



Aplicación de ensayos no destructivos en las uniones soldadas de bastidor del buggy para la Carrera de Tecnología Superior en Mecánica Automotriz de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

Azogue Chulco, Xavier Josue

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Tecnología Superior en Mecánica Automotriz

Monografía, previo a la obtención del título de Tecnólogo en Mecánica Automotriz

Ing. Sánchez Mosquera, Carlos Rafael

03 de febrero del 2022

Latacunga



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE TECNOLOGÍA SUPERIOR EN MECÁNICA AUTOMOTRIZ

CERTIFICACIÓN

Certifico que la monografía, **Aplicación de ensayos no destructivos en las uniones soldadas de bastidor del buggy para la Carrera de Tecnología Superior en Mecánica Automotriz de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE**, fue realizado por el señor **Azogue Chulco Xavier Josue** la cual ha sido revisada y analizada en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 03 de febrero del 2022

Firma

Ing. Sánchez Mosquera, Carlos Rafael

C.C.: 1803232113



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE TECNOLOGÍA SUPERIOR EN MECÁNICA AUTOMOTRIZ

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Yo, **Azogue Chulco, Xavier Josue**, con cédula de ciudadanía n° 1804909883, declaro que el contenido, ideas y criterios de la monografía: **Aplicación de ensayos no destructivos en las uniones soldadas de bastidor del buggy para la Carrera de Tecnología Superior en Mecánica Automotriz de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE** es de mí autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 03 de febrero del 2022

Firma

Azogue Chulco, Xavier Josue

C.C.:1804909883



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE TECNOLOGÍA SUPERIOR EN MECÁNICA AUTOMOTRIZ

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Yo, **Azogue Chulco, Xavier Josue** autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar la monografía: **Aplicación de ensayos no destructivos en las uniones soldadas de bastidor del buggy para la Carrera de Tecnología Superior en Mecánica Automotriz de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Latacunga, 03 de febrero del 2022

Firma

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Xavier Josue', written over a horizontal line.

Azogue Chulco, Xavier Josue

C.C.:1804909883

Dedicatoria

El trabajo realizado se lo dedico a mis padres Azogue Juan Amable y Chulco Evangelina, quienes son mi base en mi formación tanto como persona y académicamente, ustedes me han enseñado las claves para luchar en la vida y no dar por vencido nunca hasta superar cualquier obstáculo, los logros que he conseguido siempre se los agradezco a ustedes, se los debo.

A mi hermano Mentor Azogue quien es un amigo, el apoyo constante e incondicional en todo momento para cumplir con mis objetivos y por los buenos consejos y experiencias que se puede tener a lo largo de la vida.

A mis hermanas Susana, Lucila, Marlene, Senayda y Ximena que también me brindan ese apoyo para ser una persona de bien y seguir adelante siempre en busca de las metas propuestas.

Azogue Chulco, Xavier Josue

Agradecimiento

Le agradezco a DIOS por darme la bendición y oportunidad de tener a una familia unida que siempre salimos adelante de cualquier situación complicada.

A mis padres Juan y Evangelina que a pesar de la distancia siempre han estado conmigo como buenos padres brindándome su apoyo incondicional siempre, agradecido queridos padres.

A mi hermano Mentor y Lucila quienes me han impulsado en todo momento y me dan la oportunidad de ser y conseguir buenas cosas en la vida y luchar como buen guerrero.

A mis hermanas Susana, Marlene, Senayda y Ximena por estar siempre conmigo y en todo momento dándome fuerzas en mis momentos difíciles, y su apoyo que siempre los valoro de todo corazón.

A mis cuñados, que también me han brindado ese apoyo, esos ánimos para salir de cualquier dificultad.

A mis sobrinos y sobrinas que siempre son la alegría de la casa y la felicidad de la familia.

A toda mi familia en general y círculo de amistad quienes me rodean en cada momento les aprecio siempre y agradecido con Dios por las personas tan geniales que son.

A la universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Latacunga, y la carrera de Tecnología Superior en Mecánica Automotriz, quienes me han permitido formar académicamente junto con los docentes impartiendo sus conocimientos a lo largo de los niveles, también al Ing. Sánchez Carlos por realizar los seguimientos para la finalización del proyecto de manera exitosa.

Azogue Chulco, Xavier Josue

Tabla de Contenido

Carátula.....	1
Certificación.....	2
Reporte de verificación de contenido.....	3
Responsabilidad de autoría.....	4
Autorización de publicación.....	5
Dedicatoria.....	6
Agradecimiento	7
Tabla de Contenido	8
Índice de Figuras	12
Índice de tablas	14
Resumen	15
Abstract.....	16
Planteamiento del problema.....	17
Antecedentes	17
Planteamiento del problema	18
Justificación.....	19
Objetivos	20
<i>Objetivo general</i>	20
<i>Objetivos específicos</i>	20
Alcance.....	21
Marco Teórico.....	22
Ensayos no destructivos.....	22
Métodos de inspección	23
Detección y evaluación de fallas	24
Características para la elección de un método de inspección	24

<i>Exactitud</i>	25
<i>Sensibilidad</i>	25
<i>Fiabilidad</i>	25
Tipos de ensayos no destructivos	26
<i>Ensayos tipo visual (VT)</i>	26
<i>Ensayos mediante líquidos penetrantes (PT)</i>	27
Limpiador	28
Tinta penetrante.....	28
Revelador o aclarador	28
<i>Ensayos mediante partículas magnéticas (MT)</i>	28
<i>Ensayos mediante ultrasonido (UT)</i>	30
<i>Ensayos mediante radiografía industrial (RT)</i>	33
<i>Ensayos mediante corrientes inducidas o corrientes de Eddy (ET)</i> .34	
Ensayo no destructivo por tintas penetrantes	35
<i>Fases de ensayos por tintas penetrantes</i>	36
Limpieza de la pieza a examinar	36
Aplicación de la tinta penetrante	37
Tipos de tintas penetrantes.....	37
Tintas penetrantes fluorescentes.....	37
Tintas penetrantes no fluorescentes o visibles	38
Clasificación de tintas penetrantes y sus métodos	39
Medición del tiempo de espera	41
Limpieza de la tinta penetrante.....	41
Aplicación del revelador.....	41
Tipos de revelador	44
Revelador de polvo seco	44

Revelador acuoso	44
Revelador húmedo no acuoso	44
Análisis de resultados	44
Discontinuidades superficiales.....	44
Exceso de penetración	45
Falta de penetración	45
Mordeduras.....	46
Salpicaduras.....	46
Falta de continuidad de cordón	47
Porosidad.....	48
Limpieza post ensayo del componente.....	48
Partículas Magnetizables	49
<i>Método de inspección por partículas magnetizables</i>	<i>49</i>
<i>Operación del método.....</i>	<i>49</i>
Fases del Ensayo.....	51
<i>Magnetización de la pieza.....</i>	<i>51</i>
Imanes	51
Corriente eléctrica	52
Magnetización de forma circular.....	52
<i>Magnetización longitudinal.....</i>	<i>53</i>
Yugos magnéticos.....	54
Imanes permanentes.....	54
Electroimanes.....	55
Corrientes para magnetizar.....	56
<i>Partículas magnéticas.....</i>	<i>57</i>
Tamaño y forma adecuada.....	58

Técnica por vía seca	58
Técnica por vía húmeda.....	58
Permeabilidad Magnética, retentividad y fuerza coercitiva ...	59
Movilidad	60
Visibilidad y contraste.....	60
<i>Lámpara UV</i>	60
Desarrollo	62
Ensayos no destructivos mediante tintas penetrantes (PT).....	62
<i>Características de las tintas penetrantes usados en el ensayo</i>	63
<i>Proceso de ensayo mediante tintas penetrantes</i>	64
Ensayos no destructivos por partículas magnetizables	78
<i>Preparación de la superficie</i>	78
<i>Preparación de la solución húmeda</i>	79
<i>Aplicación de la suspensión</i>	80
<i>Aplicación de la Fuerza de magnetización</i>	81
<i>Inspección de la soldadura</i>	82
<i>Análisis de Resultados</i>	84
Conclusiones y recomendaciones.....	87
Conclusiones	87
Recomendaciones	88
Bibliografía.....	89
Anexos	93

Índice de Figuras

Figura 1 <i>Galgas</i>	27
Figura 2 <i>Tintas penetrantes</i>	28
Figura 3 <i>Implementos para ensayo por partículas magnetizables</i>	29
Figura 4 <i>Detección de discontinuidad con ensayos de ultrasonidos (UT)</i>	31
Figura 5 <i>Representación gráfica de discontinuidades</i>	32
Figura 6 <i>Gráfico de onda ultrasónica</i>	32
Figura 7 <i>Equipo de radiografía industrial</i>	34
Figura 8 <i>Bobina plana y circular</i>	35
Figura 9 <i>Fases de los ensayos</i>	36
Figura 10 <i>Vista fluorescente de una pieza mecánica</i>	38
Figura 11 <i>Aplicación de tinta no fluorescente o visible</i>	38
Figura 12 <i>Extracto de la normativa ASME tabla T-672</i>	42
Figura 13 <i>Exceso de penetración</i>	45
Figura 14 <i>Falta de penetración en la unión</i>	45
Figura 15 <i>Mordedura en la parte inicial del cordón</i>	46
Figura 16 <i>Apreciación de salpicadura en viga de suspensión</i>	47
Figura 17 <i>Falta de continuidad en el cordón</i>	47
Figura 18 <i>Poros al inicio del cordón</i>	48
Figura 19 <i>Flujo continuo de líneas magnéticas</i>	49
Figura 20 <i>Campo de fuga</i>	50
Figura 21 <i>Distorsión paralela a las líneas magnética</i>	50
Figura 22 <i>Magnetización de la pieza con imanes</i>	51
Figura 23 <i>Magnetización Directa</i>	52
Figura 24 <i>Inspección de soldadura con inducción de corriente circular</i>	53
Figura 25 <i>Yugo electromagnético</i>	54

