis de resultados

Según API 1104 – Standard for Welding Pipelines and Related Facilities, para generar resultados con respecto a un ensayo de ultrasonido se debe incluir, como mínimo, las siguientes consideraciones.

- Tipo de evaluación, preparación de junta soldada y el proceso utilizado (SMAW, GMAW, GTAW, etc.)
- Tipo de material que será evaluado
- Preparación de la superficie/estado actual
- Etapa en la cual se lleva acabo el examen
- Instrumento utilizado para realizar el ensayo
- Tipo de mecanismo (manual, automático, semiautomático)
- Acoplante utilizado (agua, glicerina)
- Técnicas del ensayo de ultrasonido:

1.5.Ángulo del transductor

1.6.Frecuencias (MHz)

1.7.Temperatura

1.8.Patrón de escaneo y velocidad de movimiento

1.9.Referencia de datos

- Estándares de referencia (bloques de calibración, dimensiones de junta, sección transversal)

- Requerimientos de calibración del instrumento de medición (intervalos de calibración y verificaciones)
- Nivel de escaneo (configuración de sensibilidad - db)
- Nivel de evaluación
- Registro de resultados
- Reporte de ensayo [25]

3.2.1. Clasificación de indicaciones

Como menciona la Norma API 1104 en el literal 9.6, que hace referencia a las indicaciones y criterios de aceptación con respecto al ensayo por ultrasonido, existen varias consideraciones previas y necesarias de analizar para realizar un ensayo con una mayor eficacia en los resultados finales. Allí se menciona que tres tipos de indicaciones que incluyen varios tipos de defectos/discontinuidades, denominados como indicaciones lineales, transversales y volumétricas.

3.2.1.1. Indicaciones lineales

Se caracterizan principalmente por la dirección en la cual se encuentran los defectos/discontinuidades, la cual hace alusión a una dirección longitudinal referente al cordón de soldadura. Dentro de este tipo de indicaciones se encuentran defectos/discontinuidades, a continuación, se mencionan las más representativas en función de los criterios de la norma API 1104.

- Penetración inadecuada sin "high-low" (Inadequate penetration without high-low - IP)
- Penetración inadecuada con "high-low" (Inadequate penetration due to high-low - IPD)
- Penetración inadecuada cruzada (Inadequate cross penetration – ICP)
- Fusión incompleta (Incomplete fusión – IF)
- Fusión incompleta debido a traslape en frío (Incomplete fusión due to cold lap – IFD)
- Inclusión de escoria alargada (Elongated slag inclusión – ESI)
- Grietas (Cracks – C)

- Socavadura adyacente al pase de cubierta, pase de raíz y porosidad hueca (Undercutting adjacent to the cover pass – EU, root pass – IU and hollow bead porosity – HB)

Nota. El término "High-low" hace referencia, no específicamente a un defecto/discontinuidad, sino más bien consiste en una condición geométrica relacionada al ensamblaje de tuberías (ovalidad, ajuste mecánico)

3.2.1.2. Indicaciones transversales

Paralelamente, que el análisis que se realizó para las indicaciones lineales, las indicaciones transversales se encuentran en dirección transversal al cordón de soldadura. En ella se encontrarán el siguiente tipo de defectos/discontinuidades, según la norma API 1104.

- Grietas (Cracks – C)
- Inclusiones de escoria aisladas (Isolated slag inclusions - ISI)
- Fusión incompleta debido a traslape en frío (Incomplete fusión due to cold lap – IFD)

3.2.1.3. Indicaciones volumétricas

Además, dentro del contexto de indicaciones y sus inherentes defectos, se encuentran varias indicaciones de tipo volumétrico. La norma API 1104 infiere en que existen ciertos defectos/discontinuidades usuales para este apartado. A continuación, se menciona las más representativas.

- Concavidad de tipo interna (Internal concavity – IC)
- Quemado (Burn-through – BT)
- Inclusiones de escoria aisladas (Isolated slag inclusions - ISI)
- Porosidad (Porosity – P)
- Agrupamiento de porosidad (Cluster porosity – CP)

3.2.2. Criterios de aceptación

Tabla 19. Criterios de aceptación.

| Criterios de Aceptación - API 1104 | | |
|---|--|---|
| Indicaciones | Especificaciones | Condiciones (Se considera defectos al existir las siguientes condiciones) |
| Lineales | Superficie lineal (Linear surface - LS) | * La longitud total LS excede el 8% de la longitud total de soldadura * La longitud total LS, en 12 pulg. (300 mm), de la longitud de soldadura excede 1 pulg. (25 mm) |
| | Lineal enterrado (Linear buried - LB) | * La longitud total LB excede el 8% de la longitud total de soldadura * La longitud total LB, en 12 pulg. (300 mm), de la longitud de soldadura excede 2 pulg. (50 mm) |
| Transversales | N/A | * Para el análisis se consideran como indicaciones volumétricas |
| Volumétricas | Agrupamiento volumétrico (Volumetric cluster - VC) | * El máximo de VC, dimensional, excede 0.5 pulg. (13 mm) |
| | Individual volumétrico (Volumetric individual - VI) | * El máximo de VI, dimensional, excede 0.25 pulg. (6 mm), en ancho y longitud |
| | Raíz volumétrica (Volumetric root - VR) | * El máximo de VI, dimensional, excede 0.25 pulg. (6 mm) * La longitud total excede 0.5 pug. (13 mm) en una longitud de soldadura de 12 pulg. (300 mm) |
| | Acumulación relevante (Accumulation of relevant indications - AR) | * La longitud de indicaciones excede el 8% de la longitud total de soldadura * La longitud de indicaciones, en 12 pulg. (300 mm), de la longitud de soldadura excede 2 pulg. (50 mm) |

Fuente. [25]


3.2.3. Instrucciones Ensayo por Ultrasonido

Tabla 20. Instrucciones de Ensayo semiautomático

| Compañía/Institución: | Universidad Técnica de Ambato | Responsable: | Eduardo Aleaga | |
|-----------------------|--|--|--|--|
| Nombre del Producto: | Sistema semi-automático tipo araña para la inspección de juntas soldadas en tuberías | Número de Parte/Código: | N/A | |
| Procedimiento | | Controles de proceso | | |
| Ítem | Flujo de Proceso | Descripción | Documento/Registro | Instrumento |
| 1 | | Inicio | | |
| 2 | | Identificar los parámetros de soldadura | * API 1104 * Requerimientos de análisis | - |
| 3 | | Cumple todos los parámetros de soldadura? | | |
| 4 | | Preparar la superficie de análisis | - | * Grata * Amoladora * Cepillo metálico |
| 5 | | Identificar los parámetros de soldadura faltantes | - | - |
| 6 | | Calibrar el equipo | * Manual de calibración | * Bloques de calibración * Transductores * Acoplante |
| 7 | | Ajustar el equipo según el tamaño de tubería (6 u 8 pulg.) | - | * Destornillador |
| 8 | | Ubicar el transductor en la distancia especificada | * Cálculos de distancia mínima y máxima | - |
| 9 | | Conectar los elementos de control | - | * Computadora * Cables USB |
| 10 | | El mecanismo opera eficientemente? | | |
| 11 | | Iniciar el proceso de evaluación | - | - |
| 12 | | Realizar una revisión y/o mantenimiento a los equipos mecánicos/electrónicos | - | * Repuestos |
| 13 | | Generar los resultados finales | - | - |
| 14 | | Presentar el informe final | * Informe final de resultados * Consideraciones mínimas de resultados para un ensayo por ultrasonido API 1104 | - |
| 15 | | Fin | | |

Fuente. Autor

3.2.4. Resultados finales - Procedimiento


| | | | |
|---|---|------------------------|-----------|
|  | Procedimiento | Fecha Creación: | 2/2/2020 |
| | Examinación de soldadura por ultrasonido - Ensayo semiautomático | Fecha Rev.: | 16/7/2020 |
| Código: PR-DD-01 | Idioma: Castellano | Versión: | 1 |

Procedimiento Examinación de soldadura por ultrasonido - Ensayo semiautomático

API 1104

Realizado por: Eduardo Aleaga

Rev. y apr. por: Ing. Juan Paredes

| | | | |
|---|---|-----------------|-----------|
|  | Procedimiento | Fecha Creación: | 2/2/2020 |
| | Examinación de soldadura por ultrasonido - Ensayo semiautomático | Fecha Rev.: | 16/7/2020 |
| Código: PR-DD-01 | Idioma: Castellano | Versión: | 1 |

Informe de resultados – Ensayo por ultrasonido semi-automático (Semi-automated ultrasonic testing)

1. Alcance

El procedimiento para el ensayo por ultrasonido semiautomático aplica para tuberías de 6 y 8 pulgadas con un espesor de ½ pulgada. La técnica utilizada es pulso-eco con un transductor de ángulo 70° para detectar defectos/discontinuidades en un rango entre los 35 y 70 mm respectivamente, con relación al punto medio de la junta soldada.

2. Norma/Código/Especificación aplicable

API 1104

3. Responsable

Al ser un proceso de evaluación con respecto a un trabajo de grado, el responsable de realizar el ensayo es el autor de la presente obra con la supervisión del tutor de turno. De igual manera, el análisis fue realizado, *In Situ*, en el laboratorio de materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

4. Proceso de soldadura

Soldadura manual por arco eléctrico con electrodo revestido (SMAW)

5. Etapa de análisis


El ensayo es específico para tuberías de diámetros específicos con un movimiento controlado por computador o de tipo semiautomático.

6. Método de análisis

Haz angular

7. Técnica

Pulso-eco

| | | | |
|---|---|------------------------|-----------|
|  | Procedimiento | Fecha Creación: | 2/2/2020 |
| | Examinación de soldadura por ultrasonido - Ensayo semiautomático | Fecha Rev.: | 16/7/2020 |
| Código: PR-DD-01 | Idioma: Castellano | Versión: | 1 |

8. Superficie de escaneo

La superficie destinada para el análisis debe estar libre de suciedad e impurezas, en general la preparación se la realiza con el uso de una grata o cepillo metálico.

9. Acoplante

Glicerina

10. Bloque de calibración

Bloque de calibración API para tuberías

11. Instrumento de medición

Equipo MFD 800 B.

La norma API 1104, para sistemas automáticos/semiautomáticos, especifica una altura de pantalla del 80% y un ancho de banda de 4 dB. La frecuencia del transductor es de 50 MHz con un ángulo de 70°. Asimismo, mediante el uso de fórmulas matemáticas, se obtuvo la distancia mínima y máxima que recorrerá el transductor la cual se encuentra en un rango entre 35 y 70 mm.

12. Frecuencia de calibración

Inicialmente es aconsejable la calibración de equipos, previo al proceso de inspección, sin embargo, y dependiendo del tiempo que tarde en realizar el ensayo, se recomienda realizar calibraciones intermedias para generar mejores resultados.

13. Velocidad de análisis

La velocidad de análisis aconsejable no debe exceder las 6 pulg. /s o 1.524 m/s. Para este caso se obtuvo una velocidad regular de 0.0106 m/s.


| | | | |
|---|---|------------------------|-----------|
|  | Procedimiento | Fecha Creación: | 2/2/2020 |
| | Examinación de soldadura por ultrasonido - Ensayo semiautomático | Fecha Rev.: | 16/7/2020 |
| Código: PR-DD-01 | Idioma: Castellano | Versión: | 1 |

14. Tabla de resultados

A continuación, se muestran los resultados obtenidos mediante el uso de un sistema semiautomático.

* Tubería – OD = 6 pulg.

| Ítem | Distancia [mm] | Defectos/Discontinuidades | Cantidad | Tamaño defectos/Porcentaje | Observaciones |
|------|----------------|---------------------------|----------|----------------------------|---------------|
| 1 | 35 | LS | 2 | 1% | |
| 2 | 40 | - | - | - | |
| 3 | 45 | - | - | - | |
| 4 | 50 | VC | 4 | 3% | |
| 5 | 55 | VI | 1 | 1% | |
| 6 | 60 | - | - | - | |
| 7 | 65 | - | - | - | |
| 8 | 70 | LS | 1 | 2% | |
| | | VR | 3 | 2% | |

| | | | |
|---|---|------------------------|-----------|
|  | Procedimiento | Fecha Creación: | 2/2/2020 |
| | Examinación de soldadura por ultrasonido - Ensayo semiautomático | Fecha Rev.: | 16/7/2020 |
| Código: PR-DD-01 | Idioma: Castellano | Versión: | 1 |

* Tubería – OD = 8 pulg.

| Ítem | Distancia [mm] | Defectos/Discontinuidades | Cantidad | Tamaño defectos/Porcentaje | Observaciones |
|------|----------------|---------------------------|----------|----------------------------|---------------|
| 1 | 35 | LS | 1 | 1% | |
| 2 | 40 | - | - | - | |
| 3 | 45 | - | - | - | |
| 4 | 50 | VC | 1 | 2% | |
| 5 | 55 | VI | 1 | 1% | |
| 6 | 60 | - | - | - | |
| 7 | 65 | - | - | - | |
| 8 | 70 | LS | 1 | 1% | |

15. Conclusiones

El análisis de juntas soldadas a través del uso de un mecanismo semiautomático arrojó los siguientes resultados.

* El tiempo utilizado disminuyó considerablemente en comparación a un ensayo por ultrasonido convencional

* La manipulación del mecanismo fue relevante para el análisis de defectos/discontinuidades ya que fue posible detener el mismo en puntos clave de observación.

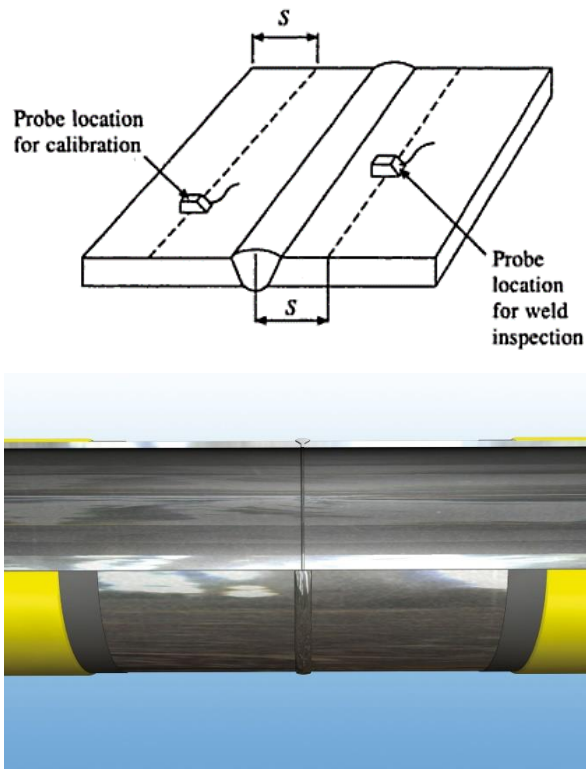
* Los porcentajes finales acumulativos, tanto para indicaciones lineales y volumétricas, no superaron el 8% mínimo que indica la norma API 1104 para inferir que fueron específicamente defectos/discontinuidades que puedan afectar a la unión de elementos.