Figura 26 <i>Yugo magnético</i>	55
Figura 27 <i>Yugo Electromagnético Magna flux</i>	56
Figura 28 <i>Uso de luz UV y partículas magnéticas</i>	61
Figura 29 <i>Vista tridimensional frontal</i>	63
Figura 30 <i>Kit de tintas penetrantes</i>	64
Figura 31 <i>Pre limpieza de las uniones en la estructura</i>	65
Figura 32 <i>Uso del EPP previo a los ensayos</i>	66
Figura 33 <i>Limpieza del cordón y embalaje de los tubos</i>	67
Figura 34 <i>Aplicación del limpiador en la superficie del cordón</i>	68
Figura 35 <i>Aplicación de la tinta penetrante</i>	68
Figura 36 <i>Aplicación de la tinta penetrante en la unión</i>	69
Figura 37 <i>Limpieza de la tinta penetrante</i>	70
Figura 38 <i>Aerosol aclarador</i>	71
Figura 39 <i>Apreciación de las discontinuidades en la unión de la estructura</i> ...	71
Figura 40 <i>Limpieza final del revelador</i>	72
Figura 41 <i>Partes principales del chasis</i>	73
Figura 42 <i>Preparación de la superficie</i>	79
Figura 43 <i>Preparación de las partículas del método húmedo</i>	80
Figura 44 <i>Aplicación de la solución húmeda</i>	81
Figura 45 <i>Uso del yugo magnético</i>	82
Figura 46 <i>Equipo utilizado en el ensayo</i>	83
Figura 47 <i>Cordones en los que se realizó el ensayo</i>	84
Figura 48 <i>Primer cordón analizado</i>	84
Figura 49 <i>Revelado con luz UV</i>	85
Figura 50 <i>Resultados de ensayos con partículas magnetizables</i>	86

Índice de tablas

Tabla 1 <i>Métodos aplicados en cada tipo de líquido penetrantes</i>	39
Tabla 2 <i>Ventajas y desventajas de removible con solvente</i>	40
Tabla 3 <i>Tiempos de permanencia del penetrante según el material</i>	43
Tabla 4 <i>Corrientes utilizadas para magnetizar por corriente</i>	57
Tabla 5 <i>Ubicación de cada unión sometida a ensayos por LP</i>	73
Tabla 6 <i>Análisis de los puntos de ensayo por tintas penetrantes</i>	76

Resumen

En la investigación se realiza la aplicación de ensayos no destructivos mediante tintas penetrantes y partículas magnetizables al buggy para comprobar la aplicación de soldadura en las uniones de la estructura y que permitan detectar fallas o discontinuidades superficiales y subsuperficiales en las uniones donde ejercen una mayor presión por el peso de su estructura misma sumados los sistemas auxiliares como suspensión, dirección, freno, carrocería de fibra de vidrio como también los motores eléctricos con sus baterías, controladores, los cuales están sujetos a la estructura del buggy. Los ensayos no destructivos nos brindan la información adecuada sobre los diferentes tipos de uniones y su eficiencia al momento de aceptar o rechazar cada análisis e interpretación de datos en los tipos aplicados para las estructuras y componentes sometidos a estos ensayos además teniendo la ventaja de no tener pérdida parcial o total como se realiza en los ensayos destructivos logrando utilizar la estructura una vez realizados estos ensayos. Las uniones de las soldaduras o los cordones son esenciales en la estructura, estos permiten que se mantenga íntegro todo el buggy cuando se exponga a carga completa con los ocupantes y se encuentre en funcionamiento.

Palabras clave:

- **SOLDADURA - ENSAYOS**
- **BUGGY (AUTOMÓVIL)**
- **MECÁNICA AUTOMOTRIZ**

Abstract

In the research the application of non-destructive tests using penetrating inks and magnetizable particles to the buggy is carried out to check the application of welding in the joints of the structure and to detect failures or surface and subsurface discontinuities in the joints where they exert greater pressure by the weight of the structure itself added to the auxiliary systems such as suspension, steering, brakes, fiberglass bodywork as well as electric motors with their batteries, controllers, which are subject to the structure of the buggy. The non-destructive tests provide us with adequate information about the different types of joints and their efficiency at the time of accepting or rejecting each analysis and interpretation of data in the types applied to the structures and components subjected to these tests, also having the advantage of not having partial or total loss as it is done in destructive tests, being able to use the structure once these tests have been performed. The welded joints or beads are essential in the structure, they allow the whole buggy to remain intact when exposed to full load with occupants and in operation.

Key word:

- **WELDING - TESTING**
- **BUGGY (AUTOMOBILE)**
- **AUTOMOTIVE MECHANIC**

Capítulo I

1. Planteamiento del problema

“Aplicación de ensayos no destructivos en las uniones soldadas de bastidor del buggy para la Carrera de Tecnología Superior en Mecánica Automotriz de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.”

1.1. Antecedentes

Los procesos de inspección mediante pruebas o ensayos no destructivos en las estructuras cuyas uniones vienen aplicados por soldadura son importantes debido a que tiene el objetivo de detectar fallos en la suelda aplicada a la unión sin causar desgaste, destrucción parcial o total de la estructura soldada “La SNT (Society for Nondestructive Testing) los define como un grupo de ensayos que se utiliza para detectar defectos o fallas en los materiales, que deja a la probeta en condiciones de realizar la tarea para la cual fue hecha aún después del ensayo” (Sanchez, 2015).

Para los ensayos en las diferentes estructuras que se realizan existen múltiples tipos de pruebas no destructivos los cuales permiten encontrar mayores fallas y con mayor eficiencia en cada técnica que se aplique en el ensayo en el trabajo titulado “ELABORACIÓN DE UNA METODOLOGÍA PARA LA DETECCIÓN DE FALLAS EN ESTRUCTURAS METÁLICAS EMPLEANDO TÉCNICAS NO DESTRUCTIVAS” (Espinoza, 2019) en los cuales realiza un estudio profundo en todos los métodos de ensayos no destructivos de las uniones por soldadura y también comparaciones entre ellos y verificar la mejor opción en cada material, estructura y de mejor manera para

garantizar que la estructura sea regido bajo estandarización de los procesos llevados a cabo en la soldadura.

Por otra parte en la investigación realizado por (Cevallos & Garces, 2018) titulado “ANÁLISIS DE LA FALLA ESTRUCTURAL DEL CHASIS DE UN MONOPLAZA TIPO KART MEDIANTE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS”, en los cuales se exponen ensayos no destructivos a la estructura aplicando el método de inspección visual (VT) en el cual determina una estética del cordón en las uniones de la soldadura, inspección por líquidos penetrantes (PT) en este proceso se caracteriza por la facilidad de detectar discontinuidades en la superficie de la soldadura, en los resultados obtenidos luego de los ensayos se establece que la soldadura tiene óptima calidad de soldado y empleo de voltaje y amperaje adecuado en la soldadura, además que no presenta discontinuidades en la superficie soldada datos obtenidos gracias al ensayo por tintas penetrantes y rige de acuerdo al código de soldadura estructural de la AWS D1.1/D1-1M-2010.

1.2. Planteamiento del problema

Los ensayos no destructivos que son sometidos a los cordones de las soldaduras no siempre ha sido relevante en los diferentes ámbitos industriales y enfocado a las estructuras de buggies, por lo que dichas uniones no han brindado una certificación fiable de soporte a las cargas que son sometidos estas estructuras. En este proyecto se realiza ensayos no destructivos mediante tintas penetrantes y partículas magnetizables con el objetivo de verificar que las juntas soldadas tengan fiabilidad de soporte en toda la estructura cuando se encuentre instalado todos sus sistemas auxiliares, carrocería y seguidamente en su funcionamiento.

1.3. Justificación

En los procesos de soldadura en estructuras de los vehículos ligeros como un Buggy independientemente de la dimensión y el diseño que se obtenga es necesario un control de calidad en las uniones y los cordones realizados con el fin de garantizar una estética, penetración y soporte a cargas que deben ser sometidos a lo largo de la estructura, por lo que existen diferentes métodos de inspección que se pueden aplicar en las uniones de soldadura para garantizar una buena construcción y soporte al añadir los diferentes elementos auxiliares en su estructura.

En la aplicación de los ensayos no destructivos en la estructura del Buggy también influyen diferentes factores como el tipo de material que se trabaje, desde uniones en estructuras tubulares, cuadradas hasta el número de uniones que se va realizar en los acoples de los sistemas auxiliares donde están sometidos a mayores cargas, se toma en cuenta la parte de uniones con materiales delicados entre el soporte para la fibra de vidrio y estructura. Las áreas que se agrupan son taller industrial, física, mecánica de patio, reparación de carrocerías y acabados.

Los ensayos no destructivos aplicados en la soldadura son de mucha relevancia ya que nos dan resultados fiables en las posibles fallas y también disminuyendo sus costes considerablemente a comparación de los ensayos destructivos que implican pérdida del material, como el tiempo en los ensayos o producción de más ejemplares para su análisis en las uniones de soldadura, en los ensayos por tintas penetrantes, partículas magnetizables nos permite conseguir información de una forma sencilla sin muchos procesos como sería por los ensayos destructivos los cuales generalmente requieren de laboratorios específicos para dichas pruebas. Con la constante evolución en los ensayos destructivos y no destructivos de las uniones en estructuras brinda más opciones de diagnóstico sin mayor esfuerzo y pérdidas tanto económicas como de

tiempo, pero con el propósito de un resultado claro, preciso y conciso, además cediendo apertura a medios de capacitación en los ámbitos de ensayos en uniones de soldadura a los grupos técnicos que buscan métodos de enseñanza- aprendizaje en procesos de soldadura junto a los lineamientos para el desarrollo de ensayos no destructivos en estructuras y uniones soldadas.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Aplicar ensayos no destructivos en las uniones soldadas de bastidor del buggy para la carrera de Tecnología Superior en Mecánica Automotriz de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

1.4.2. Objetivos específicos

- Recopilar información sobre los tipos de ensayos no destructivos empleados en las soldaduras y estructuras de los vehículos.
- Estudiar la estructura del buggy y los puntos importantes a realizar ensayos no destructivos con las tintas penetrantes y partículas magnetizables previo al montaje de los sistemas auxiliares y el sistema de propulsión eléctrica.
- Aplicar el método de ensayo por partículas magnetizables como prueba no destructiva en los puntos establecidos de la estructura del buggy para comprobar posibles puntos de soldadura con deficiencia.

1.5. Alcance

En el proyecto se busca realizar los ensayos no destructivos en las uniones de soldadura de la estructura del buggy aplicando los ensayos por tintas penetrantes los cuales nos permiten identificar las discontinuidades en los cordones de cada unión de la estructura, seguido también se realiza un ensayo no destructivo mediante partículas magnéticas, en el cual el proceso se realiza con una entidad ITQM SERVICIOS DE INSPECCION Y GESTION DE CALIDAD el cual cuenta con toda la acreditación de la SAE los cuales nos brindan la certificación y aceptación de los puntos de suelda para garantizar la buena durabilidad y soporte de la estructura quien es la base de soporte para todos los sistemas auxiliares, tracción, carrocería y el peso de los ocupantes en el buggy, la estructura para realizar estos tipos de ensayos no destructivo en estructuras ferromagnéticos, los ensayos planteados se realiza previos a una inspección visual que es el método más general y se visualiza la calidad del cordón de suelda en cada unión, seguidamente se realiza un análisis para determinar los puntos más importantes y donde mayor carga y esfuerzos soportan.