* No se detectaron grietas. (La norma API 1104 en ningún aspecto o contexto de análisis permite la aparición de grietas para juntas soldadas).

* El uso de glicerina, elemento utilizado como acoplante, fue efectivo para el análisis y acoplamiento del transductor con la tubería elegida para el ensayo por ultrasonido.

* Los criterios de aceptación son puntuales y se detallan cada uno de ellos en la norma API 1104.

16. Esquema/Fotografía/Plano



17. Recomendaciones

- * El ajuste del mecanismo debe ser adecuado al punto en que el mismo no tenga un movimiento transversal o de deslizamiento.
- * Realizar una prueba inicial para comprobar el correcto funcionamiento del mecanismo.
- * La calibración del equipo debe estar en función del tipo de mecanismo según la norma API 1104, mecanismo de tipo automático, semiautomático.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- El sistema semiautomático tipo araña para la inspección de juntas soldadas en tuberías mediante el equipo MFD 800B ha sido implementado de forma correcta en el laboratorio, y se lo utiliza de tal forma que permite la interacción con un programa asignado para incluir los parámetros de movimiento longitudinal y transversal.
- Una inspección de tipo semiautomático posee varios parámetros distintivos dentro de los ensayos por ultrasonido. Se ha identificado, por ejemplo, que la velocidad de avance del mecanismo resulta más eficiente, así como el tiempo en el cuál se culmina el ensayo. Asimismo, sus ventajas de uso en un laboratorio radican en la precisión para la obtención de resultados con respecto a un ensayo convencional, que, al ser realizado por un operador, induce a concluir la poca precisión de resultados debido a factores propios del inspector o personal encargado, tales como la deficiente presión de pase por el área de barrido y, en general, la falta de experiencia del mismo.
- El sistema fue diseñado para el movimiento y control de la distancia máxima y mínima en la cual se requiere el movimiento del transductor. La programación fue destinada para incluir y controlar estos parámetros de movimiento y distancias requeridas para el inicio de la inspección por ultrasonido.
- La construcción del mecanismo fue enfocada en los requerimientos de la norma utilizada para la inspección API 1104. Todo el mecanismo tuvo un proceso previo de validación y verificación a través del uso de un software especializado y cálculos matemáticos relacionados al torque, peso del mecanismo, velocidad de movimiento, etc. De igual importancia, se tomó referencias de investigaciones previas respecto a los ensayos semiautomáticos por ultrasonido (libros e investigaciones previas).
- Las pruebas de funcionamiento han sido satisfactorias debido a los beneficios que se evidenciaron con respecto a un ensayo por ultrasonido convencional. En

general, no se observó inconveniente en el movimiento ni en la programación en un software especializado.

- El manual de funcionamiento registra el proceso de ensamblaje y el detalle de los distintos elementos que forman parte del mecanismo y se encuentra detallado en el Apéndice A, los resultados finales, sin embargo, se registraron en un formato en incluye todo lo que se requiere de un análisis en un ensayo por ultrasonido según la norma API 1104. Los resultados fueron satisfactorios y no existió, para este caso y con las tuberías elegidas, rechazo del proceso de soldadura y/o las juntas soldadas.

4.2. Recomendaciones

- El indispensable la preparación de la superficie previo al uso del equipo de medición de ultrasonido, ya que una superficie deficiente podría generar resultados incongruentes o, a su vez, poca credibilidad en la validación de los datos dispuestos por el equipo de análisis.
- La calibración, debe generarse de forma adecuada y respecto al tipo de mecanismo (manual, automático, semiautomático).
- Los eslabones y el mecanismo en general están diseñados para el acoplamiento en tuberías de 6 y 8 pulgadas respectivamente.
- Se debe evitar la manipulación de los equipos electrónico y de control para evitar procesos intermedios de mantenimiento o cambio de las partes que forman parte del mecanismo.
- El ajuste en la tubería debe ser tal que no induzca al movimiento del mecanismo en ninguna dirección.
- Se debe revisar todas las conexiones y el funcionamiento previo al uso equipo y registro de resultados finales de los distintos defectos/discontinuidades encontrados en la inspección.

Referencias

- [1] Instituto Politécnico Nacional, «Ensayos No Destructivos,» México, 2014.
- [2] DEKRA, «DEKRA INDUSTRIAL,» [En línea]. Available: www.dekra-industrial.it/en/services/non-destructive-testing/ultrasonic-testing/. [Último acceso: 20 Junio 2019].
- [3] C. Rodríguez González, Sistema Automatizado de Detección de Defectos en Piezas Metálicas Mediante Ensayos no Destructivos con Ultrasonidos, España: Universidad de Cantabria, 2014.
- [4] Instituto Politécnico Nacional, «Ensayos No Destructivos,» México, 2015.
- [5] N.-A. (. T. Education), «NDT Resource Center,» [En línea]. Available: www.nde-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/Ultrasonics/EquipmentTrans/transducertypes.htm. [Último acceso: 19 Noviembre 2019].
- [6] N.-A. (. T. Education), «NDT Resource Center,» [En línea]. Available: www.nde-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/Ultrasonics/EquipmentTrans/Couplant.htm. [Último acceso: 19 Noviembre 2019].
- [7] I. A. E. Agency, Ultrasonic Testing of Materials, Level Two, Vienna: Training Guidelines in Non-Destructive Testing Techniques, 1999.
- [8] M. Troughton, M. Spicer y F. Hagglund, «Desarrollo y Evaluación de un Sistema de Inspección por Ultrasonidos Phased Array para Uniones de Tuberías de Polietileno,» Cambridge, UK , 2011.
- [9] G. Villavicencio, «Estudio de los Métodos de Ensayos No Destructivos Bajo la Norma API 650 y su Incidencia en la Evaluación de Juntas Soldadas en Tanques de Almacenamiento,» Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2015.

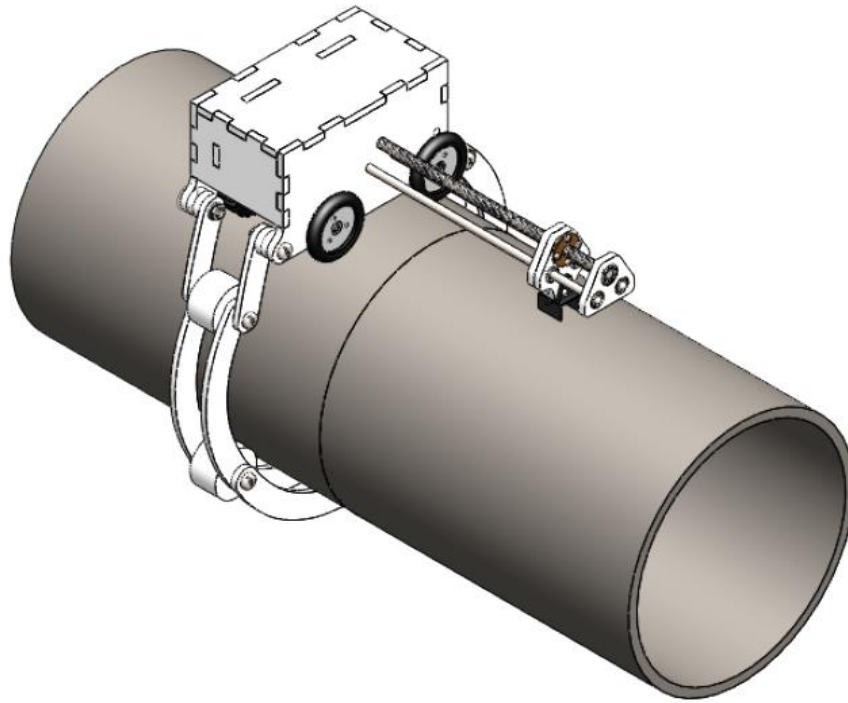
- [10] N.-A. (. T. Education), «NDT Resource Center,» [En línea]. Available: www.nde-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/Ultrasonics/CalibrationMeth/calibrationmethods.htm. [Último acceso: 03 Enero 2020].
- [11] L. P. Barrera Suárez y M. M. Coronel Picón, «Desarrollo y Procedimientos para la Utilización de Técnicas de Ensayos No Destructivos con Ultrasonido para Inspección de Tuberías,» Universidad Pontificia Bolivariana, Bucaramanga, 2011.
- [12] V. Sastri, «Engineering Thermoplastics: Acrylics, Polycarbonates, Polyurethanes, Polyacetals, Polyesters, and Polyamides,» Elsevier, 2010.
- [13] «Carbon Steel: Properties, Production, Examples and Applications,» Matmatch, [En línea]. Available: www.matmatch.com/learn/material/carbon-steel. [Último acceso: 07 Enero 2020].
- [14] «A - Scan,» Olympus, [En línea]. Available: www.olympus-ims.com/es/ndt-tutorials/instrumentation/ascan/. [Último acceso: 08 Enero 2020].
- [15] «B - scan,» Olympus, [En línea]. Available: www.olympus-ims.com/es/ndt-tutorials/instrumentation/bscan/. [Último acceso: 08 Enero 2020].
- [16] «C - scan,» Olympus, [En línea]. Available: www.olympus-ims.com/es/ndt-tutorials/instrumentation/pa-cscan/. [Último acceso: 08 Enero 2020].
- [17] «Ultrasonic Non-Destructive Inspection Method (NDI),» Engineers Edge, [En línea]. Available: www.engineersedge.com/inspection/ultrasonic.htm. [Último acceso: 08 Enero 2020].
- [18] M. Moles y G. Fortier, «Phased Arrays for Pipeline Girth Weld Inspections,» de *IV Conferencia Panamericana de END*, Buenos Aires, 2007.
- [19] V. I. N. E. o. M. ASM Handbook, Fundamentals of Ultrasonic Inspection, Iowa: Aquil Ahmad and Leonard J. Bond, 2018.

- [20] B. J. Romero Reyes y F. H. Proboste Contreras, «Aplicación del Ultrasonido al Control de Calidad de Procesos de Soldadura,» Universidad del Bío-Bío, BíoBío, 2013.
- [21] N.-A. (. T. Education), «NDT Resource Center,» [En línea]. Available: www.nde-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/Ultrasonics/Introduction/description.htm. [Último acceso: 08 Enero 2020].
- [22] G. Passi y M. Kritsky, «ECNDT,» High Reliability Manual Ultrasonic Inspection, [En línea]. Available: www.ndt.net/article/ecndt98/ut/471/471.htm. [Último acceso: 08 Enero 2020].
- [23] C. H. Tapia Ayala y H. M. Manzano Yupa, Evaluación de la Plataforma Arduino e Implementación de un Sistema de Control de Posición Horizontal, Guayaquil: Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil, 2013.
- [24] E. P. Altamirano Pinchao y P. D. Méndez Caicedo, Diseño y Construcción de Módulos Didácticos para el Laboratorio Virtual de Instrumentación Industrial, de la Carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico, Ibarra: Universidad Técnica del Norte, 2016.
- [25] A. S. 1104, «Welding of Pipelines and Related Facilities,» *American Petroleum Institute*, vol. I, n° 19, p. 79, 1999.

Anexos

Anexo A







Manual de funcionamiento




**SISTEMA SEMIAUTOMÁTICO TIPO ARAÑA PARA LA INSPECCIÓN DE
JUNTAS SOLDADAS EN TUBERÍAS MEDIANTE EL EQUIPO MFD 800B**

Advertencias y precauciones

Previo a utilizar el mecanismo para el ensayo por ultrasonido, es necesario tener en consideración las siguientes advertencias para evitar complicaciones en las etapas de conexión, encendido, uso y culminación de la verificación de defectos/discontinuidades.

| | | |
|---|--|---|
|  | <p>Comprobar las conexiones eléctricas y el estado de las mismas, en el caso de identificar un elemento en mal estado, evitar el uso del mecanismo y proceder a la reparación o cambio del elemento.</p> | |
|  | <p>Manipular de forma adecuada los elementos del mecanismo (eléctricos, mecánicos, y de control). Esto ayudará a la conservación de los mismos y a la extensión de su vida útil.</p> | |
|  | <p>NO utilizar el mecanismo para un ensayo por ultrasonido sin la previa autorización del tutor de tutor y revisión del <i>Manual de funcionamiento</i>.</p> | |
|  | <p>Verificar que la superficie destinada para el uso del mecanismo se encuentra en buen estado y ha sido preparada de forma adecuada mediante el uso de gratas y/o cepillos.</p> | |
|  | <p>Alto</p> | <p>Peligro para el ser humano/operador en la manipulación o mal uso de elementos.</p> |
|  | <p>Medio</p> | <p>Posible daño de la maquinaria/mecanismo, no presenta peligro para el ser humano.</p> |

| | | |
|---|-------------|---|
|  | <p>Bajo</p> | <p>No presenta peligro inminente, sin embargo, resultan actividades a tener en consideración previo al uso del mecanismo.</p> |
|---|-------------|---|

Comprobación y ajuste

- 1 El inicio del ensayo debe iniciar con la comprobación de la superficie destinada para realizar la verificación de defectos/discontinuidades. En la misma, se debe evitar la aparición de escombros, suciedad, grietas, líquidos ajenos acoplante y, en general, cualquier tipo de material o sustancia que impida realizar el ensayo de forma adecuada. La forma de mitigar estas complicaciones es mediante la utilización de solventes para la limpieza de tuberías, gratas o cepillos metálicos.



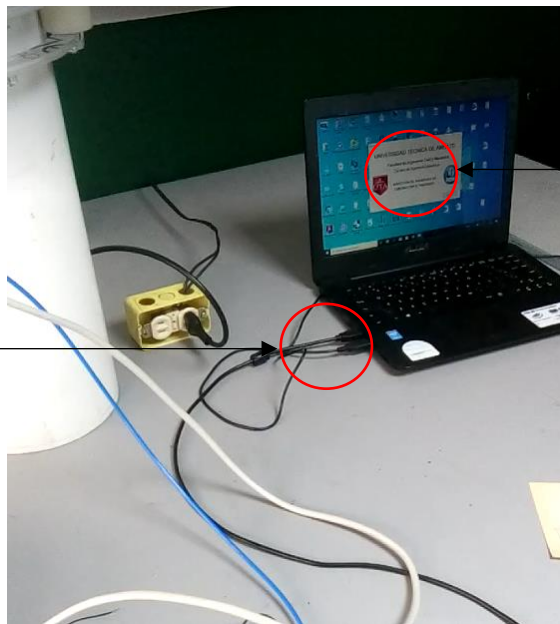
- 2 El ajuste de elementos de elementos está enfocado a elementos como los tornillos de sujeción y tuercas. Los mismos deberán ser ajustados hasta que se evidencie que el mecanismo se encuentra estable y no presenta movimientos transversales o longitudinales con respecto a la tubería se análisis. Los elementos de ajuste, para este caso, son específicamente destornilladores de estrella y planos de tamaño medio.
 - Evitar el uso inadecuado de la fuerza para realizar esta actividad ya que podría iniciar esfuerzos que induzcan a la rotura de los materiales que forman parte del mecanismo.