Capítulo II

2. Marco Teórico

2.1. Ensayos no destructivos

Los ensayos no destructivos conocidos por sus siglas END o también NDT (Nondestructive Testing) son técnicas aplicados para realizar un control de calidad en las estructuras o en los materiales conformados en ciertos componentes metalmecánicos debido a que se presentan defectos en partes de su estructura o en los materiales del que están compuestos permitiendo garantizar una buena calidad en sus productos y también por sus costos accesibles a las pruebas tomando en cuenta que también no se presenta cambios físicos al exponerse a dichas pruebas no destructivas como el nombre lo indica estas técnicas se están implementando en las industrias automotrices, aeroespaciales, construcciones con estructuras, manufacturas en metalmecánica, petroquímica y otras industrias que los resulta accesibles y también eficientes en sus análisis.

Los ensayos no destructivos se pueden realizar en cualquier parte sin importar el proceso productivo de trabajo desde el análisis de las propiedades tanto físicas como químicas en sus materias primas o también cuando se están realizando las uniones mediante soldadura u otro método de unión esto con el objetivo de encontrar discontinuidades y ciertas fallas o anomalías en la estructura soldada y también poder corregir antes que se termine la estructura y se complique su corrección perdiendo tiempo y recursos del proyecto planteado.

“Los ensayos no destructivos se definen como la aplicación de métodos físicos indirectos con el fin de verificar la homogeneidad de las piezas examinadas sin alterar sus propiedades físicas, químicas, mecánicas o dimensionales” (Ortiz, 2017 citado por Izurieta, 2017).

En los ensayos no destructivos la obtención de datos no tiene mayor exactitud que en los ensayos destructivos ya que el objetivo de END son encontrar defectos y discontinuidades en la superficie del componente, estructuras, piezas fabricadas y las uniones de soldaduras. Las pruebas se realizan en diversos tipos de materiales como son el grupo de los metales y no metálicos, las cuales son fabricadas y trabajadas en diferentes tipos como: laminados, fundidos, forjados entre otras conformaciones. Teniendo en cuenta que los ensayos destructivos como tal se pierde el componente que se va examinar debido a sus esfuerzos aplicados en los mismos por el contrario en los END resulta más ventajoso ya que no implica destruir el componente porque el daño en el punto de examinado es inapreciable o casi cero ya que se busca solo comprobar la prolongación del material examinado y también la uniformidad de la unión.

2.2. Métodos de inspección

En la investigación (Fuentes, 2011) dice que los métodos de ensayos que se va aplicar a una estructura o componente se debe tener en cuenta que problema o tipo de inspección estamos buscando y finalmente elegir el método más conveniente, entre una clasificación de estos métodos se encuentra:

- Defectología o análisis de fallas superficiales
- Localización y evaluación de fugas
- La metrología e inspección volumétrica
- Localización y análisis de ubicación
- Las características de la estructura o microestructura
- Valoración de propiedades físicas y mecánicas
- Estimación de la resistencia y comportamiento dinámico.
- Evaluación de la composición química.

2.3. Detección y evaluación de fallas

Cuando decidimos detectar las principales fallas debemos estar seguros que vamos encontrar las respuestas a nuestras inquietudes como se plantearía: el objetivo que busco al realizar el ensayo, las fallas a encontrar y cuáles son las sobresalientes, la evaluación de las fallas si hay la aprobación o desaprobación de la unión, la ubicación de las fallas, las características del objeto a evaluar tanto el tamaño, forma y el material.

Cuando se ha determinado el tipo de ensayo no destructivo que se va aplicar en la estructura se debe tener claro las especificaciones de cuando el test es rechazado, el tipo, la dimensión y ubicación de la falla para no ser aceptado.

El tipo, la dimensión y ubicación de las fallas que se van a rechazar deben ser establecidas por una norma general en este caso la AWS (American Welding Society) o sociedad americana de soldadura es una norma estadounidense la cual con su nueva versión AWS D1.1/ D1.1M:2020 y aprobado por el Instituto Nacional Estadounidense de estándares en 2019. Cuando se realiza el ensayo debe establecer en la norma para su aprobación o rechazo de las uniones estructurales.

2.4. Características para la elección de un método de inspección

Tenemos varias características con la cual se va seleccionar un buen método de inspección en los puntos de las uniones de la soldadura de la estructura:

- Forma de acceso al lugar de inspección
- Forma de la estructura que se va inspeccionar
- Calidad superficial de la unión
- Ambiente donde se encuentra la unión (aire libre, bajo el agua)
- Tiempo que toma en realizar la inspección
- Efectividad que tiene cada tipo de ensayo.
- El valor de costos en realizar cada tipo de inspección.

Cuando las consideraciones de un ensayo no destructivo en la estructura no es la más adecuada representa un fallo en la obtención de los resultados ya nos da una evaluación no convincente y específico.

Por esa razón se ha discernido algunos criterios y técnicas para la aplicación de ensayos, con los cuales podemos encontrar la mejor elección del tipo de aplicación.

2.4.1 Exactitud

En la exactitud se le considera a la cercanía máxima a los parámetros establecidos en las normas de la soldadura, aunque con la exactitud encontrada en la unión de soldadura no significa que sea todas las detectadas, esto nos brinda información acerca de los encontrados al aplicar una de las técnicas que si existen y las cuales analizadas para ser aprobadas o rechazadas.

2.4.2 Sensibilidad

En este punto de la sensibilidad es la considerada como la facilidad de encontrar las discontinuidades en el cuerpo de la unión, las cuales pueden ser de tamaño minúsculo o más considerables, incluyendo las propiedades entre el material de aporte y el cordón de la suelda.

2.4.3. Fiabilidad

Cuando hablamos de la fiabilidad se le incluye a los dos anteriores ya que se combinan entre la exactitud y la sensibilidad, con lo que se diría que es veracidad y la confianza que se deposita en cada tipo de ensayo para la obtención de resultados fiables, además se tiene en cuenta los factores que incluyen para lograr esto:

El proceso del ensayo en la estructura que también incluyen los instrumentos utilizados; el factor humano que también se toma en cuenta el nivel de preparación, el entrenamiento que tiene al realizar el ensayo, como también la experiencia con la que cuenta la persona quien realiza el ensayo no destructivo en las uniones de la soldadura de la estructura; finalmente el análisis de datos que se obtiene al finalizar el ensayo.

También influyen en los resultados varios aspectos al realizar los ensayos “Equipo sin calibrar, inapropiada aplicación de la técnica e inconsistente calidad de los accesorios del equipo (transductores, acoples, filmes, químicos, etc.) pueden afectar la exactitud y en algunos casos la sensibilidad”(Fuentes, 2011). Además, puede reducir la fiabilidad en los resultados cuando no haya una concentración total, falta de buena técnica en el proceso de inspección por parte de la persona quien realice el ensayo.

2.5. Tipos de ensayos no destructivos

Como principales tipos de ensayos no destructivos aplicados en las uniones de diferentes tipos de estructuras se encuentran:

- Ensayos tipo visual (VT)
- Ensayos mediante líquidos penetrantes (PT)
- Ensayos mediante partículas magnéticas (MT)
- Ensayos mediante ultrasonido (UT)
- Ensayos mediante radiografía industrial (RT)
- Ensayos mediante corrientes inducidas

2.5.1. Ensayos tipo visual (VT)

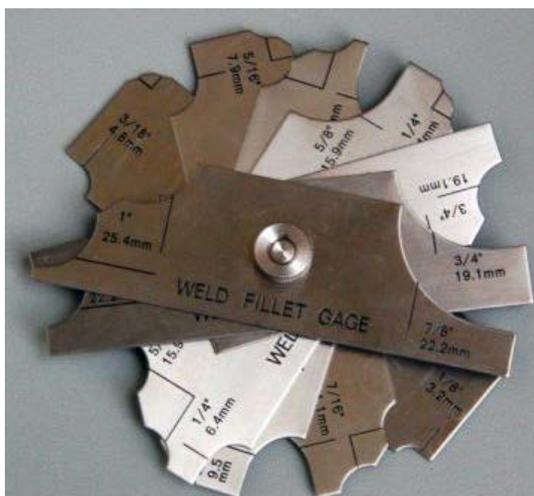
Los ensayos de tipo visual son los más utilizados en la soldadura ya que es el método que primero se realiza al terminar de hacer una unión por soldadura y siempre se va revisar visualmente el acabado del cordón para mirar las desperfecciones que hay en la superficie, también se puede observar la dirección que tiene esa discontinuidad, las porosidades que se puede presentar en la superficie, y también las mordeduras que se encuentran en alguna parte de la soldadura.

El ensayo de tipo visual generalmente se realiza antes de hacer los ensayos posteriores aplicando otros tipos, ya que permiten encontrar desperfecciones en primera instancia logrando ganar tiempo y ahorrar dinero en los ensayos siguientes que ya

requieren de materiales especiales, al contrario en el VT solo se requiere un lugar con buena iluminación y la persona que tenga conocimiento profundo sobre esta técnica, aunque cualquiera podría identificar los fallos más visibles en la soldadura y no necesariamente una persona capacitada en la figura 1 se aprecia las galgas para medir la uniformidad en el cordón.

Figura 1

Galgas



Nota. Galgas de medición de uniformidad de soldadura. Tomado de (Juan, 2014).

2.5.2. Ensayos mediante líquidos penetrantes (PT)

El ensayo mediante líquidos penetrantes se caracteriza por ser una técnica no destructiva la cual beneficia por ser capaz de encontrar discontinuidades en la superficie de la unión soldada esto gracias a la facilidad de fluir un líquido por las pequeñas cavidades o estrechos de una estructura o también se le conoce como capilaridad de fluidos con la cual se logra identificar las fallas en la unión de soldadura en la estructura, en la figura 2 se observa el kit de tintas penetrantes usados para el ensayo.

La inspección mediante tintas penetrantes requiere de materiales o elementos como:

Limpiador

El cual permite eliminar las impurezas de la superficie soldada,

Tinta penetrante

Elemento principal que permite la penetración de la tinta por las pequeñas cavidades de la soldadura.

Revelador o aclarador

Es el componente que permite aclarar las discontinuidades presentes en la soldadura con la cual identificamos la dimensión de la misma.

Figura 2

Tintas penetrantes



2.5.3 Ensayos mediante partículas magnéticas (MT)

También en las estructuras soldadas es aplicable el ensayo mediante partículas magnéticas las cuales nos ayudan a detectar las discontinuidades superficiales y subsuperficiales en el cordón de la suelda el cual se aplica en materiales o estructuras que son de composición ferromagnética al estar compuesto de hierro y acero (Barrera & Coronel, 2011).