Ajuste de tornillos de sujeción para eslabones

- 3 Verificar las conexiones eléctricas previamente al uso de la maquinaria. Utilizar una extensión de ser necesario o, a su vez, proceder con el ensayo en un lugar cercano a un tomacorriente convencional.
- 4 Conectar todos los elementos mecánicos, electrónicos y de control para iniciar con la apertura del programa ejecutable que genera el movimiento y, en sí, con el ensayo.
- 5 Al momento de realizar la conexión USB se comprueba que el programa está iniciando de forma adecuada. El software utilizado es ejecutable y de fácil acceso.

Conexión USB

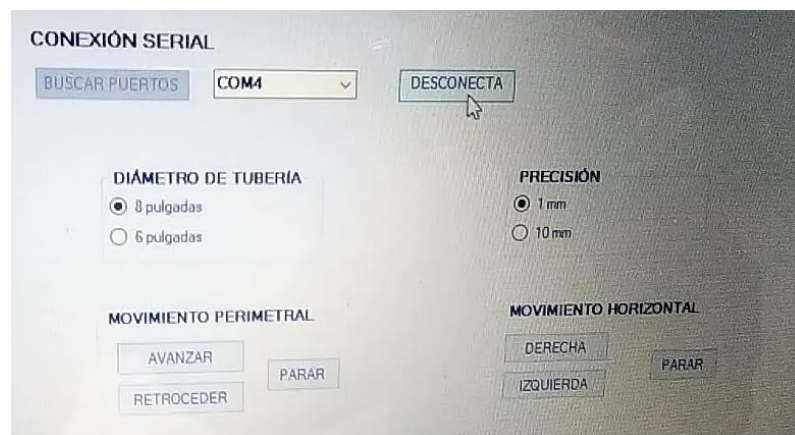


Programa ejecutable

- 6 El programa ejecutable indicará en un mensaje pre programado que la conexión es adecuada y que se puede iniciar con la manipulación de los parámetros que forman parte del ensayo por ultrasonido. Es preciso considerar el dimensionamiento y el alcance del ensayo antes de incluir datos que forman parte del mismo. El programa está diseñado para tuberías de 6 y 8 pulgadas, manipulación del avance tanto longitudinal como transversal.

Uso del equipo

- 1 Tras haber comprobado que la conexión es adecuada y establecido los parámetros de funcionamiento, es posible el inicio del ensayo a través del programa ejecutable. Aquí se puede manipular el mecanismo para el avance longitudinal y transversal y el diámetro de tubería de análisis.

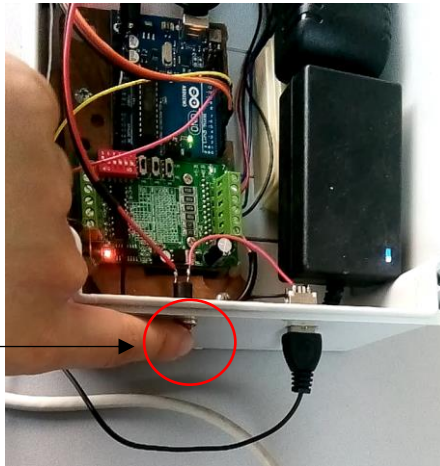


- 2 Se iniciará el movimiento del mecanismo, paralelamente es necesario que la bomba sumergible inicie de forma manual cómo se ha establecido en etapas previas de la investigación.

Inicio del movimiento




Manipulación manual de bomba sumergible



- 3 Los resultados se generarán en el equipo de ultrasonido en forma de picos, los cuales serán analizados de acuerdo a los criterios e indicaciones de aceptación de la norma API 1104.



4 Se genera un informe de resultados final o procedimiento de ensayo por ultrasonido.

| | | | |
|---|---|------------------------|-----------|
|  | Procedimiento | Fecha Creación: | 2/2/2020 |
| | Examinación de soldadura por ultrasonido - Ensayo semiautomático | Fecha Rev.: | 16/7/2020 |
| Código: PR-DD-01 | Idioma: Castellano | Versión: | 1 |

Anexo B

Tablas

Criterios de selección

| Alternativa | Ventaja | Desventaja |
|-------------|---------|------------|
| | | |
| | | |

Selección de alternativas

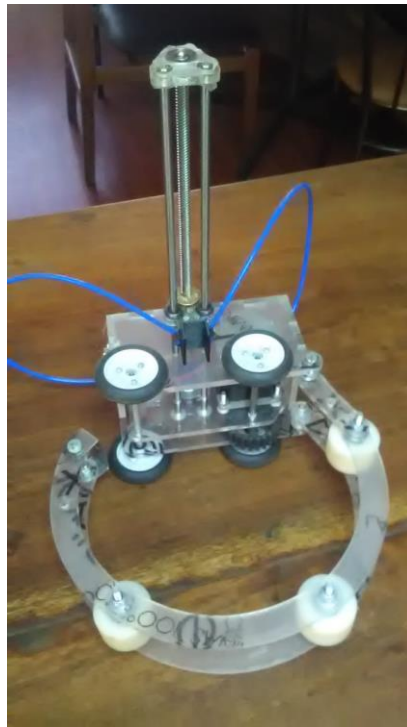
| Costo del equipo | | | |
|---------------------|--|--|--|
| Área de trabajo | | | |
| Costo mano de obra | | | |
| Mantenimiento | | | |
| Porcentaje de error | | | |
| Sumatoria | | | |

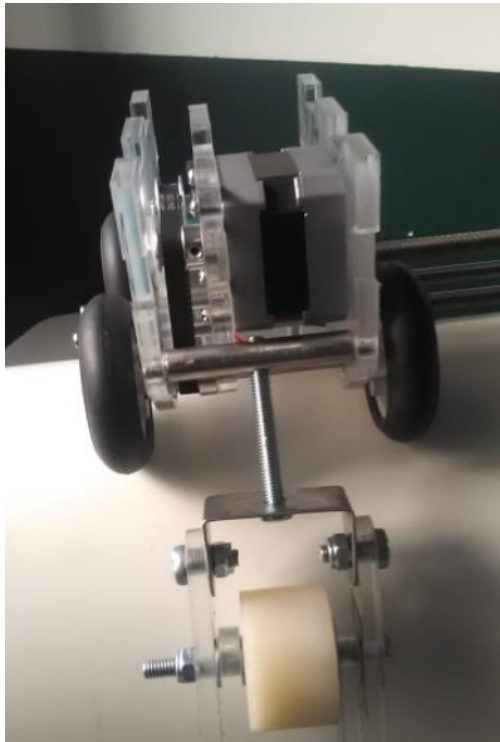
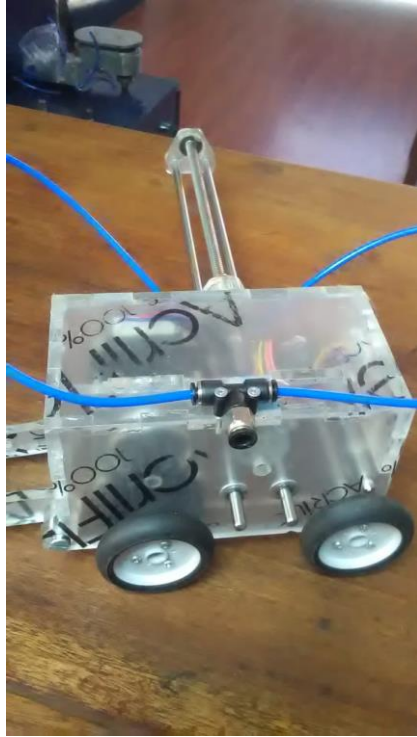
Evaluación tiempo de avance del mecanismo

| Evaluación del tiempo de avance del mecanismo | | | | | | | | | | |
|---|----------|----|----|----|----|----|----------|----------|---|----------|
| Tubería | Unidades | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 | Unidades | Promedio | ≈ | Unidades |
| 6 | | | | | | | | | | |
| 8 | | | | | | | | | | |

Anexo C

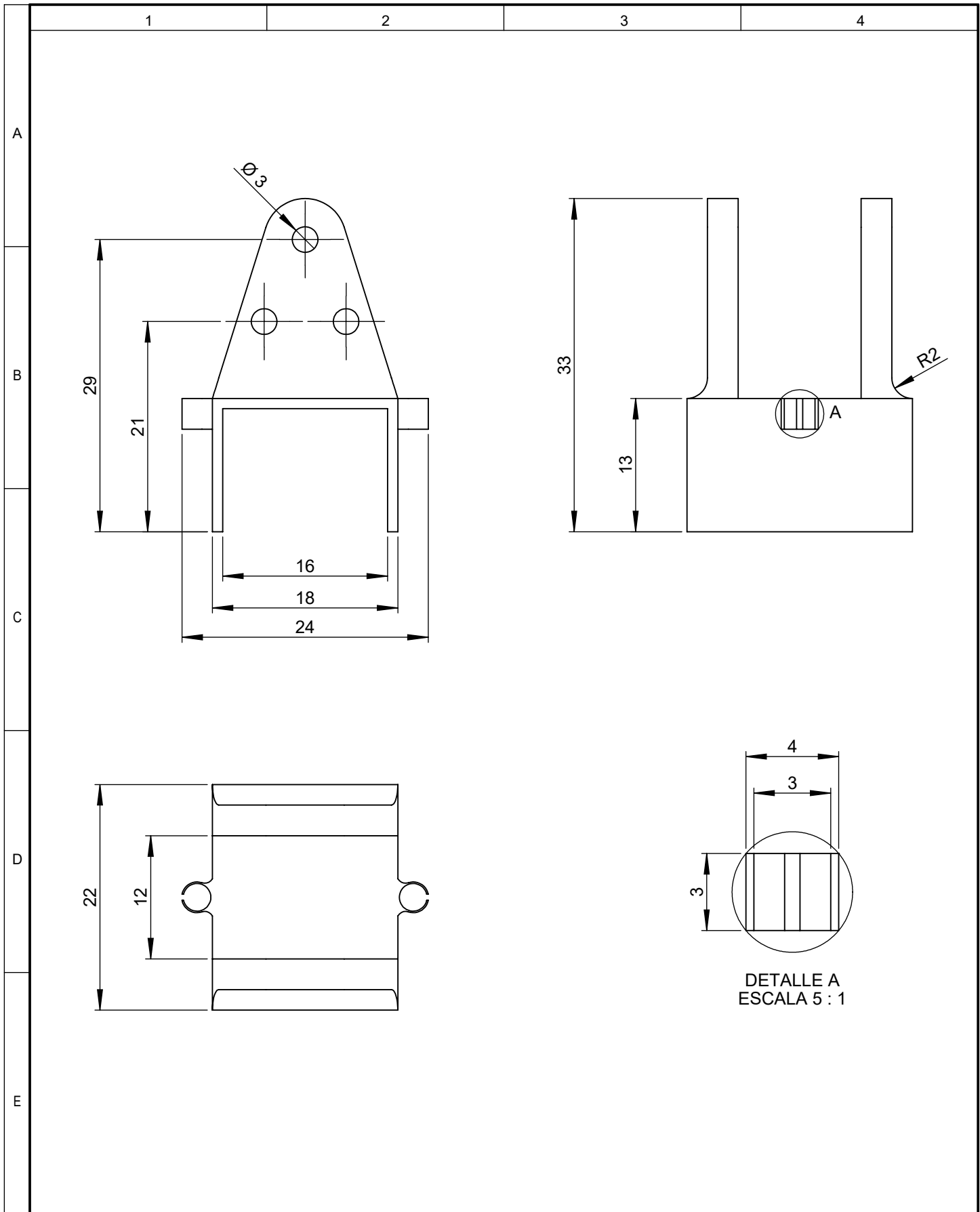
Fotografías





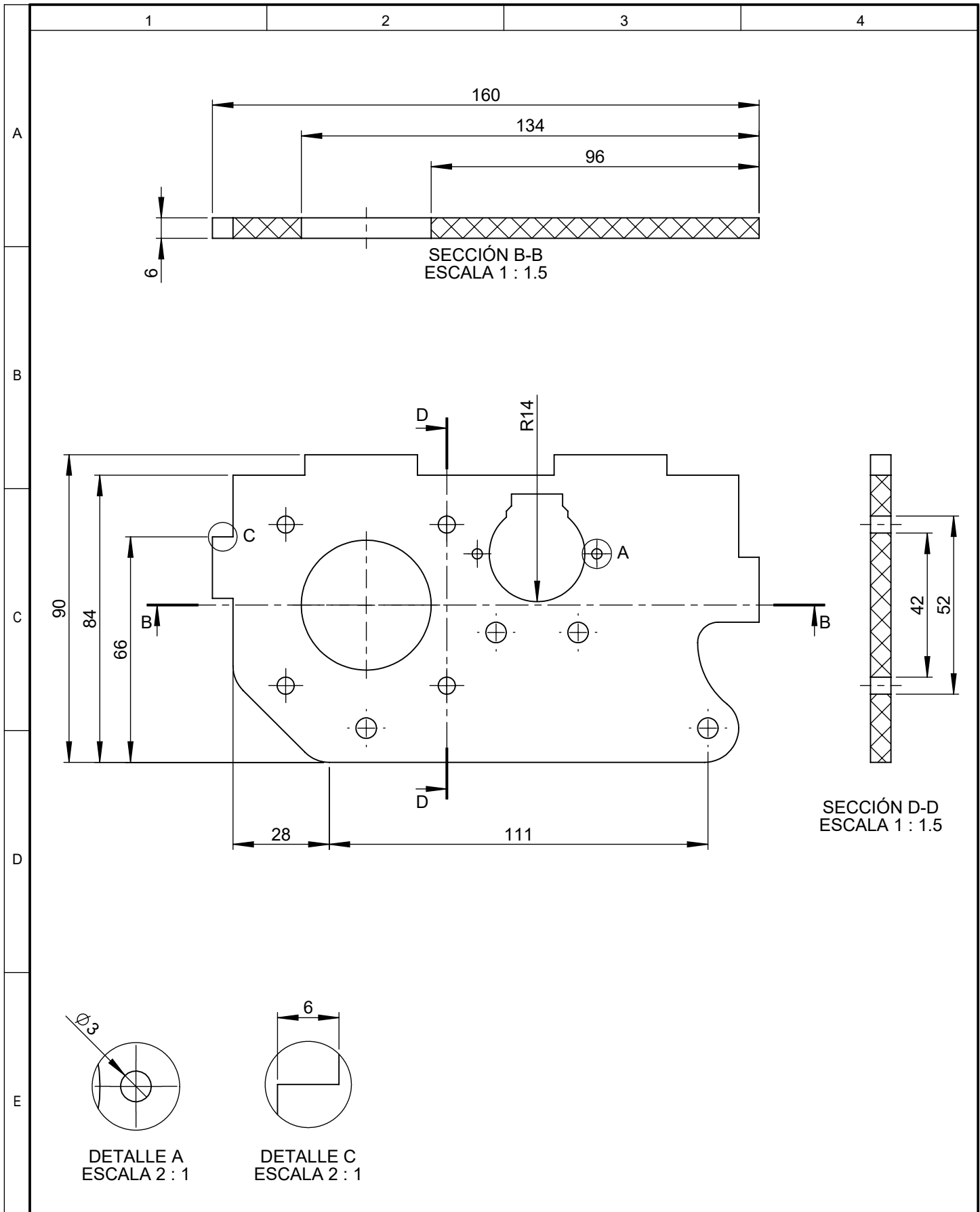


Anexo D
Planos



DETALLE A
ESCALA 5 : 1

| | | | | | | | | | |
|---------|--------------|--------|-----------|--|-------------------|-------------------|----------|--------------------|-----|
| | | | | Tolerancia | Peso | Material: | | | |
| | | | | ±1 | 3 gr | PET | | | |
| | | | | Fecha | Nombre | Título: | Escala | | |
| | | | Dibujado: | 14/07/2020 | Eduardo Aleaga | | | ACOPLE TRANSDUCTOR | 2:1 |
| | | | Revisado: | 16/07/2020 | Ing. Juan Paredes | | | | |
| | | | Aprobado: | 16/07/2020 | Ing. Juan Paredes | | | | |
| | | | | U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA | | Número de lámina: | Registro | | |
| Edición | Modificación | Nombre | Fecha | | | 01 de 18 | | | |
| | | | | Sustitución: | | | | | |



| | | | | | | | |
|---------|--------------|--------|-----------|--|-------------------|-------------------|----------|
| | | | | Tolerancia | Peso | Material: | |
| | | | | ±1 | 75 gr | Acrílico | |
| | | | | Fecha | Nombre | Título: | Escala |
| | | | Dibujado: | 14/07/2020 | Eduardo Aleaga | | |
| | | | Revisado: | 16/07/2020 | Ing. Juan Paredes | | |
| | | | | Aprobado: | 16/07/2020 | Ing. Juan Paredes | |
| | | | | U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA | | Número de lámina: | Registro |
| | | | | | | | |
| Edición | Modificación | Nombre | Fecha | | | Sustitución: | |

1

2

3

4

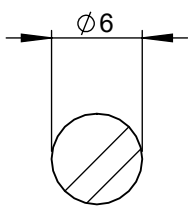
A

B

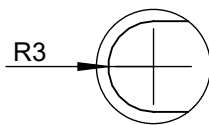
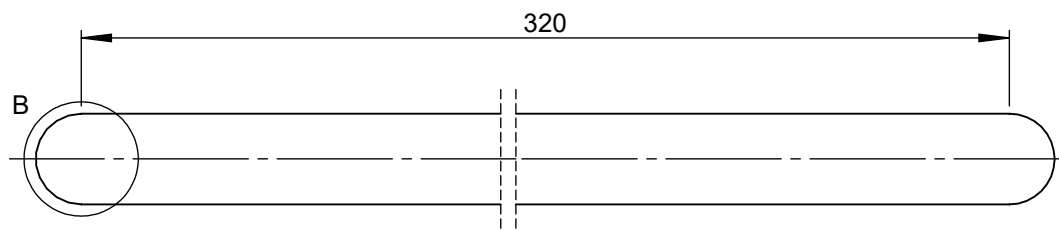
C

D

E



SECCIÓN A-A
ESCALA 2 : 1



DETALLE B
ESCALA 2 : 1

| | | | | | | | |
|---------|--------------|--------|-------|--|-------------------|-------------------|----------|
| | | | | Tolerancia | Peso | Material: | |
| | | | | ± 1 | 71 gr | Acero inoxidable | |
| | | | | Fecha | Nombre | Título: | Escala |
| | | | | Dibujado: 14/07/2020 | Eduardo Aleaga | EJE AVANCE | 2:1 |
| | | | | Revisado: 16/07/2020 | Ing. Juan Paredes | | |
| | | | | Aprobado: 16/07/2020 | Ing. Juan Paredes | | |
| | | | | U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA | | Número de lámina: | Registro |
| Edición | Modificación | Nombre | Fecha | | | 03 de 18 | |
| | | | | Sustitución: | | | |

1

2

3

4

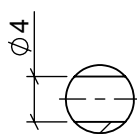
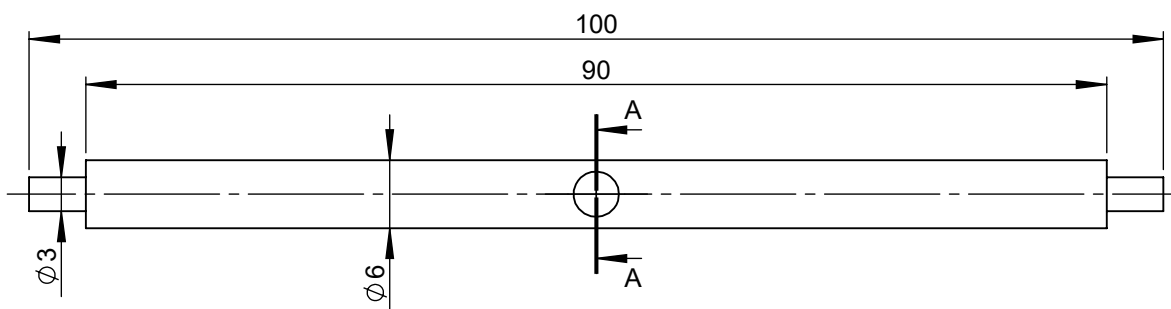
A

B

C

D

E



SECCIÓN A-A
ESCALA 1.5 : 1

| | | | | | | | |
|---------|--------------|--------|-------|--|-------------------|-------------------|----------|
| | | | | Tolerancia | Peso | Material: | |
| | | | | ± 1 | 20 gr | Acero inoxidable | |
| | | | | Fecha | Nombre | Título: | Escala |
| | | | | Dibujado: 14/07/2020 | Eduardo Aleaga | EJE RUEDAS | 1.5:1 |
| | | | | Revisado: 16/07/2020 | Ing. Juan Paredes | | |
| | | | | Aprobado: 16/07/2020 | Ing. Juan Paredes | | |
| | | | | U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA | | Número de lámina: | Registro |
| Edición | Modificación | Nombre | Fecha | | | 04 de 18 | |
| | | | | Sustitución: | | | |