Este método consiste en la concentración de partículas ferrosas en la superficie del cordón los cuales se concentran en un solo punto cuando se presenta una discontinuidad al aplicar un campo magnético debido a que se interrumpe las líneas de recorrido del campo magnético y al contrario las partículas permanecen en el punto inicial creando una línea magnética uniforme cuando la unión sea de una buena calidad, para observar el comportamiento de las partículas al agregar el campo magnético se debe utilizar una luz ultravioleta y la aplicación del campo magnético se genera gracias al yugo o también con grandes imanes teniendo en cuenta que la colocación de las partículas ferrosas se puede hacer de dos formas tanto húmedo y seco dependiendo la comodidad del inspector, las herramientas usadas para esta inspección se aprecia en la figura 3.

Figura 3

Implementos para ensayo por partículas magnetizables



Nota. Se observa el yugo la linterna y las partículas de hierro previo al ensayo.

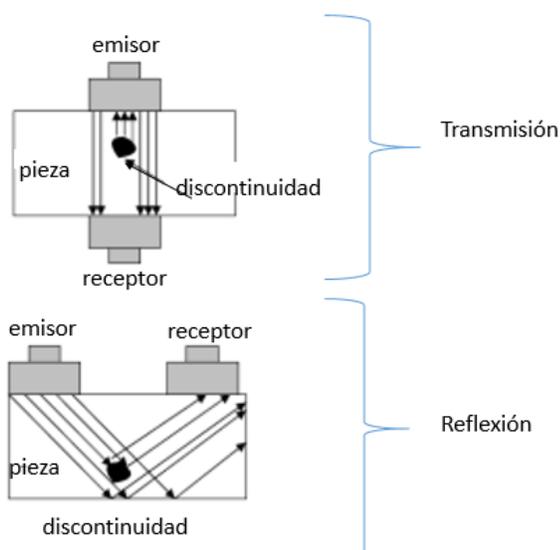
2.5.4 Ensayos mediante ultrasonido (UT)

El ensayo mediante ultrasonido es aplicado para la detección de fallas de la soldadura en la superficie y la sub superficie de unión de la estructura enviando ondas de sonido, pero a una frecuencia mucho mayor las cuales en su recorrido tiende a debilitar su onda, pero al encontrar con una discontinuidad salta en el grafico un haz que luego es analizado para conocer la magnitud de este defecto en la unión, el principio de funcionamiento básicamente es cuando hay una discontinuidad mínima hace actuar como un reflector con frecuencia muy alto en ese punto (Lopez, Ricaurte Ospina; Trujillo, Hernando; Parra, 2011).

La herramienta ultrasónica que es usado para estos ensayos tiene una cabeza o el emisor de cuarzo el cual si aplico voltaje este cristal vibra con una frecuencia muy alta, y al otro extremo el receptor capta la alteración de la frecuencia si hay una falla con la cual se muestra en el osciloscopio, la detección de las discontinuidades se encuentra en modo de transmisión y reflexión como se observa en la figura 4, cada uno se trata en la captación de un eco y muestra de grafico en el osciloscopio al encontrar una discontinuidad con la diferencia que en transmisión el emisor y receptor se ubica de forma opuesta y en reflexión se detecta fallas internas que al encontrar el fallo esta onda refleja hacia el receptor como se aprecia en la figura 4 los dos tipos de métodos aplicados.

Figura 4

Detección de discontinuidad con ensayos de ultrasonidos (UT)

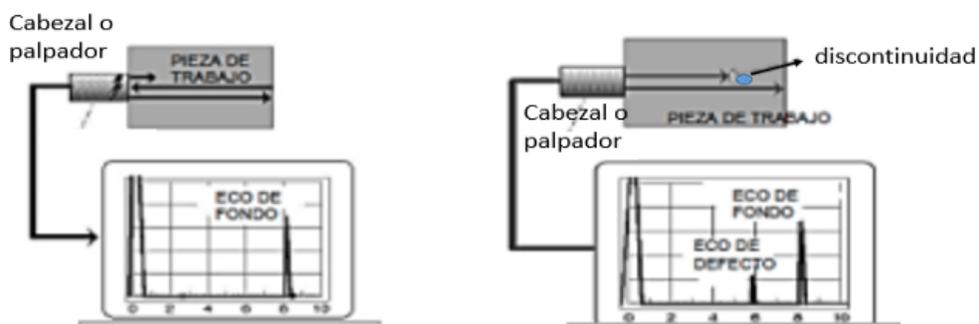


Nota. Interpretación de discontinuidad por transmisión y reflexión. Tomado de (Canga & Beltrán, 2019) editado por Azogue Xavier.

En los ensayos por ultrasonido las ondas a alta frecuencia expanden a lo largo del material hasta encontrar una falla y es cuando se refleja la onda para ser amplificado para su interpretación respectiva y su aprobación o rechazo, en la figura 5 se muestra la pantalla en un osciloscopio en el cual por el gráfico mostrado se determina que no tiene discontinuidades y el otro si posee.

Figura 5

Representación gráfica de discontinuidades



Nota. Se muestra mediante pulso-eco la gráfica cuando existe y no existe una discontinuidad. Tomado de (Canga & Beltrán, 2019) editado por Azogue Xavier.

En la figura 6 se extrae una muestra de la onda emitida a través de un componente que tiene una imperfección interna la cual el receptor capta el reflejo y muestra una pequeña onda que nos confirma la discontinuidad, si necesito conocer la dimensión de la discontinuidad es necesario realizar la calibración respectivo en la máquina ultrasónica las cuales requieren conocimiento adecuado en el uso, mantenimiento y calibración para sus diferentes trabajos (Torres, 2011).

Figura 6

Gráfico de onda ultrasónica



Nota. En el osciloscopio de no existir discontinuidad mostraría solo dos picos el emisor y el eco o pico receptor. Tomado de (Torres, 2011) Editado por Azogue Xavier.

2.5.5 Ensayos mediante radiografía industrial (RT)

En los ensayos mediante radiografía industrial (RT) se estudia el comportamiento de los rayos X o gamma en la composición volumétrica de los materiales que son sometidos a uno de estos rayos ionizantes que absorben en mayor o menor cantidad los rayos según la composición, estructura del material y variaciones en el espesor conocidos como radiación diferenciada son representados en una placa o película radiográfica, se obtiene estos datos favoreciendo que el haz de rayos tiene la capacidad de penetrar fácilmente en los materiales que no son visibles al ojo humano, las cuales nos darán visibilidad de las discontinuidades, cambio de espesor o variación volumétrica que están presentes internamente dentro del componente (Lopez, Ricaurte Ospina; Trujillo, Hernando; Parra, 2011).

Establecimos entonces que en el ensayo mediante radiografía industrial es usado para encontrar desde pequeñas fallas hasta más representativas en la superficie e internamente de la soldadura por lo que en el material encuentra una densidad y espesor diferente a comparación de la región más cercana de la unión, se realiza el ensayo con el objetivo de encontrar con mayor densidad algunas fallas volumétricas, la cual nos permite aprobar o rechazar la unión soldada.

Las herramientas o equipos como se ve en la figura 7 se usa para una inspección radiográfica son muy simples que se requieren de un componente generador de rayos X el cual como medida de seguridad se encuentra un componente tubular de rayos X además el mando de control donde se logra la calibración de la máquina según los parámetros que se requiera.

En estos equipos por rayos x se puede conseguir mediciones de espesores máximos de 8 cm las cuales se consiguen elevando el kilo voltaje para los espesores máximos, las técnicas aplicadas en estos equipos son la variación del voltaje y amperaje, tamaño del punto focal y tipo de flujo radial (OIEA-RLA/9/064-ATS 1, 2011)

Figura 7

Equipo de radiografía industrial



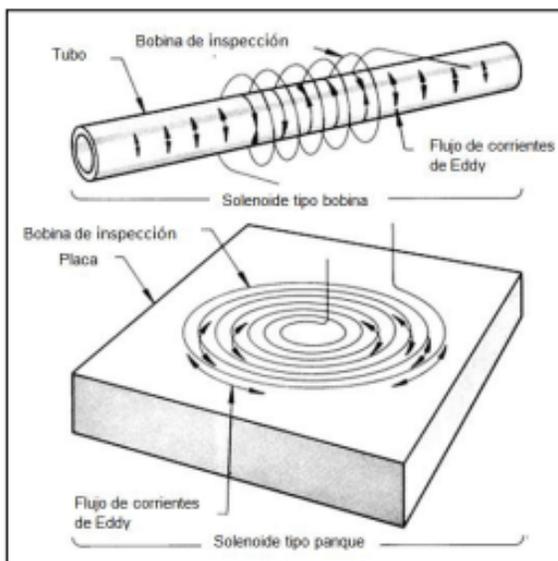
Nota. Herramientas de inspección por radiografía industrial de soldadura usados por HR Ingeniería. Tomado de (Carmona, 2013).

2.5.6 Ensayos mediante corrientes inducidas o corrientes de Eddy (ET)

En los ensayos mediante corrientes inducidas se hace el uso de la interacción de los campos magnéticos con los cuales tiene la capacidad de detectar fallas o discontinuidades en las propiedades de materiales ferromagnéticos y los no ferromagnéticos, con la medición de corrientes de Eddy se puede identificar las propiedades de las cuales están compuestas los materiales, además se detecta los cordones de soldaduras que tienen discontinuidades internamente hasta espesores de 6 mm. La medición en el ensayo se realiza indirectamente entre el componente y el instrumento de medición con las cuales se debe repetir varias veces para una mejor recopilación de datos. En la imagen 8 se aprecia dos tipos de bobinas las cuales son utilizados para realizar la inspección mediante corrientes de Eddy en el cual son para diferentes tipos de materiales según el componente a prueba la bobina circular se usa para tuberías, o componentes largos como varillas, y la bobina circular usado para placas o piezas planas (Fuentes, 2011).

Figura 8

Bobina plana y circular



Nota. Bobinas usadas para la inspección de componentes por corrientes de Eddy.

Tomado de (International, ASM, 2006) Adaptado por (Fuentes, 2011).