1

2

3

4

Número de dientes: 24
Módulo: 2

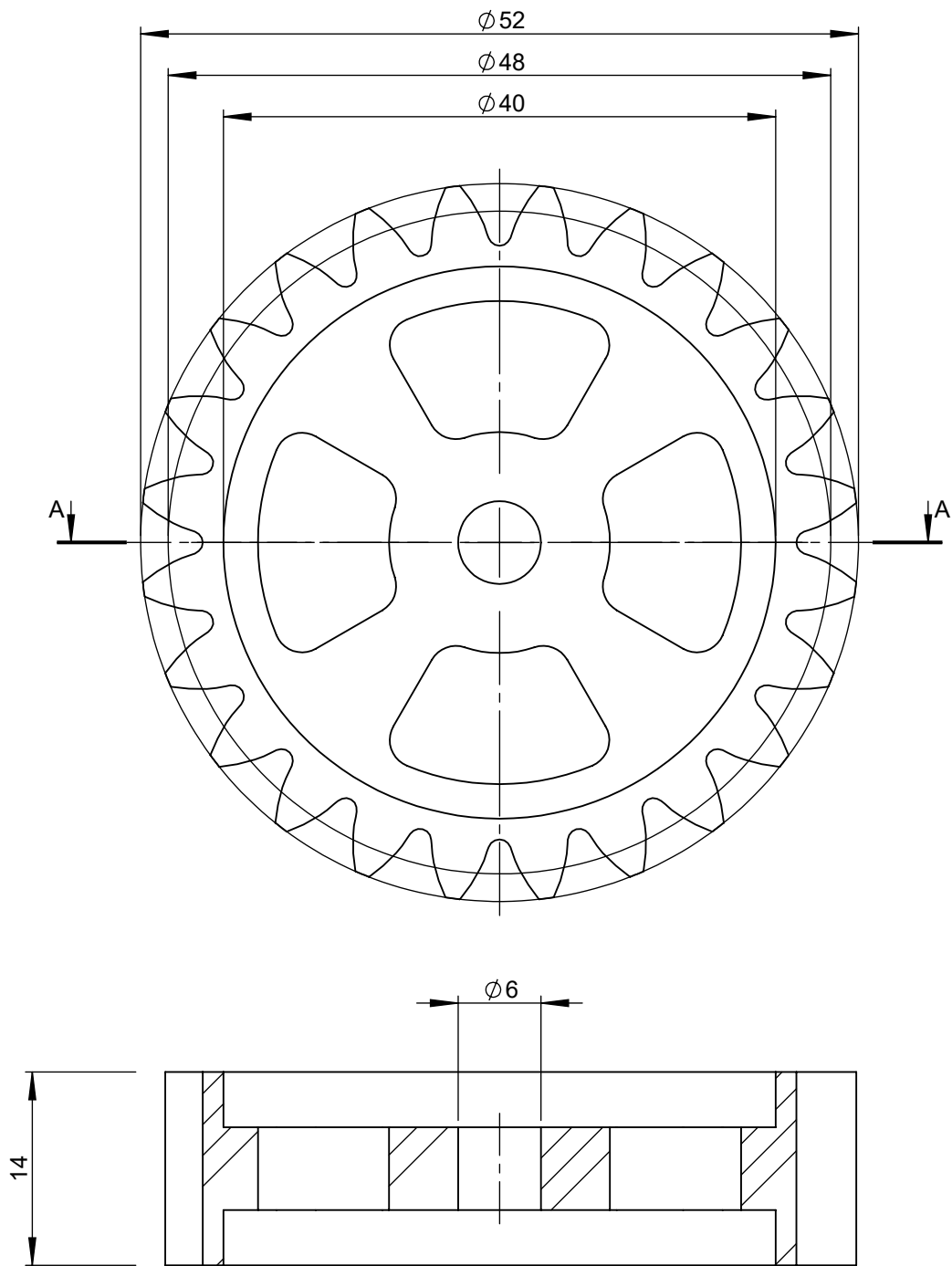
A

B

C

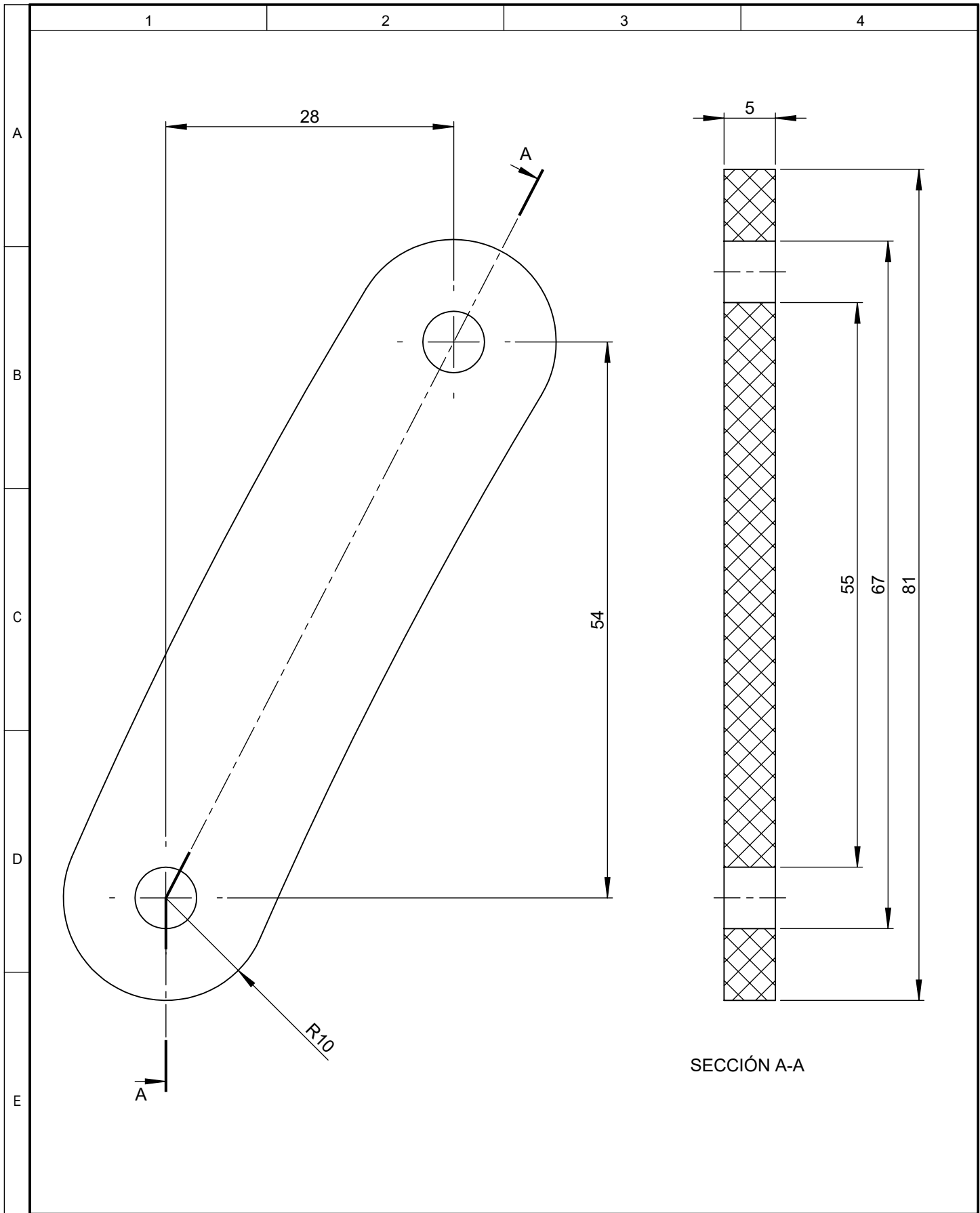
D

E

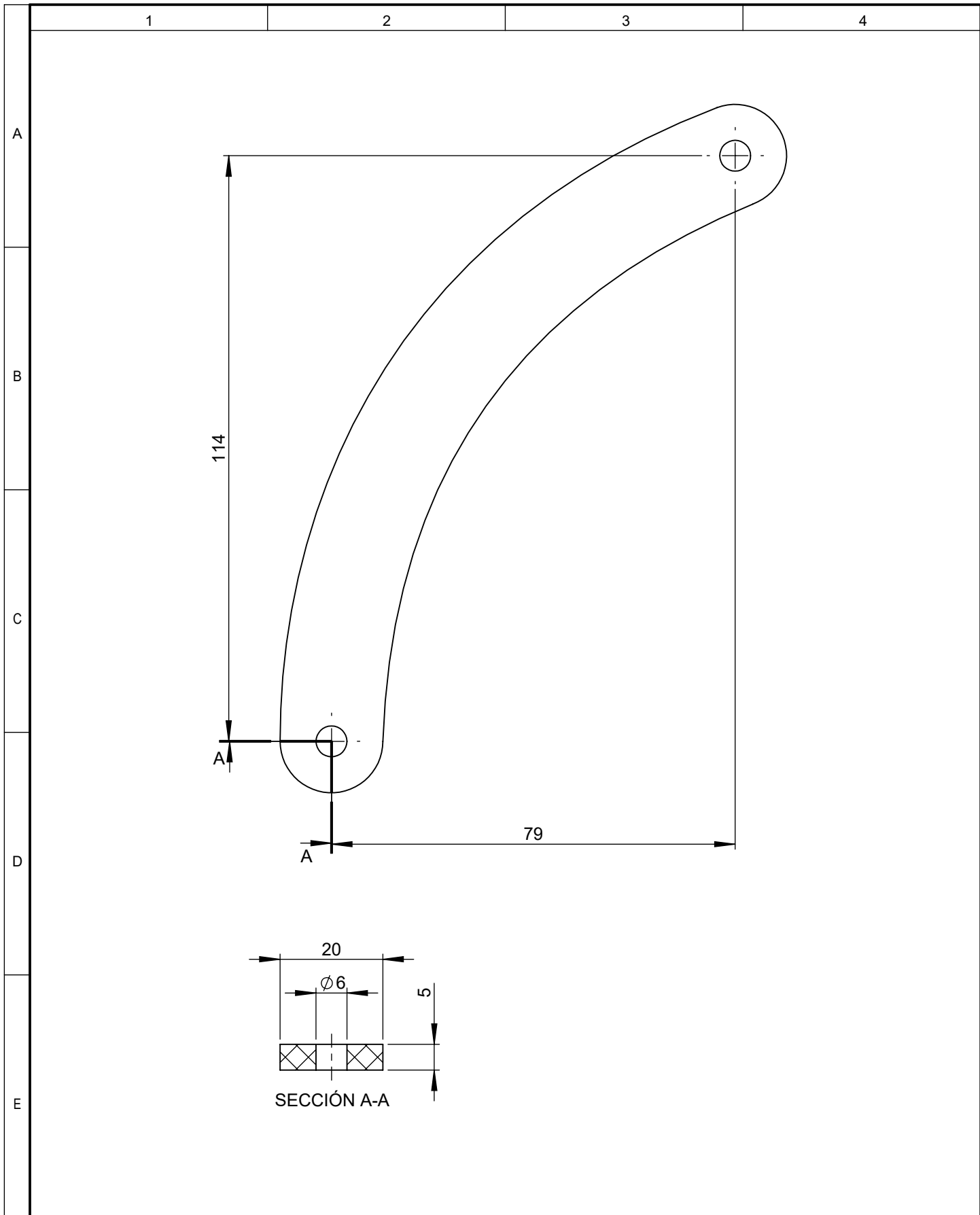


SECCIÓN A-A
ESCALA 2 : 1

| | | | | | | | |
|---------|--------------|--------|-------|--|-------------------|-------------------|----------|
| | | | | Tolerancia | Peso | Material: | |
| | | | | ±1 | 11 gr | PE | |
| | | | | Fecha | Nombre | Título: | Escala |
| | | | | Dibujado: 14/07/2020 | Eduardo Aleaga | | |
| | | | | Revisado: 16/07/2020 | Ing. Juan Paredes | | |
| | | | | Aprobado: 16/07/2020 | Ing. Juan Paredes | ENGRANAJE ACOUPLE | |
| | | | | U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA | | Número de lámina: | Registro |
| | | | | | | 05 de 18 | |
| Edición | Modificación | Nombre | Fecha | Sustitución: | | | |



| | | | | | | | |
|---------|--------------|--------|-------|--|-------------------|-------------------|----------|
| | | | | Tolerancia | Peso | Material: | |
| | | | | ±1 | 9 gr | Acrílico | |
| | | | | Fecha | Nombre | Título: | Escala |
| | | | | Dibujado: 14/07/2020 | Eduardo Aleaga | ESLABÓN 01 | 1:1 |
| | | | | Revisado: 16/07/2020 | Ing. Juan Paredes | | |
| | | | | Aprobado: 16/07/2020 | Ing. Juan Paredes | | |
| | | | | U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA | | Número de lámina: | Registro |
| Edición | Modificación | Nombre | Fecha | | | 06 de 18 | |
| | | | | Sustitución: | | | |



| | | | | | | | |
|---------|--------------|--------|-----------|--|-------------------|-------------------|----------|
| | | | | Tolerancia | Peso | Material: | |
| | | | | ±1 | 20 gr | Acrílico | |
| | | | | Fecha | Nombre | Título: | Escala |
| | | | Dibujado: | 14/07/2020 | Eduardo Aleaga | | |
| | | | Revisado: | 16/07/2020 | Ing. Juan Paredes | | |
| | | | | Aprobado: | 16/07/2020 | Ing. Juan Paredes | |
| | | | | U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA | | Número de lámina: | Registro |
| | | | | | | 07 de 18 | |
| Edición | Modificación | Nombre | Fecha | Sustitución: | | | |

1

2

3

4

Número de dientes: 11
Módulo: 2

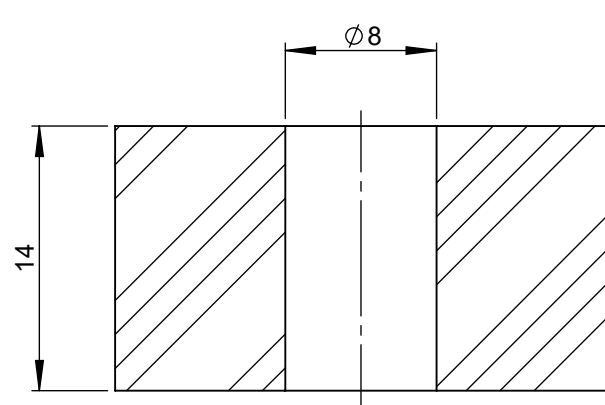
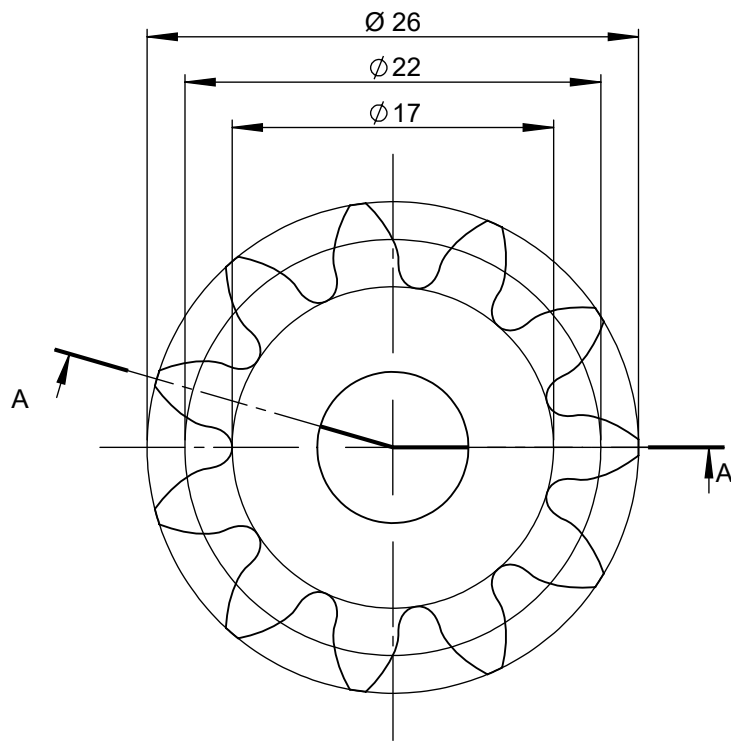
A

B

C

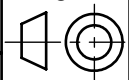
D

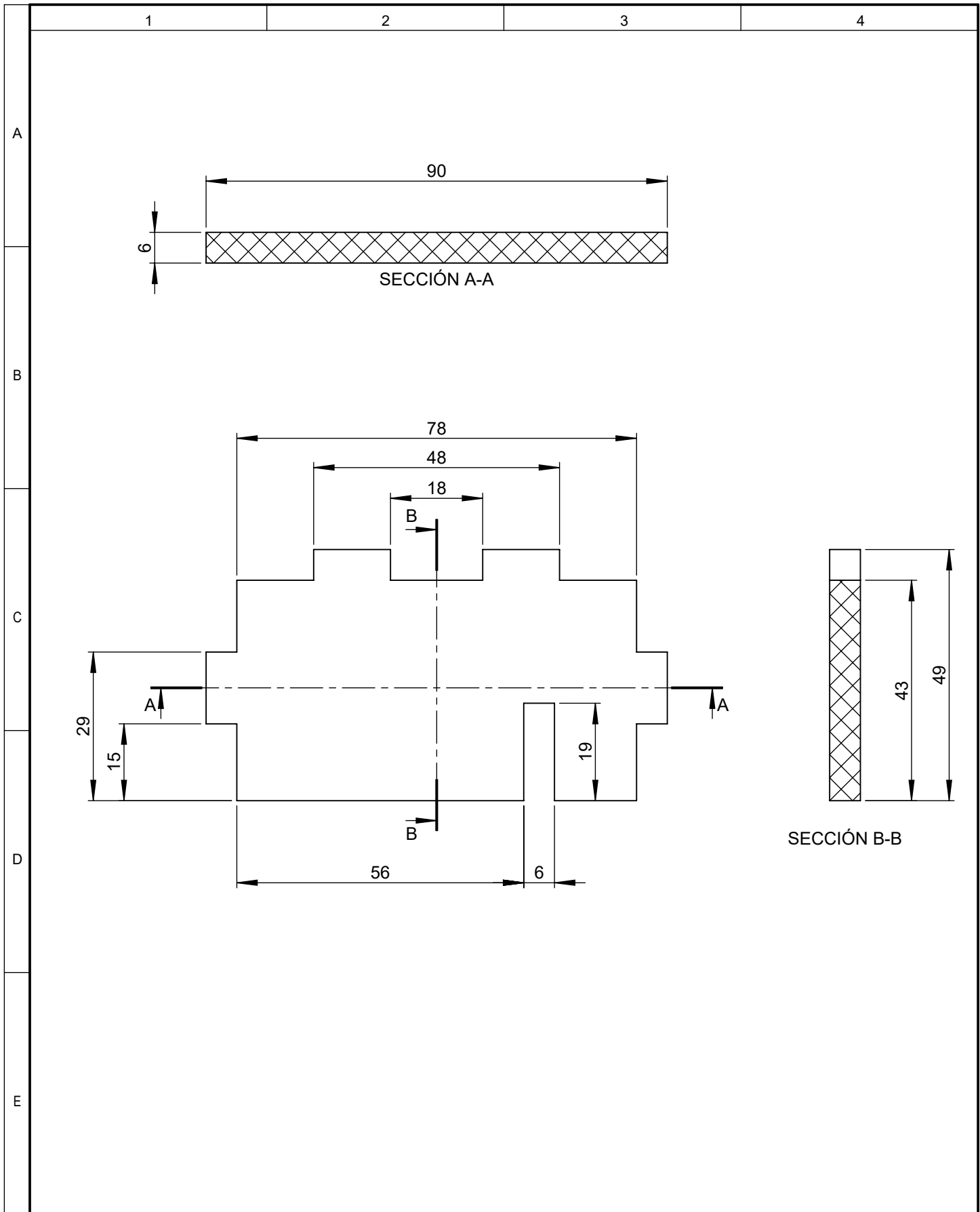
E



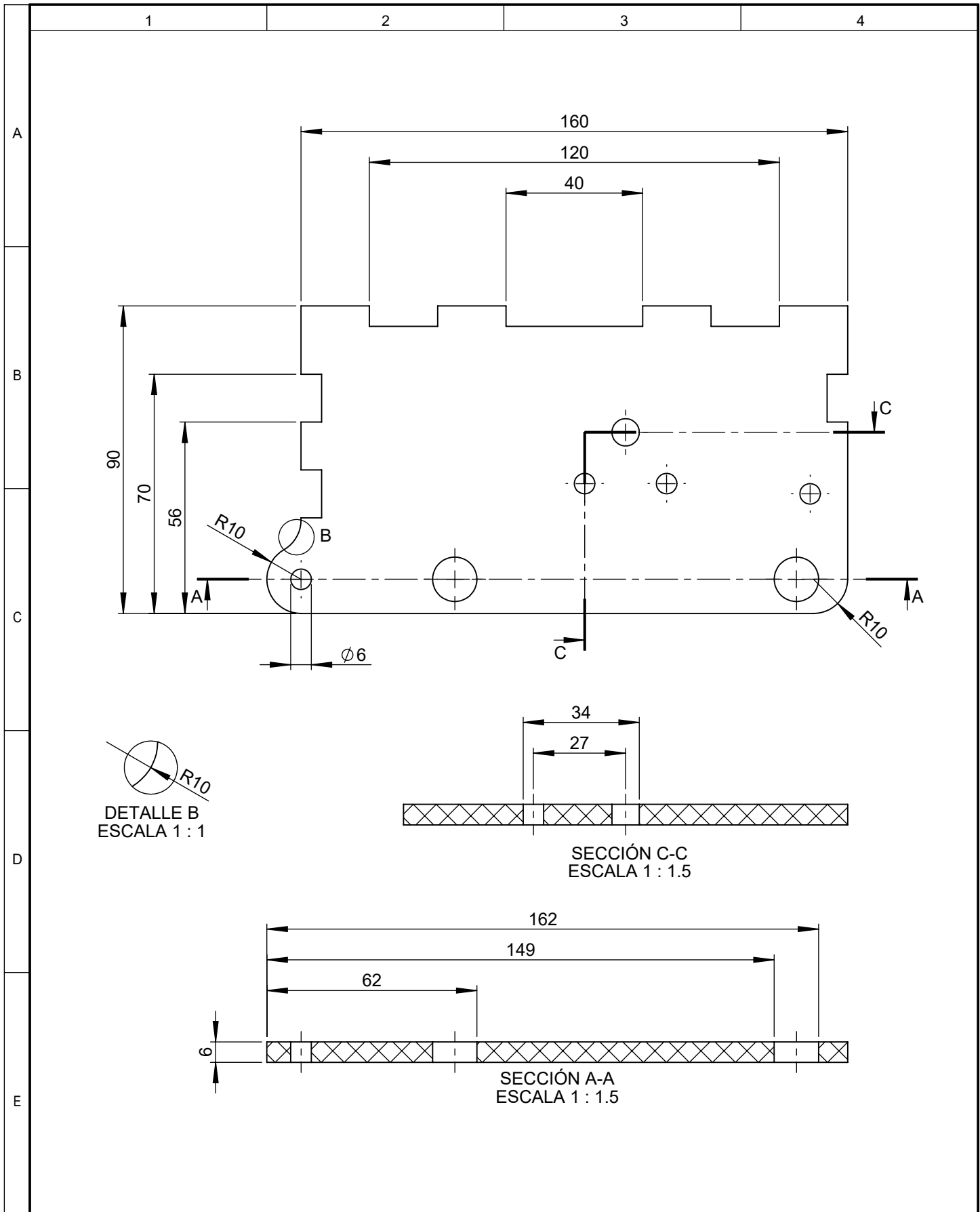
SECTION A-A
ESCALA 2.5 : 1

| | | | | | | | | |
|---------|--------------|--------|----------------------|--|--------|-------------------|----------|----------|
| | | | | Tolerancia | Peso | Material: | | |
| | | | | ±1 | 4 gr | PE | | |
| | | | | Fecha | Nombre | Título: | Escala | |
| | | | Dibujado: 14/07/2020 | Eduardo Aleaga | PIÑÓN | | | 2.5:1 |
| | | | Revisado: 16/07/2020 | Ing. Juan Paredes | | | | |
| | | | Aprobado: 16/07/2020 | Ing. Juan Paredes | | | | |
| | | | | U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA | | Número de lámina: | Registro | |
| Edición | Modificación | Nombre | Fecha | | | Sustitución: | | 08 de 18 |