2.6. Ensayo no destructivo por tintas penetrantes

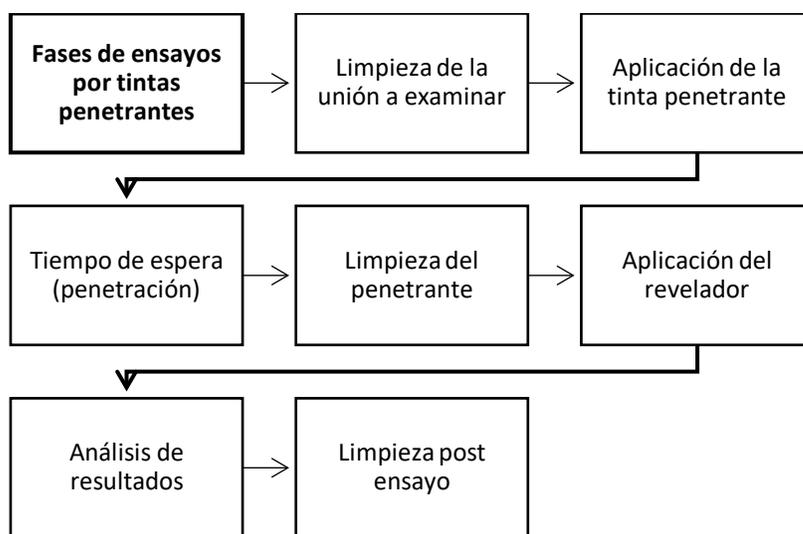
El uso de las tintas penetrantes en los ensayos no destructivos nos ayuda a la detección de discontinuidades en la superficie de la unión soldada, la facilidad de penetración del líquido y con una baja viscosidad es lo que permite una penetración por las pequeñas aberturas en el cordón de la suelda por lo cual es imperceptible a la vista de la persona para detectar la falla en la superficie. Los tipos de líquidos penetrantes son básicamente dos: fluorescentes y no fluorescentes siendo este último los más utilizados en cuanto a ensayos por tintas penetrantes (Federación de Enseñanza CC.OO de Andalucía, 2011).

2.6.1. Fases de ensayos por tintas penetrantes

En el proceso de aplicación del ensayo en tintas penetrantes se realiza mediante varios procesos en el cual se describe en el diagrama de flujo la figura 9.

Figura 9

Fases de los ensayos



Nota. Se describe las diferentes fases que se realiza en el ensayo por tintas penetrantes.

2.6.1.1. Limpieza de la pieza a examinar

En las uniones de soldadura se debe realizar la limpieza correspondiente a una distancia de 25 mm cerca del cordón a inspeccionar con el objetivo de eliminar toda suciedad posible como son los óxidos, polvo, restos de soldaduras, grasa, partículas de aceite, película de pintura u otros componentes minúsculos que pueden estar presentes en el ambiente lo cual impida un ensayo eficiente por falta de penetración de la tinta (Canga & Beltrán, 2019).

Antes de la aplicación de un solvente removedor que viene incluido en el kit de las tintas la cual se recomienda que sea del mismo proveedor se requiere una pre limpieza con un solvente como puede ser el thinner el cual removería las partículas de

suciedad más grandes y permitiendo una mayor limpieza en la superficie y la subsuperficie con el removedor.

Una vez aplicado el removedor o limpiador se recomienda que el secado sea por evaporación o aplicación de aire caliente generado por pistola de calor, el tiempo para el secado previo a la aplicación de la tinta es de 5 minutos y a una temperatura no mayor a los 52 °C.

2.6.1.2. Aplicación de la tinta penetrante

Previo a la limpieza del componente que se ha realizado el ensayo se procede con la aplicación de la tinta penetrante pasando ½ pulgada (12.5 mm) según la técnica de aplicación del penetrante como puede ser por atomizado (aerosol), inmersión o pincelado.

2.6.1.2.1. Tipos de tintas penetrantes

En los tipos de tintas penetrantes encontramos dos:

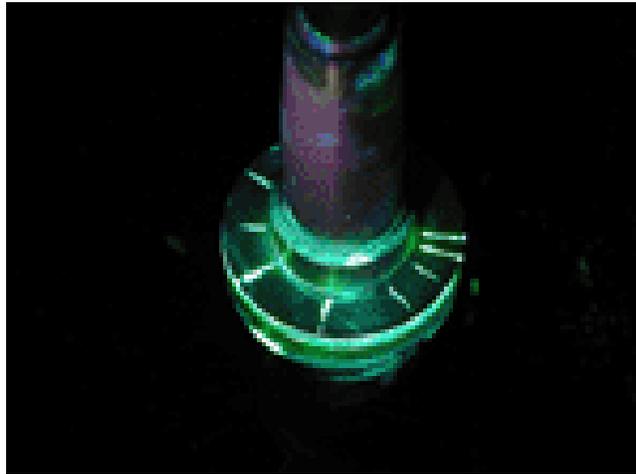
2.6.1.2.2. Tintas penetrantes fluorescentes

Este tipo de tinta penetrante se compone con un colorante que es visible bajo la luz negra con una linterna o luz ultravioleta.

Las vistas de las partes fluorescentes como se observa en la figura 10 son porque se adhieren en las pequeñas discontinuidades en las cuales se quedan retenidos luego de ser limpiado la tinta en la parte superficial del cordón y son iluminados de manera intensa al aplicar la luz negra o ultravioleta (Ruiz).

Figura 10

Vista fluorescente de una pieza mecánica



Nota. Para la inspección con el tipo de tinta fluorescente se requiere de la luz ultravioleta para identificar las discontinuidades. Tomado de (Andrea, 2010).

2.6.1.2.3. Tintas penetrantes no fluorescentes o visibles

Se caracteriza por tener un color que permite la visibilidad a la luz ambiente como se ve en la figura 11 o un ambiente con claridad que no está en un espacio cerrado.

Figura 11

Aplicación de tinta no fluorescente o visible



2.6.1.2.4. Clasificación de tintas penetrantes y sus métodos

En la tabla 1 se muestra los tipos de ensayo como son penetrantes fluorescentes y los visibles, de las cuales se desglosan los métodos que tiene cada uno de acuerdo a su tipo.

Tabla 1

Métodos aplicados en cada tipo de líquido penetrantes

Clasificación del examen con penetrantes, tipo y métodos	
Tipo I - Examen penetrante fluorescente	
Método A	Lavable con agua
Método B	Post emulsificable lipofílico
Método C	Removible con solvente
Método D	Post emulsificable hidrofílico
Tipo II – Examen con penetrantes visibles	
Método A	Lavable con agua
Método B	Removible con solvente

Nota. En la tabla se encuentra los métodos que se aplica en cada tipo de tintas penetrantes. Tomado de (Ruiz).

De la tabla 1 se enfatiza en las tintas penetrantes visibles de tipo II:

Método A - Lavable con agua

Las tintas penetrantes de este tipo son hechas para poder quitar los restos de tinta de la superficie con agua en lugares que no tiene discontinuidades en el componente sometido a este ensayo no destructivo una vez transcurrido el tiempo de penetración, debido a que ya incluye propiedades emulsificadoras que no dejan adherirse de forma agresiva al cordón de suelda y liberan fácilmente al pasar con agua,

pero requiere cuidado para no efectuar un sobre lavado que se limpie la tinta de lugares con discontinuidades afectando en su análisis de resultados (Ruiz).

Método B - Removible con solvente

Este tipo de tinta penetrante requiere de un solvente limpiador que permita la limpieza usando un pañuelo limpio, seco que no tenga pelusa o con un papel absorbente que quite los restos de la tinta, pero sin exceder en con el solvente ya que eliminaría las señales de las discontinuidades del cordón (World of NDT, 2020).

En la tabla 2 se muestra las ventajas y desventajas que nos brinda el removible con solvente del tipo II visible o no fluorescente.

Tabla 2

Ventajas y desventajas de removible con solvente

Método B- removible con solvente Tipo II (visible)	
Ventajas	Desventajas
Son elementos portátiles	Son componentes inflamables
No necesita de agua para la limpieza	Tiempo de espera de penetrantes y revelador
Son buenos en generación de capas superficiales	No brinda información correcta en superficies rugosas como fundición de magnesio.
Excelentes para detección de imperfecciones	

Nota. Basados en esta información se utiliza este penetrante en el ensayo. Tomado de (SYC CAPACITACION)

2.6.1.3. Medición del tiempo de espera

Los líquidos penetrantes hasta alcanzar su máxima penetración tienen una duración entre 10 a 15 minutos.

El tiempo que recomienda la ASTM E-165 en su cita por (Proyecto óxidos 2500 TPD JJC, 2013) el tiempo de penetración no debe superar más de los 60 minutos, si se diera el caso el ensayo queda anulado y por lo tanto se deberá empezar otra vez con el ensayo desde el proceso de limpieza de la superficie.

2.6.1.4. Limpieza de la tinta penetrante

En este punto la tinta penetrante ha alcanzado su máxima capilaridad en toda la superficie aplicada y se requiere de una limpieza profunda con una franela con solvente levemente rociado y se recomienda hacerlo en una dirección para no quitar la tinta de las discontinuidades.

2.6.1.5. Aplicación del revelador

La aplicación del revelador debe ser con total cuidado en dirección de afuera hacia adentro o de arriba hacia abajo en forma lineal en la unión a una distancia entre 20 y 30 cm. A partir del tiempo de espera se observa de color de la tinta penetrante sobresalir a una textura blanquecina en las discontinuidades de la unión sometida a la inspección.

El tiempo de aplicación del revelador debe ser regido de acuerdo al material en el que se aplica el ensayo de acuerdo con la normativa de ASME BPVC SEC- V en su artículo 6 las cuales se describe a continuación el tiempo de aplicación del revelador las cuales se muestra el extracto de la normativa en la figura 12 (World of NDT, 2020).

Figura 12

Extracto de la normativa ASME tabla T-672

Table T-672 Minimum Dwell Times			
Material	Form	Type of Discontinuity	Dwell Times [Note (1)], (minutes)
			Penetrant
Aluminum, magnesium, steel, brass and bronze, titanium and high-temperature alloys	Castings and welds	Cold shuts, porosity, lack of fusion, cracks (all forms)	5
	Wrought materials — extrusions, forgings, plate	Laps, cracks	10
Carbide-tipped tools	Brazed or welded	Lack of fusion, porosity, cracks	5
Plastic	All forms	Cracks	5
Glass	All forms	Cracks	5
Ceramic	All forms	Cracks	5

NOTE:
(1) For temperature range from 50°F to 125°F (10°C to 52°C). For temperatures from 40°F (5°C) up to 50°F (10°C), minimum penetrant dwell time shall be 2 times the value listed.

Nota. Se muestra las especificaciones según su material. Tomado de (World of NDT, 2020).

Según indica en la tabla 3 traduce lo establecido en la norma ASME de la tabla T-672 para los tiempos de permanencia mínima de las tintas penetrantes en la aplicación al componente de ensayo.