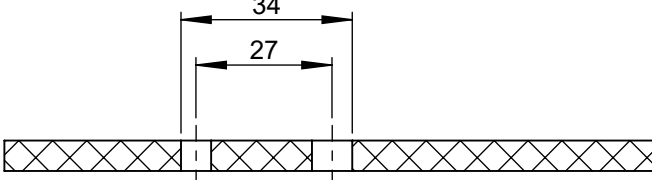


| | | | | | | | |
|---------|--------------|--------|-----------|--|-------------------|-------------------|----------|
| | | | | Tolerancia | Peso | Material: | |
| | | | | ±1 | 26 gr | Acrílico | |
| | | | | Fecha | Nombre | Título: | Escala |
| | | | Dibujado: | 14/07/2020 | Eduardo Aleaga | | |
| | | | Revisado: | 16/07/2020 | Ing. Juan Paredes | | |
| | | | | Aprobado: | 16/07/2020 | Ing. Juan Paredes | |
| | | | | U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA | | Número de lámina: | Registro |
| | | | | | | | |
| Edición | Modificación | Nombre | Fecha | | | Sustitución: | |

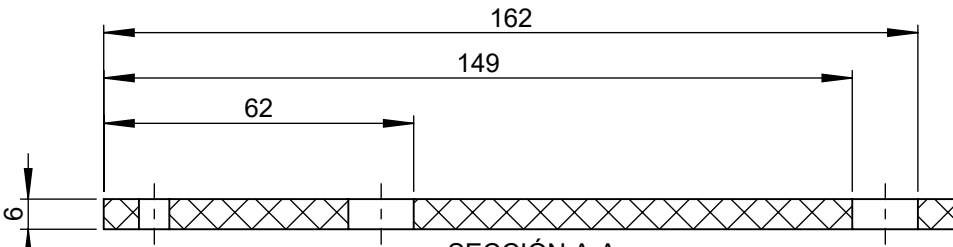




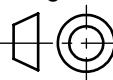
DETALLE B
 ESCALA 1 : 1

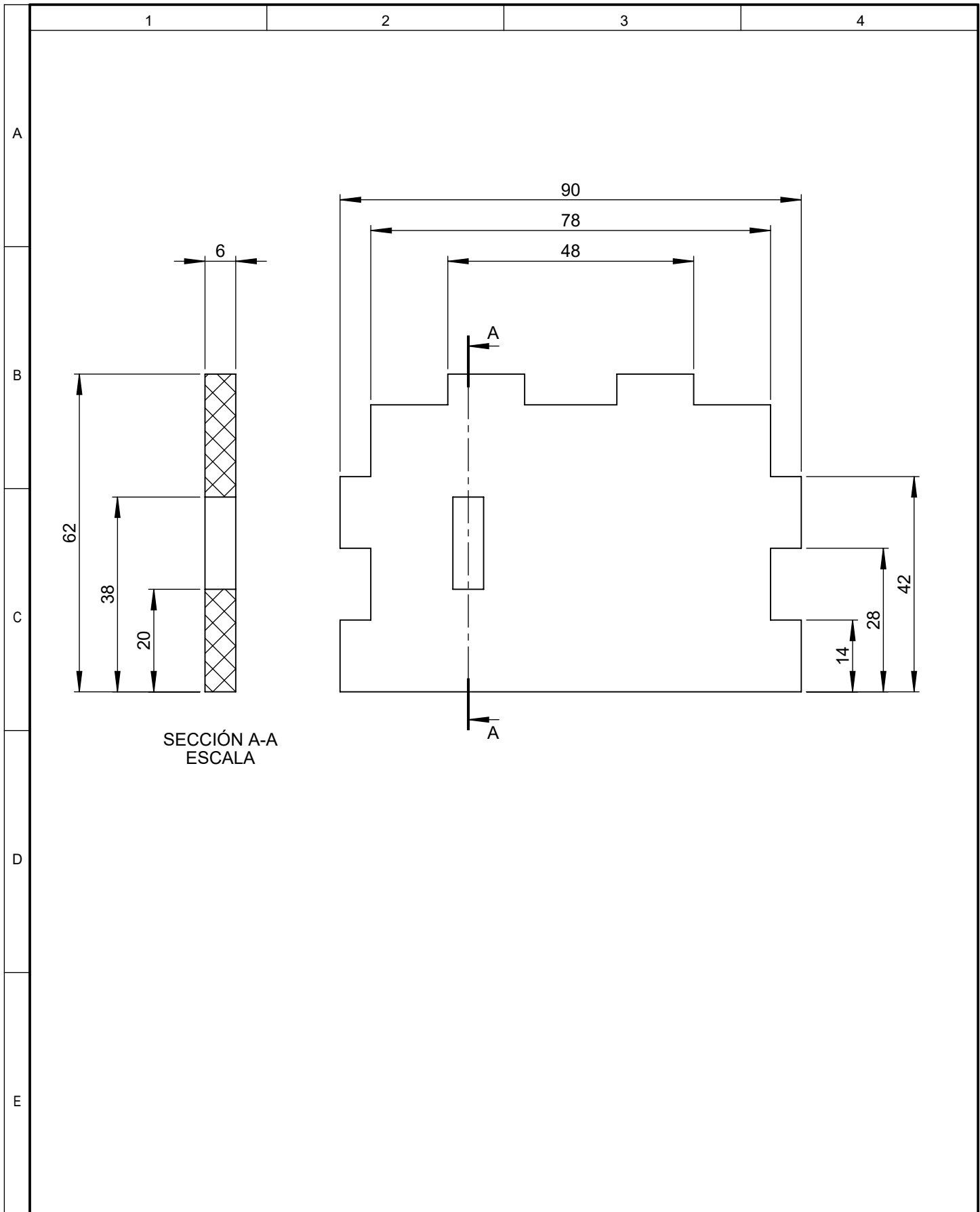


SECCIÓN C-C
 ESCALA 1 : 1.5



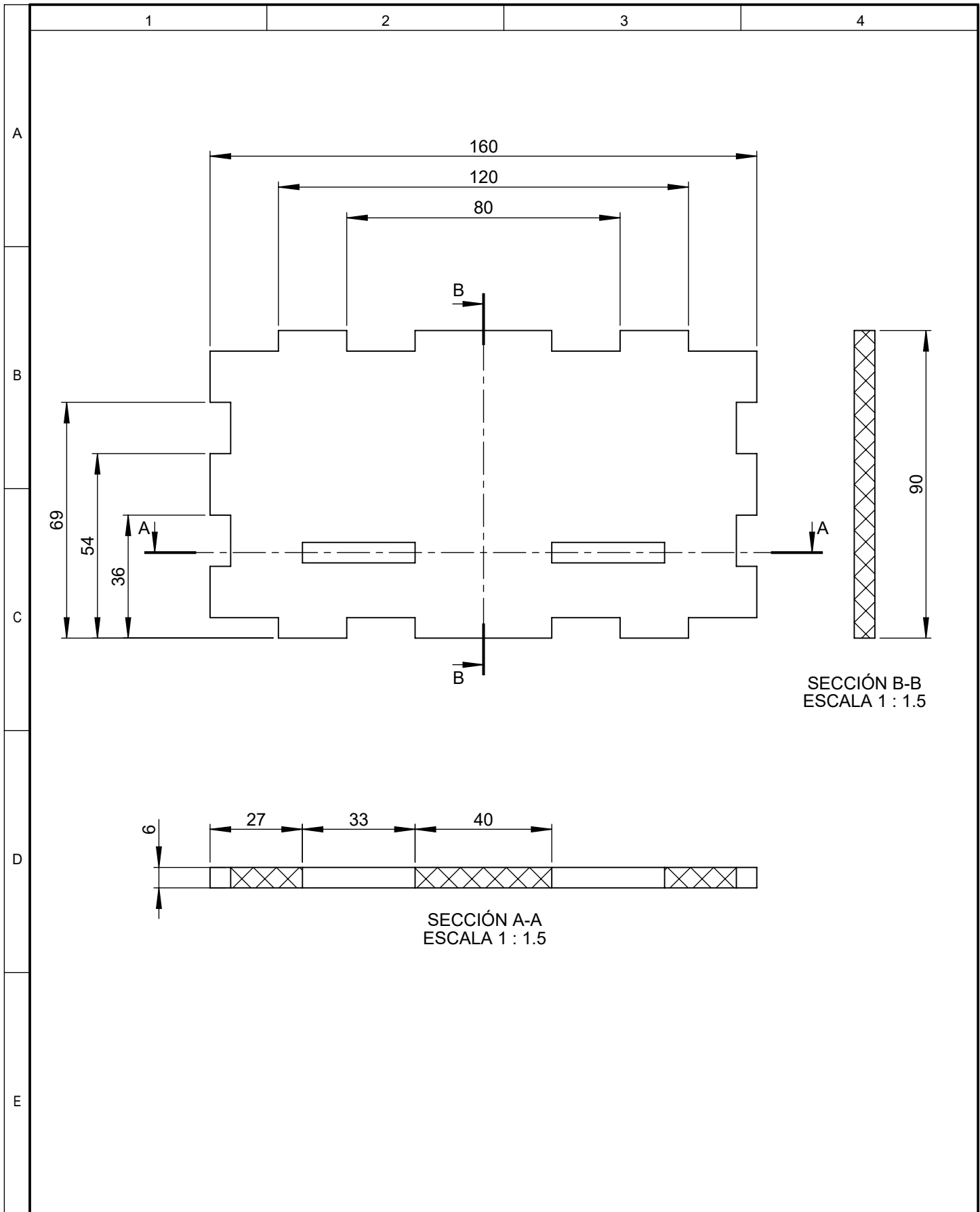
SECCIÓN A-A
 ESCALA 1 : 1.5

| | | | | | | | |
|---------|--------------|--------|-----------|--|-------------------|---|----------|
| | | | | Tolerancia | Peso | Material: | |
| | | | | ±1 | 96 gr | Acrílico | |
| | | | | Fecha | Nombre | Título: | Escala |
| | | | Dibujado: | 14/07/2020 | Eduardo Aleaga | | |
| | | | Revisado: | 16/07/2020 | Ing. Juan Paredes | | |
| | | | | Aprobado: | 16/07/2020 | Ing. Juan Paredes | |
| | | | | U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA | | Número de lámina: | Registro |
| | | | | | | 10 de 18 | |
| Edición | Modificación | Nombre | Fecha | Sustitución: | |  | |



SECCIÓN A-A
ESCALA

| | | | | | | | |
|---------|--------------|--------|-----------|--|-------------------|-------------------|----------|
| | | | | Tolerancia | Peso | Material: | |
| | | | | ±1 | 34 gr | Acrílico | |
| | | | | Fecha | Nombre | Título: | Escala |
| | | | Dibujado: | 14/07/2020 | Eduardo Aleaga | | |
| | | | Revisado: | 16/07/2020 | Ing. Juan Paredes | | |
| | | | | Aprobado: | 16/07/2020 | Ing. Juan Paredes | |
| | | | | U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA | | Número de lámina: | Registro |
| | | | | | | | |
| Edición | Modificación | Nombre | Fecha | Sustitución: | | | |



SECCIÓN B-B
ESCALA 1 : 1.5

SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 1.5

| | | | | | | | |
|---------|--------------|--------|-----------|--|-------------------|-------------------|----------|
| | | | | Tolerancia | Peso | Material: | |
| | | | | ±1 | 91 gr | Acrílico | |
| | | | | Fecha | Nombre | Título: | Escala |
| | | | Dibujado: | 14/07/2020 | Eduardo Aleaga | | |
| | | | Revisado: | 16/07/2020 | Ing. Juan Paredes | | |
| | | | | Aprobado: | 16/07/2020 | Ing. Juan Paredes | |
| | | | | U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA | | Número de lámina: | Registro |
| | | | | | | | |
| Edición | Modificación | Nombre | Fecha | Sustitución: | | | |