Tabla 3

Tiempos de permanencia del penetrante según el material

Tabla T-672			
Tiempo mínimo de permanencia			
Material	Forma	Tipo de discontinuidad	Tiempo en minutos Penetrantes
Aluminio, magnesio, acero latón y bronce, titanio y aleaciones de alta temperatura.	Fundición y soldadura	Cierres fríos, porosidad, falta de fusiones, grietas (todas las formas).	5
	Materiales forjados, extrusión, piezas forjadas, placas	Vueltas, grietas	10
Herramientas con punta de carburo Plástico	Soldado o soldado con autógena	Falta de fusión, porosidad, grietas	5
	Todas las formas	Grietas	5
Vidrio	Todas las formas	Grietas	5
Cerámica	Todas las formas	Grietas	5

NOTA: Para temperatura un rango de 50°F a 125°F (de 10°C a 52°C). para temperatura de 40°F (5°C) arriba a 50°F (10°C) El tiempo mínimo de permanencia del penetrante deberá ser 2 veces el valor indicado.

Nota. Cada material a realizar el ensayo requiere de un tiempo de permanencia del revelador a cierta temperatura del lugar de inspección. Tomado de (World of NDT, 2020).

2.6.1.5.1. Tipos de revelador

a) Revelador de polvo seco

Este tipo de revelador viene en polvo por lo que se requiere de un soplador de polvo que permita su aplicación, pero tiene la desventaja que se forme acumulaciones del polvo que afecta el medio ambiente, pero si es muy ligero la aplicación actúa como un líquido (Arcos, 2011).

b) Revelador acuoso

Se encuentran en una mezcla de polvo en agua y la aplicación debe ser inmediata una vez finalizado con la limpieza de la tinta penetrante y antes de hacer el secado, su aplicación puede también realizarse por vertido, pulverización o también por pulverización (AEND (Asociación Española de Ensayos No Destructivos), 2009) citado por (Arcos, 2011).

c) Revelador húmedo no acuoso

Se presentan en disolventes el cual es compuesto de polvo de color blanco que están en spray o aerosol el cual brinda la facilidad de aplicación por pulverización en la superficie de la soldadura (Arcos, 2011).

2.6.1.6. Análisis de resultados

En el análisis de los resultados se puede apreciar discontinuidades en las diferentes partes del cordón en la tubería de manera muy visible cuando son líquidos no fluorescentes debido a que no requieren de una luz ultravioleta como los fluorescentes y se aprecian puntos rojos en lugares que tiene irregularidades.

2.6.1.6.1. Discontinuidades superficiales

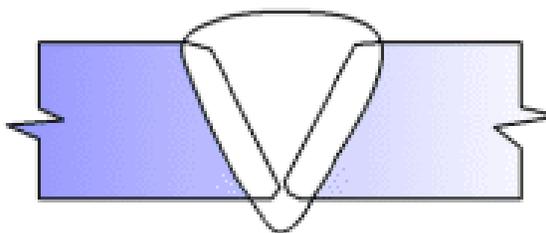
En la clasificación de discontinuidades y defectos en la soldadura se divide en superficiales e internas.

a) Exceso de penetración

Cuando hay un mal movimiento del electrodo dentro de las piezas a unir son cuando hay una mayor aportación de material lo cual produce un chorreo que deja escoria dentro del cordón como en la figura 13 se visualiza exceso en la parte inferior.

Figura 13

Exceso de penetración



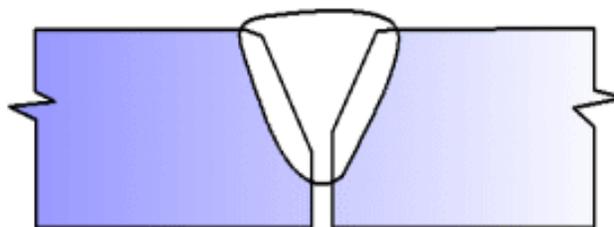
Nota. Se observa que hay exceso en la parte inferior del biselado. Tomado de (Rosario) adaptado por (Arcos, 2011).

b) Falta de penetración

Cuando son superficies con visibilidad posterior en las uniones se aprecia falta de penetración como en la figura 14 ya sea con biselado en V o en U. Tomado de (Hernández, 2009) adaptado por (Arcos, 2011).

Figura 14

Falta de penetración en la unión



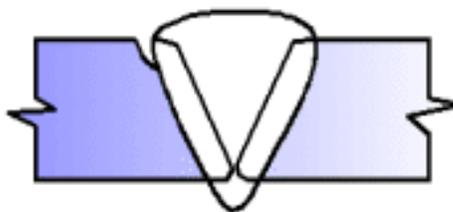
Nota. En la parte inferior se aprecia la falta de aportación de material. Tomado de (Rosario) adaptado por (Arcos, 2011).

c) Mordeduras

En la figura 15 el tipo de falla se produce en la base del metal, inicio o final de material de aporte también en la parte posterior en caso de ser visible, esto se produce por una intensidad de corriente elevada, que la mecha del material de aporte esté muy perpendicular a la pieza o un arco muy largo (Hernández, 2009).

Figura 15

Mordedura en la parte inicial del cordón



Nota. También podría presentarse en la base o inicio del biselado una mordedura.

Tomado de (Arcos, 2011, p.49).

d) Salpicaduras

Son pequeños restos de residuos que salen por el contacto entre el material fundente y el material base en este caso de la soldadura mig como se observa en la figura 16 pequeñas partículas fuera de la superficie del cordón el cual no es relevante y no se ve afectado al cordón.

Figura 16

Apreciación de salpicadura en viga de suspensión

**e) Falta de continuidad de cordón**

Cuando en el proceso de soldadura es interrumpido y para continuar en el cordón no empalma de forma adecuada es cuando se produce una falta de continuidad, se produce una discontinuidad del cordón la cual se debe analizar su dimensión como se aprecia en la figura 17.

Figura 17

Falta de continuidad en el cordón



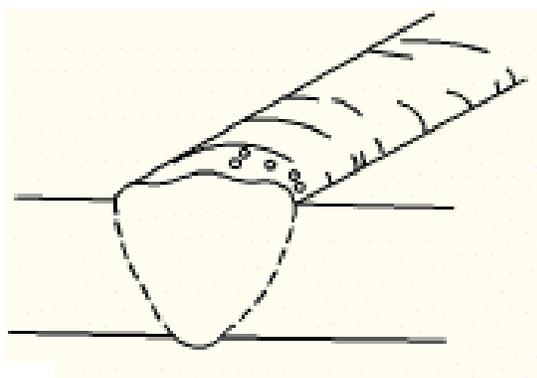
f) Porosidad

Cuando se realiza el proceso de soldadura los gases tienen tiempo para salir justo antes que se enfríe el material de aporte, pero suelen quedarse atrapados generando unos pequeños poros o bolitas de aire en la superficie del cordón de la soldadura (Fosca, 2009).

La figura 18 se aprecia pequeños poros que en general suele darse porque en el material de aporte hay partículas minúsculas de húmedas y al elevarse la temperatura quedan atrapados en el momento de soldar.

Figura 18

Poros al inicio del cordón



Nota. Tomado de (Arcos, 2011, p.52).

2.6.1.7. Limpieza post ensayo del componente

Finalizado el análisis de datos se debe realizar su respectiva limpieza con disolventes como el thinner o detergente para eliminar restos de la tinta penetrante o el revelador que se aplicó en la superficie del cordón soldado de la estructura.

2.7. Partículas Magnetizables

2.7.1. Método de inspección por partículas magnetizables

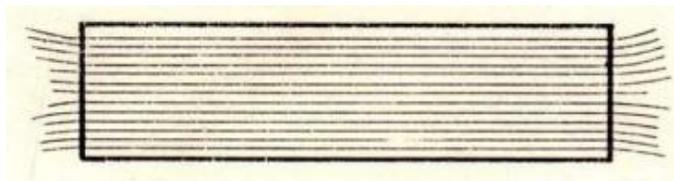
El método de inspección de soldadura partículas magnetizables es un método muy utilizado y ventajoso frente a otros métodos, como lo menciona (DINATECNICA, 2014) en su boletín técnico “El método de inspección por partículas magnetizables se utiliza para localizar discontinuidades superficiales o subsuperficiales en materiales ferromagnéticos”, en la estructura del buggy es indispensable realizar esta inspección por razones de seguridad.

2.7.2. Operación del método

El método de inspección se basa en el fenómeno físico de magnetismo, como funciona se describe a continuación: si se atraviesa una pieza de acero al carbono con un campo magnético, el flujo de las líneas magnéticas va ser lineal, en un cordón bien realizado serán paralelas y uniformes las líneas, pero si existiese alguna grieta o alguna discontinuidad en el cordón las líneas no fuesen paralelas y tomaran la forma del contorno de la fisura, lo que llevaría al flujo magnético a salir al exterior , Figura 19, lo que lo conocen como “campo de fuga” o “flujo disperso”, ahora si se agregan partículas ferromagnéticas para que revelen la forma de las líneas magnéticas, se podría conocer si existen irregularidades en la soldadura (Monsalvo, 2007).

Figura 19

Flujo continuo de líneas magnéticas



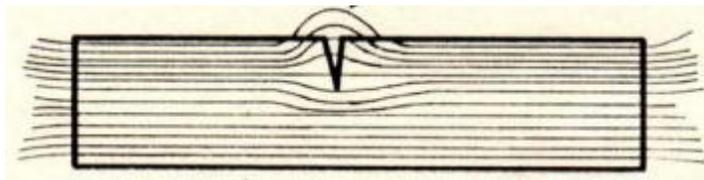
Nota. Tomado de *Sin discontinuidades* (p.14), por (Monsalvo, 2007).

Las grietas o bifurcaciones del cordón de soldadura generan discontinuidades en la forma paralela de las líneas magnéticas, Figura 20, lo que se denomina “campo de

fuga” permite que las partículas de material ferromagnético se adhieran de manera evidente para conocer el error de soldadura.

Figura 20

Campo de fuga

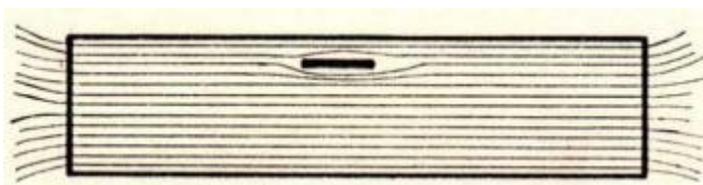


Nota. Tomado de *Distorsión del campo en una discontinuidad (p.14)*, por (Monsalvo, 2007).

Lo visto anteriormente sucede si la distorsión es de manera transversal a las líneas magnéticas, pero si la distorsión de campo es paralela a las líneas magnéticas, también se debe reflejar en las partículas ferromagnéticas que se le adhieran al campo magnético, Figura 21, no se aprecia de manera evidente una distorsión.

Figura 21

Distorsión paralela a las líneas magnética



Nota. Tomado de *Discontinuidad paralela a las líneas de fuerza (p.14)*, por (Monsalvo, 2007).