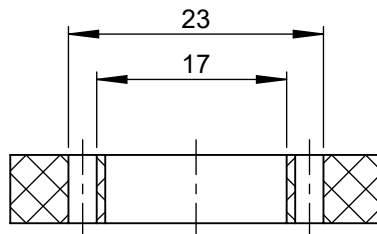
1

2

3

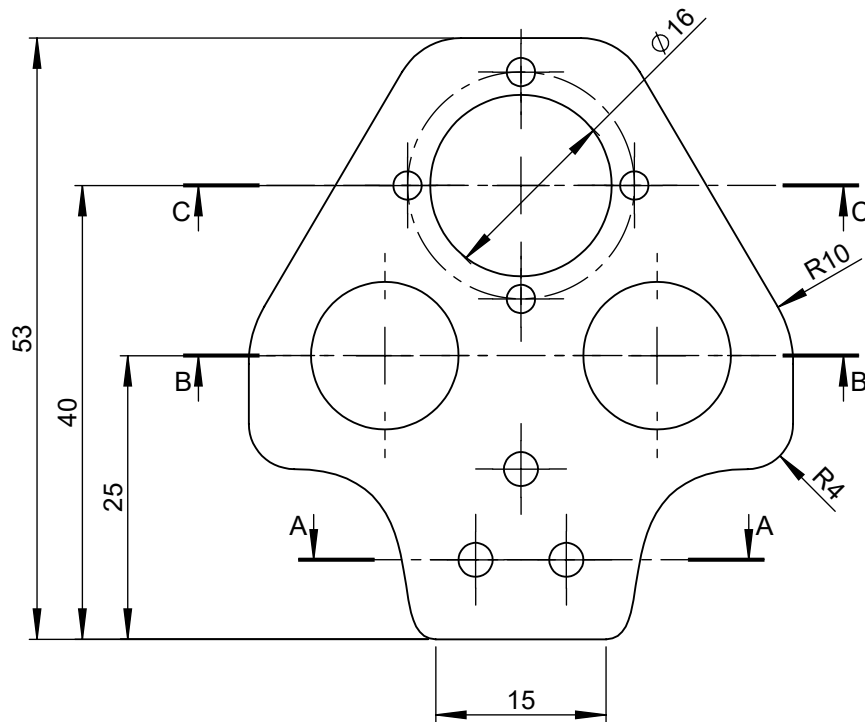
4

A



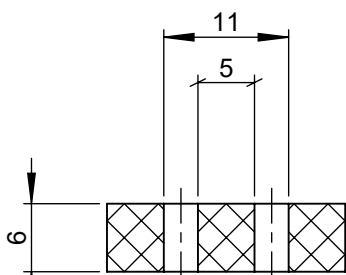
SECCIÓN C-C
ESCALA 1.5 : 1

B

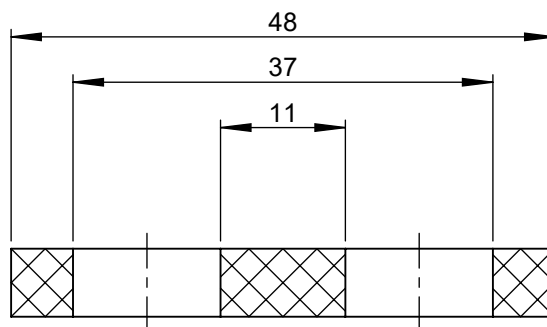


C

D



SECCIÓN A-A
ESCALA 1.5 : 1



SECCIÓN B-B
ESCALA 1.5 : 1

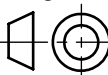
E

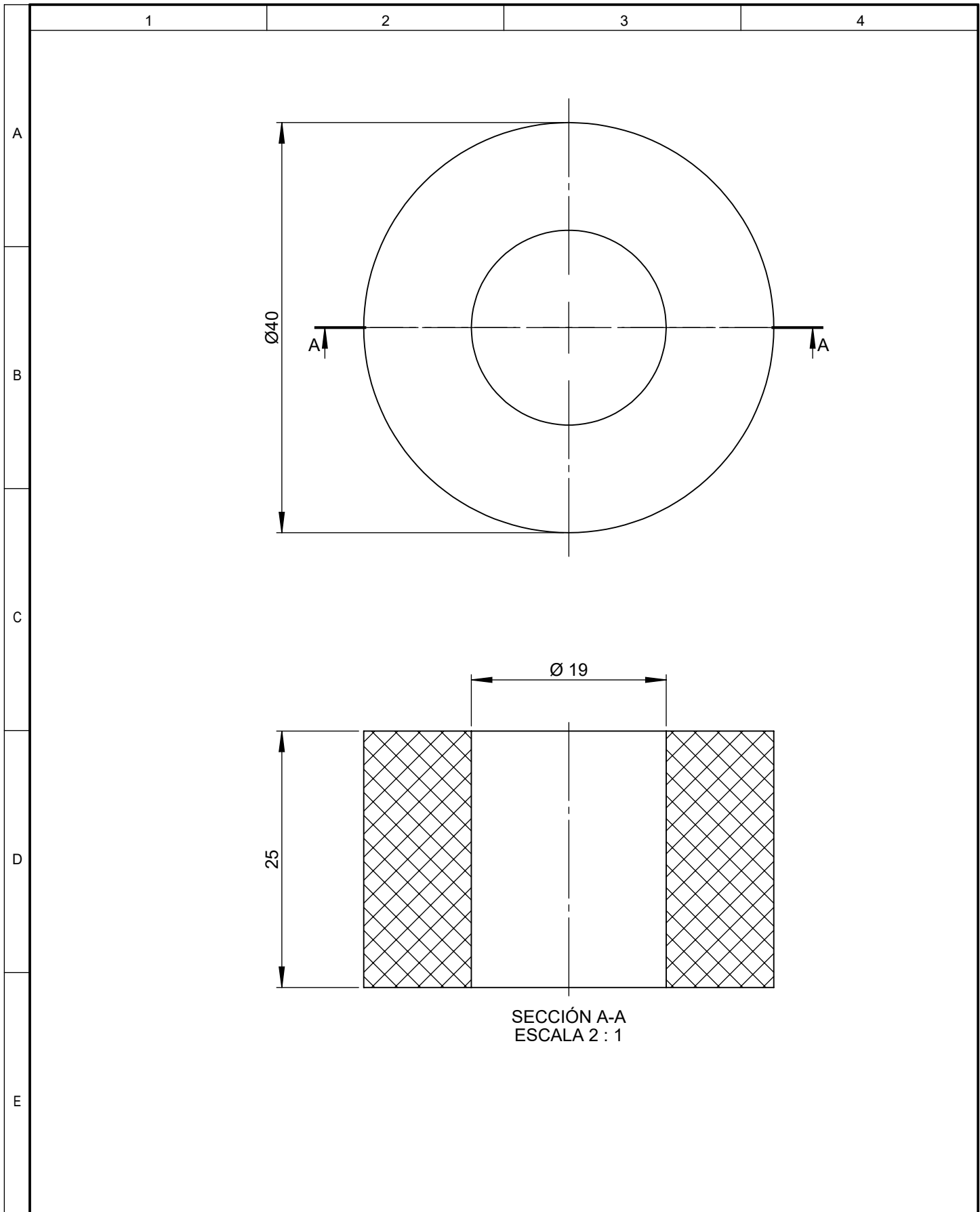
| | | | | | | | |
|---------|--------------|--------|-----------|--|-------------------|-------------------|----------|
| | | | | Tolerancia | Peso | Material: | |
| | | | | ±1 | 9 gr | Acrílico | |
| | | | | Fecha | Nombre | Título: | Escala |
| | | | Dibujado: | 14/07/2020 | Eduardo Aleaga | | |
| | | | Revisado: | 16/07/2020 | Ing. Juan Paredes | | |
| | | | | Aprobado: | 16/07/2020 | Ing. Juan Paredes | |
| | | | | U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA | | Número de lámina: | Registro |
| | | | | | | | |
| Edición | Modificación | Nombre | Fecha | | | Sustitución: | |

PORTA TRANSDUCTOR

1.5:1

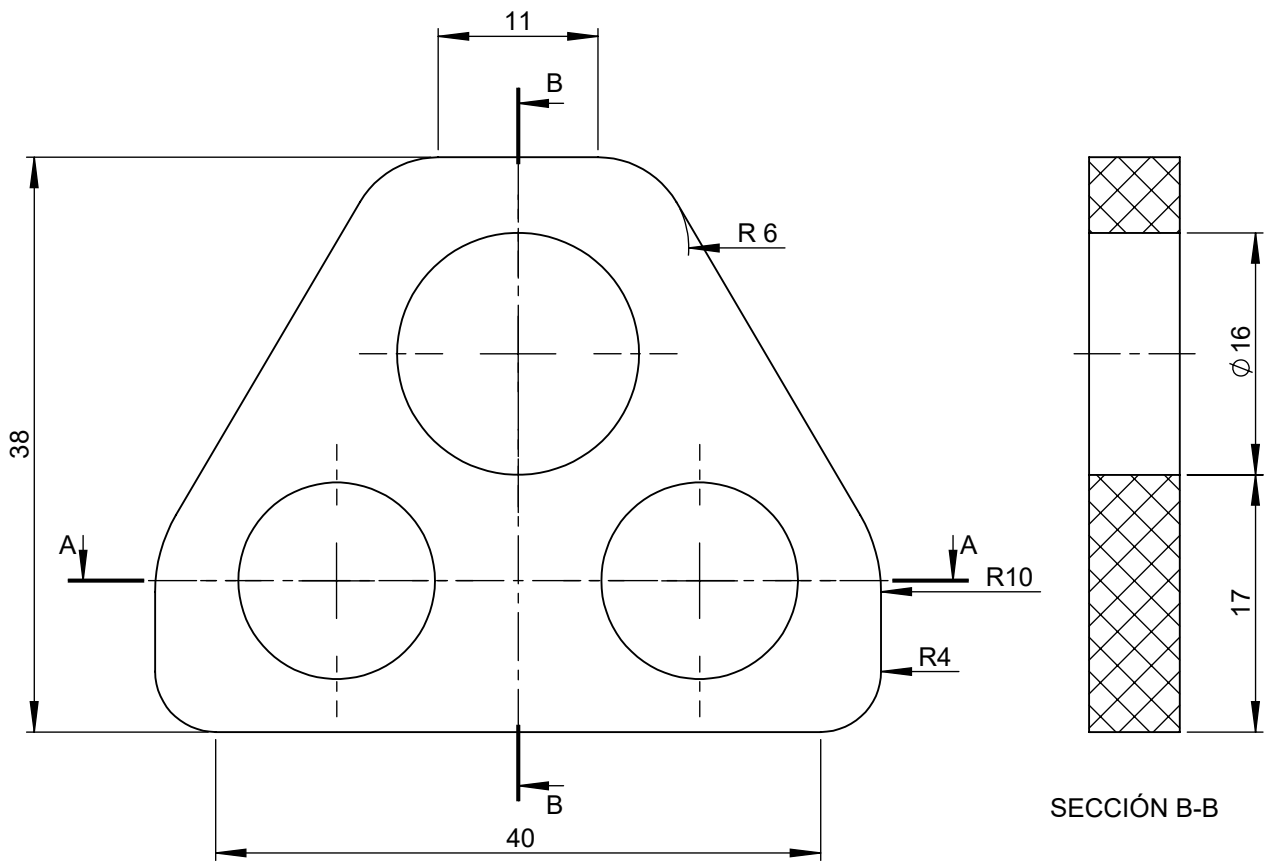
Registro





SECCIÓN A-A
ESCALA 2 : 1

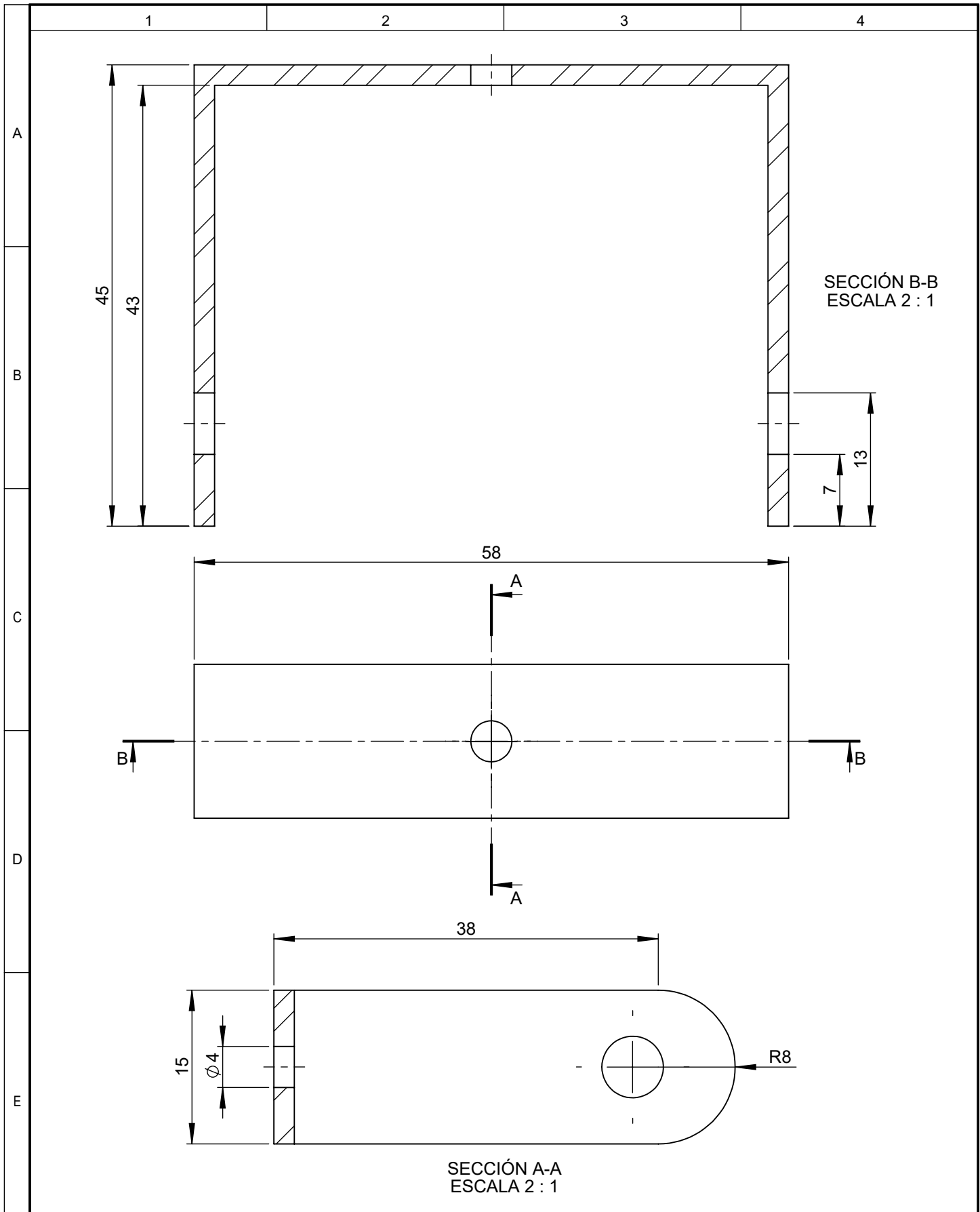
| | | | | | | | |
|---------|--------------|--------|-------|--|-------------------|-------------------|----------|
| | | | | Tolerancia | Peso | Material: | |
| | | | | ± 1 | 25 gr | ABS | |
| | | | | Fecha | Nombre | Título: | Escala |
| | | | | Dibujado: 14/07/2020 | Eduardo Aleaga | | |
| | | | | Revisado: 16/07/2020 | Ing. Juan Paredes | | |
| | | | | Aprobado: 16/07/2020 | Ing. Juan Paredes | RUEDA | |
| | | | | U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA | | Número de lámina: | Registro |
| | | | | | | 14 de 18 | |
| Edición | Modificación | Nombre | Fecha | Sustitución: | | | |