2.7.2.1. Fases del Ensayo

En ensayo por partículas magnetizables consta de las siguientes etapas:

2.7.3. Magnetización de la pieza

Para que en la pieza se sustente un campo magnético se debe tener un método que logre esta situación, para estos casos se tienen dos opciones, por imanes y por corriente eléctrica.

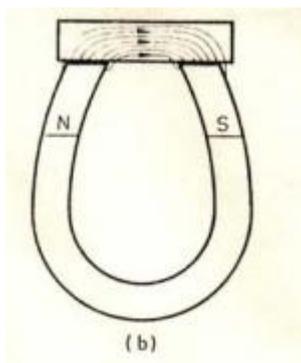
2.7.3.1. Imanes

La magnetización de la pieza con este método resulta de un imán permanente y el circuito magnético que genera al tener dos polos contrarios que normalmente cierran sus líneas magnéticas a través del aire (Monsalvo, 2007).

El ensayo con este método es de carácter “débil” porque las líneas magnéticas que atraviesan el cordón de soldadura dependen del imán y su polarización, es decir, la fuerza magnética que atravesaba el aire ahora deberá atravesar el cordón magnetizando la pieza, Figura 22, que depende la reluctancia de esta para la facilidad de paso del magnetismo y con él, la revelación de las bifurcaciones.

Figura 22

Magnetización de la pieza con imanes



Nota. Tomado de (Monsalvo, 2007)(p.15), Adaptado por Azogue, Xavier. 2022.

2.7.3.2 Corriente eléctrica

La corriente eléctrica como método de magnetización es mucho mejor que el uso de un imán, dado que la fuerza electromagnética es mucho mayor que la fuerza magnética únicamente, existe tipos de inducción de corriente y depende de esto para que el ensayo sea más o menos preciso.

En este caso se pueden distinguir dos tipos de magnetizaciones:

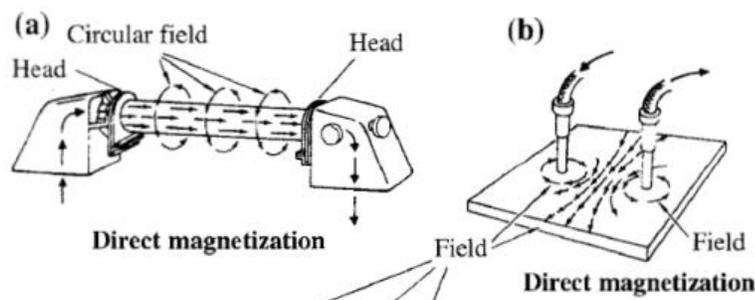
2.7.3.2.1. Magnetización de forma circular

Se obtiene un campo magnético circular al hacer pasar una corriente eléctrica a través de una barra, esta también es conocida como magnetización directa (American Welding Society, 2022).

El campo magnético que se genera por el paso de la corriente eléctrica en la barra tiene como centro el eje longitudinal de la barra, y su recorrido es excéntrico a dicho eje, Figura 23, por lo tanto, si existiese bifurcaciones en el campo magnético generado se notarían de manera inmediata, con las partículas ferromagnéticas y con su aditamento respectivo.

Figura 23

Magnetización Directa

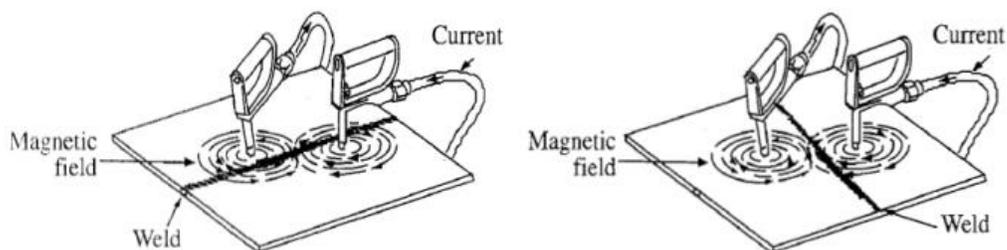


Nota. Tomado de *Circular magnetization by direct and indirect current induction* por (PAKTECHPOINT, 2019). Adaptado por Azogue, Xavier. 2022.

Para la detección de anomalías con este método se necesitan dos “polos” que se magnetizan de forma circular como lo indica la Figura 24, es decir que la probeta debe ser plana para que el campo sea lo más homogéneo.

Figura 24

Inspección de soldadura con inducción de corriente circular



Nota. Tomado de Discontinuity Detection por (PAKTECHPOINT, 2019). Adaptado por Azogue, Xavier. 2022.

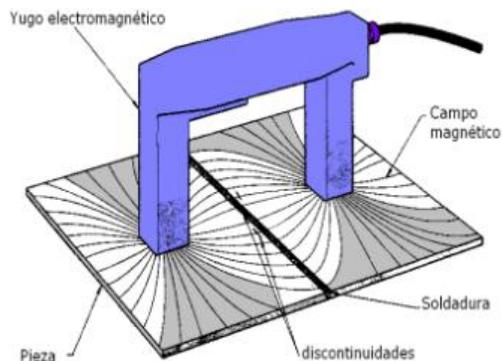
2.7.4. Magnetización longitudinal

La magnetización longitudinal utiliza el mismo efecto que la magnetización anterior con la diferencia que para generar una magnetización longitudinal se utiliza una bobina conductora alrededor del material a ser analizado, cuando a una bobina se le hace circular una corriente eléctrica esta genera un campo magnético en la barra ferromagnética o en el caso del ensayo, el cordón de soldadura. Este tipo de magnetización se denomina por solenoide o bobinas también.

Para este tipo de magnetización se utilizan implementos como el yugo magnético.

Figura 25

Yugo electromagnético



Nota. Tomado *Yugo de patas articuladas* (p.26), por Echevarría Ricardo.

Adaptado por (Villacís, 2011).

2.7.4.1. Yugos magnéticos

2.7.4.1.1. Imanes permanentes

Son yugos que no solicitan el uso de energía eléctrica, este tipo de yugos son utilizados en ambientes en los que resulta peligroso utilizar electricidad, tal como una petrolera con vapores inflamables.

Las desventajas de estos yugos son:

- Grandes áreas o piezas no pueden ser magnetizadas con la intensidad suficiente para que las fisuras produzcan indicaciones.
- La densidad de flujo no puede ser variada.
- Si el imán es muy fuerte, es difícil despegarlo de la pieza.
- Las partículas se pueden adherir al imán con posibilidad de enmascarar indicaciones (Villacís, 2011).

Figura 26*Yugo magnético*

Nota. Tomado de *Yugo magnético para inspección de partículas magnéticas, HCDX*, por valiometro (2022).

2.7.4.1.2. Electroimanes

Los electroimanes son yugos que utilizan corriente eléctrica para magnetizar la pieza, es decir son bobinas con un entrehierro al Si (silicio), las chapas acumuladas en el entrehierro forman las “patas” magnéticas del instrumento, en algunos casos son fijas, en otros son de geometría variable esto con el fin de adaptarse en tamaño y forma a las piezas con las que se puede trabajar.

El trabajar con yugo eléctrico como en la figura 27 tiene la gran ventaja de controlar el flujo magnético con el que se trabaja. La cantidad de corriente que circula por las bobinas es directamente proporcional al campo magnético producido, cuando se usa corriente continua se tiene un análisis más profundo, cuando la corriente empleada en el ensayo es alterna, el análisis es superficial (Villacís, 2011).

Figura 27

Yugo Electromagnético Magna flux



Nota. Yugo empleado en el ensayo por partículas magnetizables del buggy

2.7.4.2. Corrientes para magnetizar

Las corrientes que se utilizan para magnetizar en los ensayos tienen mucho que ver con el tipo de discontinuidades que se planean analizar y su respectiva injerencia en la soldadura.

Según (Villacís, 2011), las corrientes que se utilizan para estos ensayos son las que se mencionan en la Tabla 4, a continuación:

Tabla 4*Corrientes utilizadas para magnetizar por corriente*

TIPOS DE CORRIENTE Y POSIBILIDADES DE DETECCION DE DISCONTINUIDADES	
TIPO DE CORRIENTE	DISCONTINUIDAD DETECTABLE
Continua	Superficiales y subsuperficiales
Alterna	Superficiales y subsuperficiales
Alterna monofásica semirectificada	Subsuperficiales (alta sensibilidad)
Alterna monofásica totalmente rectificada	Subsuperficiales
Alterna trifásica totalmente rectificada	Subsuperficiales

Nota. Tomado de *Corrientes para magnetizar* de Manual de E.N.D, URMO, S.A Ediciones. Adaptado por (Villacís, 2011).

2.7.5. Partículas magnéticas

Los métodos de inspección de soldadura por lo general constan de un revelador que en este caso son las partículas que se adhieren al campo magnético, revelando las discontinuidades que se tiene en la pieza sometida al ensayo. Las partículas magnéticas, al igual que la forma en la que se magnetiza el material, tienen diversidad de variantes y por ello se deben analizar las propiedades para cada tipo de análisis.

2.7.5.1. Tamaño y forma adecuada

El tamaño de las partículas es de importancia al momento de realizar los ensayos, el tener partículas demasiado grandes requieren de una fuerza magnética en los campos de fuga considerable para que las partículas se adhieran en las discontinuidades que existan. Si por el contrario las partículas son demasiado pequeñas se han de adherir a la superficie aún si no existiesen discontinuidades considerables (Monsalvo, 2007).

2.7.5.1.1. Técnica por vía seca

En esta técnica la principal limitación es el tamaño de las partículas, con esta técnica se utilizan varios tamaños de partículas que deben ser elegidas de manera cuidadosa para tener un resultado acertado, este tipo de partículas son utilizadas para detectar discontinuidades subsuperficiales en piezas de gran tamaño y con equipos portátiles (Monsalvo, 2007).

Las partículas magnéticas por utilizar en esta técnica pueden ser para observar con luz blanca o con luz negra (Villacís, 2011).

2.7.5.1.2. Técnica por vía húmeda

En esta técnica las partículas se suspenden en un líquido que puede ser kerosene, aceite liviano o agua esto permite utilizar tamaños finos. Los tamaños límite para esta técnica son 40 y 60 micrones, tamaños superiores a esta medida hacen que las partículas no se suspendan formando cadenas que se atenúan descendiendo, no permitiendo adherirse a la discontinuidad a analizarse (Monsalvo, 2007).

Algo importante en esta técnica es que el líquido en el que se disuelven las partículas debe tener un punto de ignición no inferior a 60°C (Villacís, 2011).

La forma de las partículas influye gran parte en el comportamiento de estas al ensayar las piezas, si las partículas son alargadas tienen a comportarse como elementos dipolo siendo mejores que las partículas redondas que resultan menos propensas a pegarse a un polo magnético con facilidad. (Monsalvo, 2007).