SECCIÓN B-B

SECCIÓN A-A

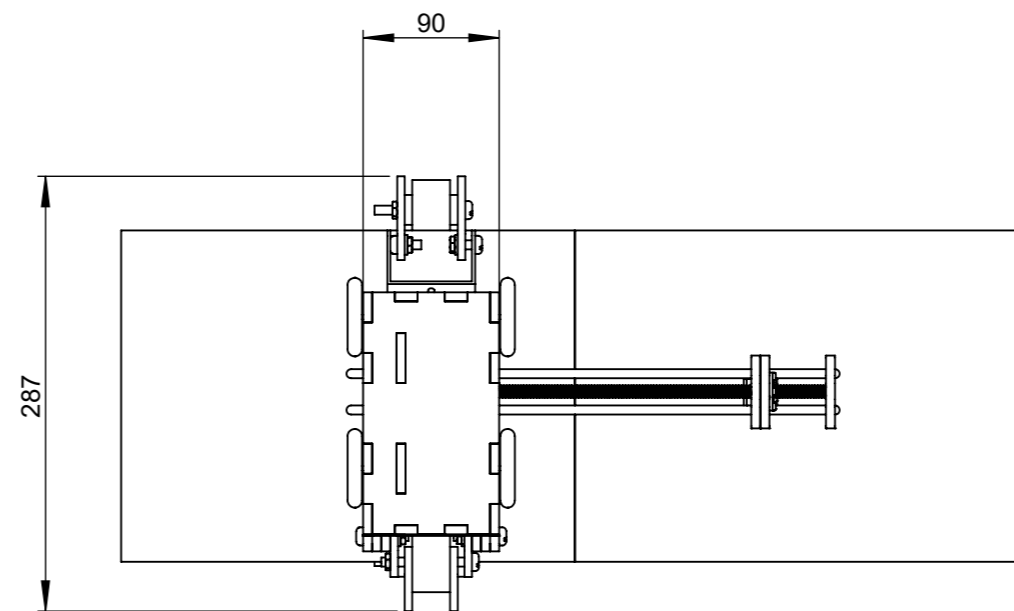
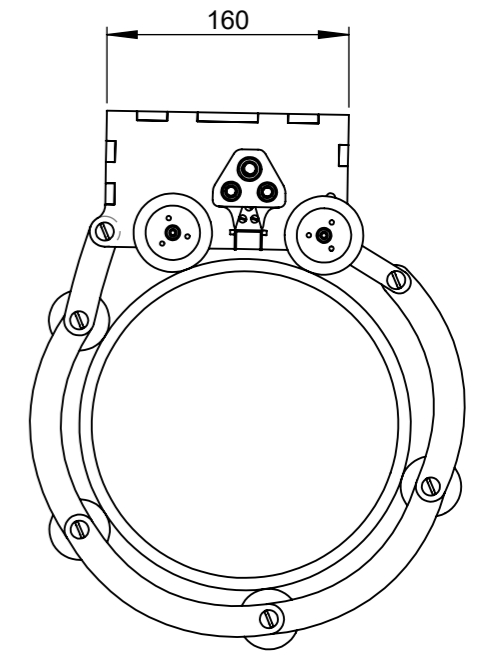
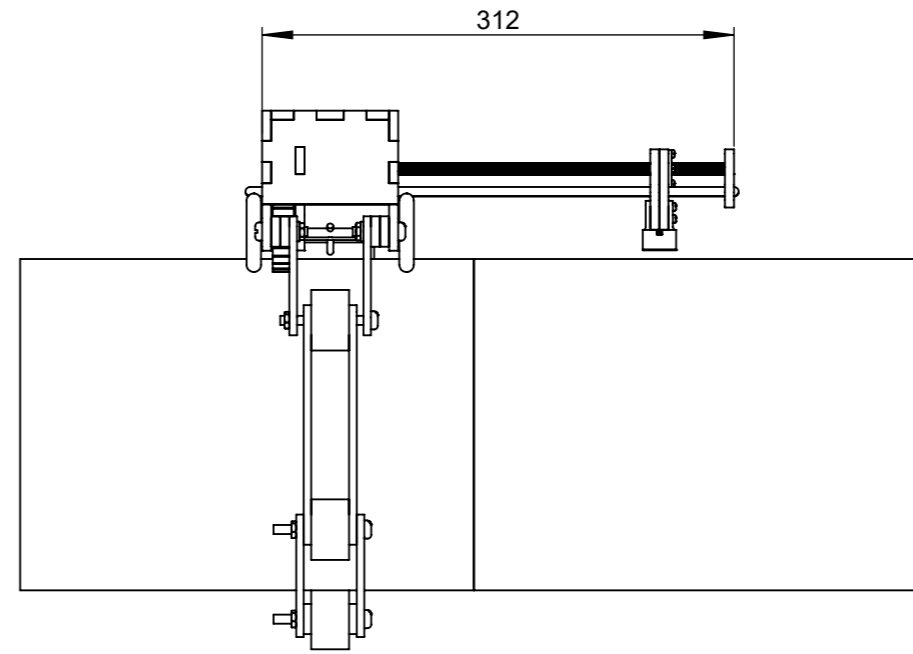
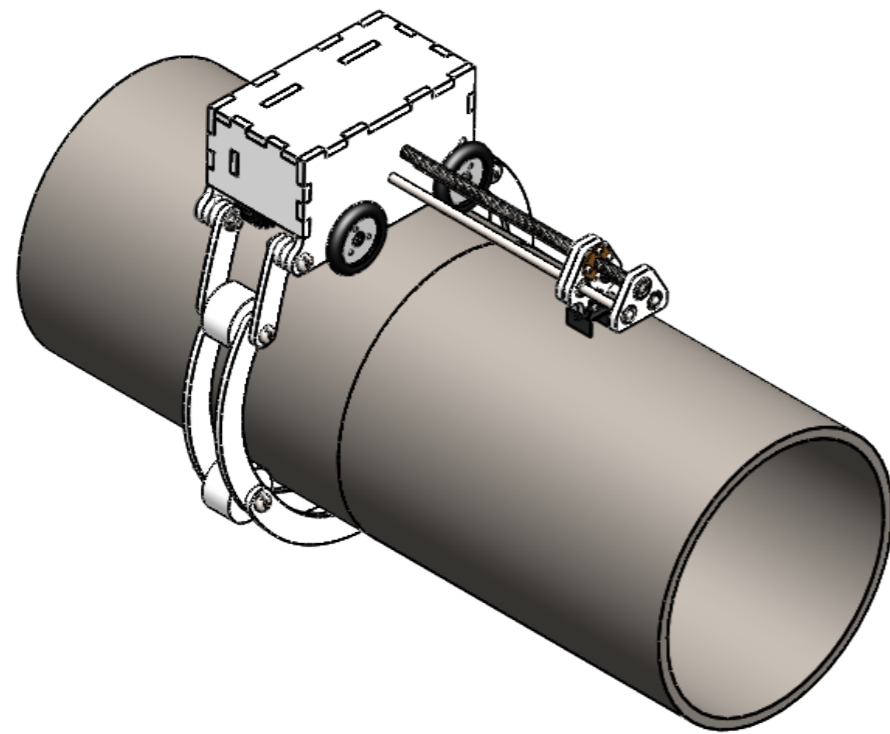
| | | | | | | | | | |
|---------|--------------|--------|-------|--|-------------------|-------------------|----------|--------------|-----|
| | | | | Tolerancia | Peso | Material: | | | |
| | | | | ± 1 | 7 gr | Acrílico | | | |
| | | | | Fecha | Nombre | Título: | Escala | | |
| | | | | Dibujado: 14/07/2020 | Eduardo Aleaga | | | SOPORTE EJES | 2:1 |
| | | | | Revisado: 16/07/2020 | Ing. Juan Paredes | | | | |
| | | | | Aprobado: 16/07/2020 | Ing. Juan Paredes | | | | |
| | | | | U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA | | Número de lámina: | Registro | | |
| | | | | | | 15 de 18 | | | |
| Edición | Modificación | Nombre | Fecha | Sustitución: | | | | | |



SECCIÓN B-B
ESCALA 2 : 1

SECCIÓN A-A
ESCALA 2 : 1

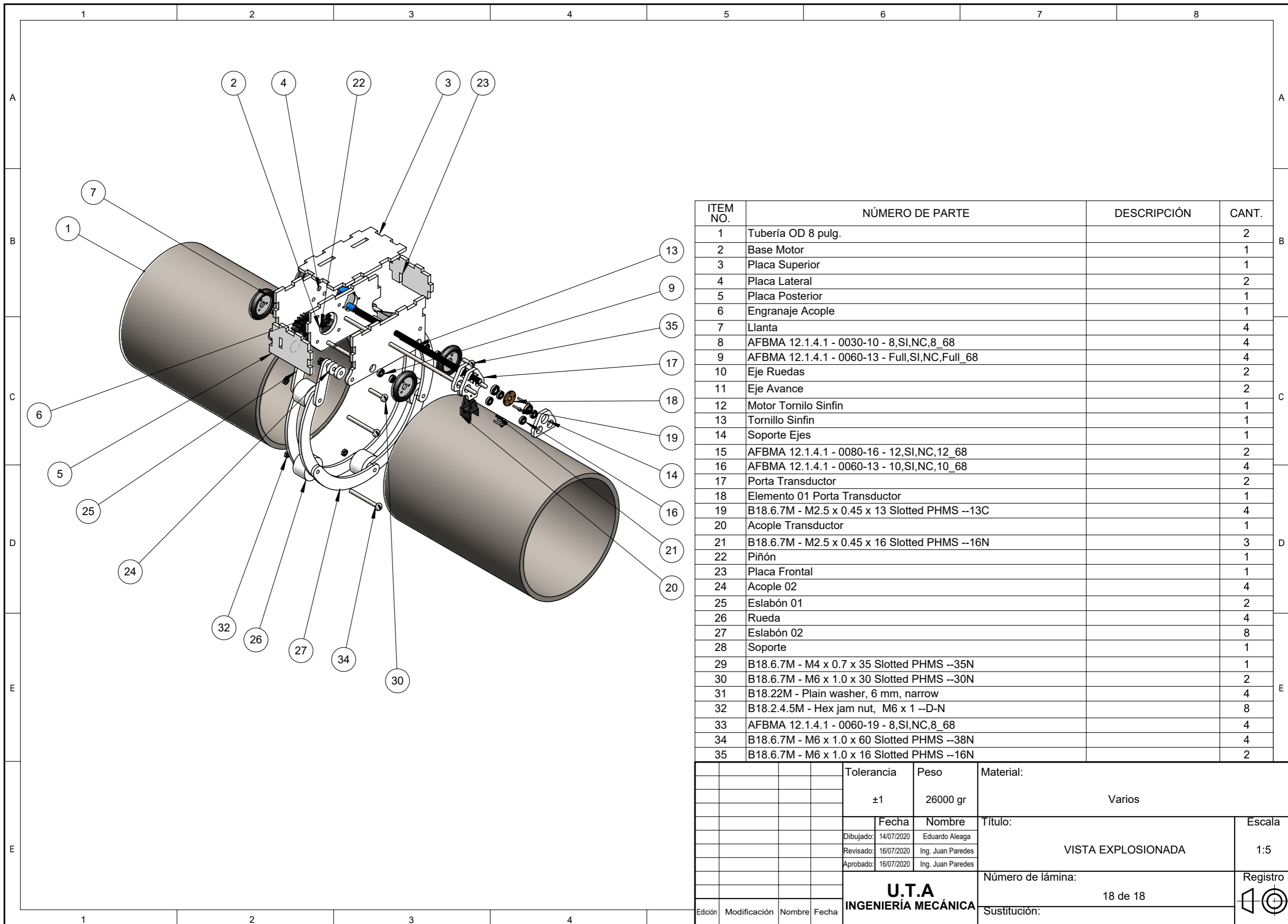
| | | | | | | | |
|---------|--------------|--------|-----------|--|-------------------|-------------------|----------|
| | | | | Tolerancia | Peso | Material: | |
| | | | | ±1 | 32 gr | Acero AISI 1020 | |
| | | | | Fecha | Nombre | Título: | Escala |
| | | | Dibujado: | 14/07/2020 | Eduardo Aleaga | | |
| | | | Revisado: | 16/07/2020 | Ing. Juan Paredes | | |
| | | | | Aprobado: | 16/07/2020 | Ing. Juan Paredes | 2:1 |
| | | | | U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA | | Número de lámina: | Registro |
| | | | | | | 16 de 18 | |
| Edición | Modificación | Nombre | Fecha | Sustitución: | | | |



| | | | | | | | |
|--|--|--|--|------------------------------|------------|-------------------|------------|
| | | | | Tolerancia | Peso | Material: | |
| | | | | ±1 | 26000 gr | Varios | |
| | | | | | Fecha | Nombre | Título: |
| | | | | Dibujado: | 14/07/2020 | Eduardo Aleaga | ENSAMBLAJE |
| | | | | Revisado: | 16/07/2020 | Ing. Juan Paredes | |
| | | | | Aprobado: | 16/07/2020 | Ing. Juan Paredes | |
| | | | | U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA | | Número de lámina: | |
| | | | | | | 17 de 18 | |
| | | | | | | Sustitución: | Registro |
| | | | | | | | 1:5 |

| | | | |
|---------|--------------|--------|-------|
| Edición | Modificación | Nombre | Fecha |
| | | | |





| ITEM NO. | NÚMERO DE PARTE | DESCRIPCIÓN | CANT. |
|----------|--|-------------|-------|
| 1 | Tubería OD 8 pulg. | | 2 |
| 2 | Base Motor | | 1 |
| 3 | Placa Superior | | 1 |
| 4 | Placa Lateral | | 2 |
| 5 | Placa Posterior | | 1 |
| 6 | Engranaje Acople | | 1 |
| 7 | Llanta | | 4 |
| 8 | AFBMA 12.1.4.1 - 0030-10 - 8,SI,NC,8_68 | | 4 |
| 9 | AFBMA 12.1.4.1 - 0060-13 - Full,SI,NC,Full_68 | | 4 |
| 10 | Eje Ruedas | | 2 |
| 11 | Eje Avance | | 2 |
| 12 | Motor Tornillo Sinfin | | 1 |
| 13 | Tornillo Sinfin | | 1 |
| 14 | Soporte Ejes | | 1 |
| 15 | AFBMA 12.1.4.1 - 0080-16 - 12,SI,NC,12_68 | | 2 |
| 16 | AFBMA 12.1.4.1 - 0060-13 - 10,SI,NC,10_68 | | 4 |
| 17 | Porta Transductor | | 2 |
| 18 | Elemento 01 Porta Transductor | | 1 |
| 19 | B18.6.7M - M2.5 x 0.45 x 13 Slotted PHMS --13C | | 4 |
| 20 | Acople Transductor | | 1 |
| 21 | B18.6.7M - M2.5 x 0.45 x 16 Slotted PHMS --16N | | 3 |
| 22 | Piñón | | 1 |
| 23 | Placa Frontal | | 1 |
| 24 | Acople 02 | | 4 |
| 25 | Eslabón 01 | | 2 |
| 26 | Rueda | | 4 |
| 27 | Eslabón 02 | | 8 |
| 28 | Soporte | | 1 |
| 29 | B18.6.7M - M4 x 0.7 x 35 Slotted PHMS --35N | | 1 |
| 30 | B18.6.7M - M6 x 1.0 x 30 Slotted PHMS --30N | | 2 |
| 31 | B18.22M - Plain washer, 6 mm, narrow | | 4 |
| 32 | B18.2.4.5M - Hex jam nut, M6 x 1 --D-N | | 8 |
| 33 | AFBMA 12.1.4.1 - 0060-19 - 8,SI,NC,8_68 | | 4 |
| 34 | B18.6.7M - M6 x 1.0 x 60 Slotted PHMS --38N | | 4 |
| 35 | B18.6.7M - M6 x 1.0 x 16 Slotted PHMS --16N | | 2 |

| | | | | | | | |
|--|--------------|-------------------|-------|--------------------|--|----------|--|
| Tolerancia | | Peso | | Material: | | | |
| ±1 | | 26000 gr | | Varios | | | |
| Fecha | | Nombre | | Título: | | | |
| Dibujado: 14/07/2020 | | Eduardo Aleaga | | VISTA EXPLOSIONADA | | | |
| Revisado: 16/07/2020 | | Ing. Juan Paredes | | | | | |
| Aprobado: 16/07/2020 | | Ing. Juan Paredes | | | | | |
| U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA | | | | Número de lámina: | | Registro | |
| | | | | 18 de 18 | | | |
| Edición | Modificación | Nombre | Fecha | Sustitución: | | | |