2.7.5.2. Permeabilidad Magnética, retentividad y fuerza coercitiva

La permeabilidad de la pieza a ser ensayada debería ser la más alta posible lo que facilitaría el flujo magnético con lo que el campo de fuga posible sería más apreciable y su formación sería más rápida y clara (Monsalvo, 2007).

Con respecto a la retentividad y fuerza coercitiva deberían ser lo más bajas posibles esto con la intención de que no generen un “imán permanente” que acumularía partículas que no representan discontinuidad alguna, en el caso del método húmedo se tiene cierta retentividad ya que al utilizar partículas pequeñas se corre el riesgo de que no se aglomeren o su aglomeración sea tardada, tardando mucho tiempo en revelar las discontinuidades.

2.7.5.3. Movilidad

Si las partículas se mueven rápido la formación de indicaciones será igualmente, rápidas y nítidas (Monsalvo, 2007).

En el método húmedo se debe tener en cuenta otros parámetros, en términos de movilidad, debe ser tal que no permita la sedimentación de las partículas, lo que se logra disminuyendo la densidad del líquido portador y el tamaño de las partículas, pero aumentando su viscosidad. Entonces para conseguir la movilidad requerida se manipulan parámetros que no se debería. Entonces la movilidad de las partículas al menos en el método húmedo debe ser de las más medidas y más apreciada previo al ensayo ya que de ello depende el mantener los demás parámetros del ensayo.

2.7.5.4. Visibilidad y contraste

La visibilidad de las partículas es de suma importancia, si se realiza el proceso de la manera correcta pero la visibilidad y contraste de las partículas no es el que debería el ensayo no podrá ser satisfactorio. Es por lo que existen partículas pigmentadas, los colores con los que se trabajan son: grises, blancas, negras, amarillas, rojas, esto asegura que posean un contraste que sirva para revelar la discontinuidad en caso de que exista. Las partículas fluorescentes también son la mejor opción si se tienen piezas pintadas o con algún tipo de primer (Monsalvo, 2007).

2.7.6. Lámpara UV

Para revelar las partículas se debe tener cierto contraste como se mencionó previamente, para logra el contraste deseado se utilizan partículas húmedas fluorescentes, Figura 28, estas son visibles con la ayuda de luz ultravioleta o luz negra.

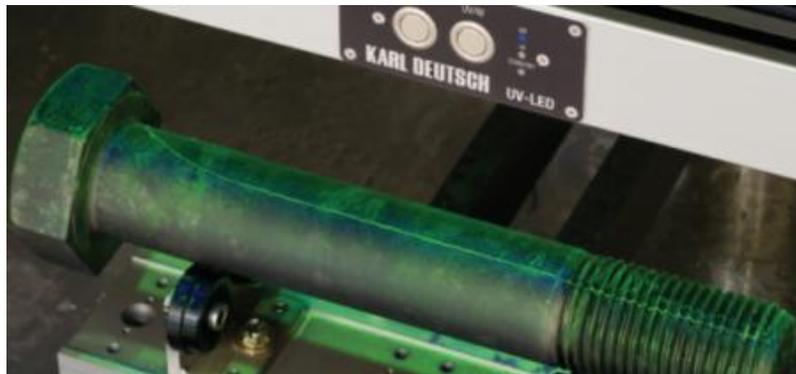
La utilización de este tipo de equipos suele estar estipulada o reglamentada en las normas de ensayos no destructivos, dependiendo del sector en el que se esté trabajando.

“Este tipo de luz se caracteriza por tener una longitud de onda entre 320 a 400 nm (nanómetros) y una onda larga, la luz visible es mínima” (FDNDT, 2022).

Al utilizar este tipo de luz, se debe reducir la luz natural o del sol, las cantidades de luz las rige la normativa a la que se apeguen al momento de realizar el ensayo.

Figura 28

Uso de luz UV y partículas magnéticas



Nota. Tomado de FNDT, 2020. Adaptado por Xavier Azogue, 2022.

Capítulo III

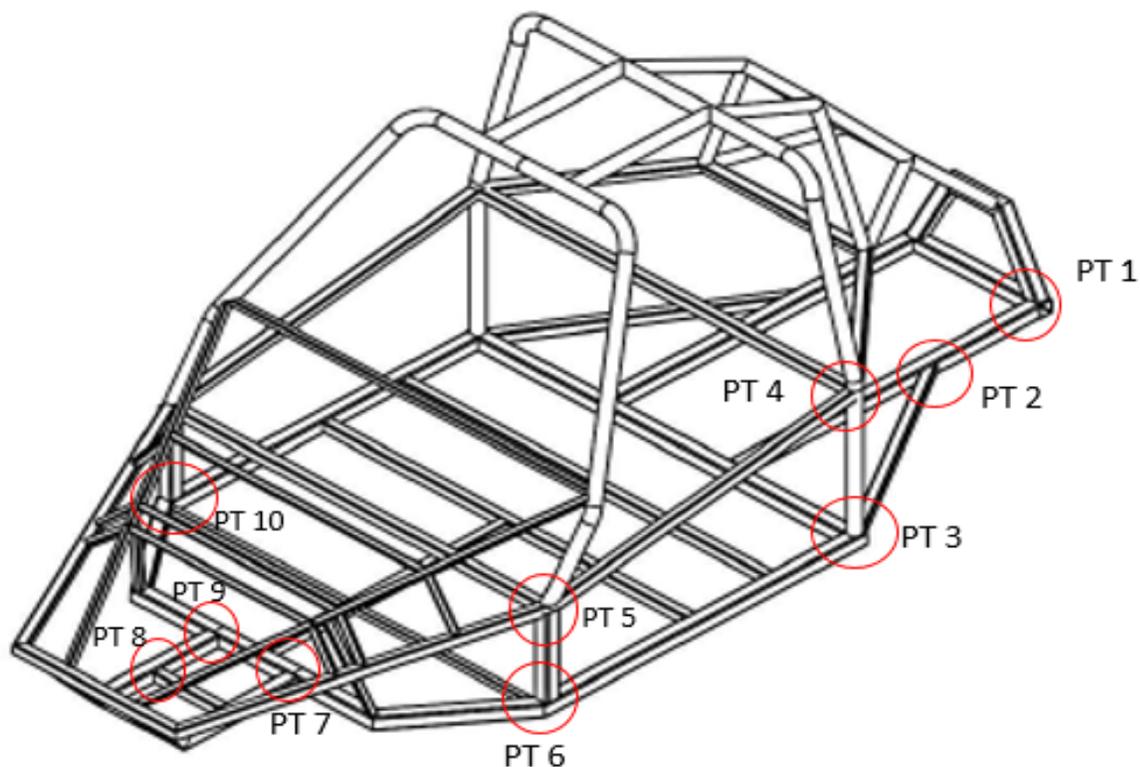
3. Desarrollo

En el desarrollo de los ensayos no destructivos en las uniones de la estructura del buggy se realiza tres procesos de ensayos aplicando diferentes tipos los cuales son ensayos de tipo visual, ensayos mediante las tintas penetrantes y también los ensayos mediante partículas magnetizables.

3.1. Ensayos no destructivos mediante tintas penetrantes (PT)

Para iniciar con los ensayos no destructivos mediante la aplicación de tintas penetrantes se establece los puntos en las cuales se va realizar tomando en cuenta las uniones principales y también en las cuales se ejerce mayor carga al soportar el peso de toda la estructura con sus componentes auxiliares, y la tracción eléctrica con la cual se impulsa el buggy.

Se establece los puntos en las cuales tengo prevista realizar el ensayo por tintas penetrantes y las cuales señalo a continuación por medio de las siglas "PT" (Penetrant Test) en la figura 29 con vista tridimensional.

Figura 29*Vista tridimensional frontal*

Nota. Se marca los puntos a realizar los ensayos en un círculo y señalado cada punto con un número. Tomado de (Pauta & Villacis, 2012) Adaptado por Azogue Xavier.

Una vez establecido los puntos que se va realizar los ensayos mediante las tintas penetrantes se procede a preparar los materiales con las cuales se va realizar el ensayo y son las tintas penetrantes que vienen en forma de aerosol que incluye: un limpiador, la tinta y el revelador.

3.1.1. Características de las tintas penetrantes usados en el ensayo

Las tintas penetrantes que se adquiere para este ensayo son de la marca Chem-pack indicados en la figura 30 los cuales están contruidos para la detección de defectos superficiales en metales y materiales duros, los cuales son de tipo aerosol, el limpiador como elemento que se realiza a la primera parte del ensayo.

Las características de la tinta penetrante es de tipo II no fluorescente o visible y del “método b - removible con solvente” para el cual se utiliza el limpiador incluido en el Kit para quitar la tinta penetrante pasado el tiempo de aplicación.

El aclarador que es el elemento principal para la detección de discontinuidades en la superficie de las uniones soldadas es de tipo “revelador húmedo no acuoso” que por sus características está compuesto por un polvo blanco sometido en aerosol a presión.

Figura 30

Kit de tintas penetrantes



Nota. En el Kit se encuentra el limpiador, tinta penetrante y aclarador

3.1.2. Proceso de ensayo mediante tintas penetrantes

Para realizar un buen ensayo se requiere hacer una pre limpieza de toda la unión soldada se aprecia en la figura 31 utilizando el solvente thinner que es un líquido químico y ayuda a remover la suciedad que está presente en las cavidades pequeñas del cordón en cada unión de la estructura que se va realizar el ensayo, se procede a la limpieza de todas las uniones usando una franela y también guaipe que es restos de telas deshiladas las cuales permite que el thinner se humecte y se limpie la superficie donde se realiza el ensayo con tintas penetrantes.

Figura 31

Pre limpieza de las uniones en la estructura



Nota. En el proceso de pre limpieza se hace el uso de una tela más rugosa y absorbente de la mayor cantidad de residuos no deseados en la superficie.

Para realizar los ensayos por tintas penetrantes es importante el uso del equipo de protección personal aprecie en la figura 32, porque trabajar con estas sustancias que son inflamatorias y emiten vapores que inhalaríamos en la respiración se vería afectado el sistema respiratorio y también se expone al contacto con la piel y se vería afectado de cierta manera con síntomas leves.

Figura 32

Uso del EPP previo a los ensayos



Nota. Uso del EPP son importantes al manipular estas sustancias inflamables (guantes, gafas o máscara transparente, mascarilla, zapatos punta de acero, overol) disminuye el riesgo que alguna sustancia ingrese y contamine al cuerpo.

Se procede a envolver con cinta adhesiva en la parte pintada de los tubos como se indica en la figura 33 esto con la finalidad de no quitar la pintura base o manchar con la tinta penetrante.

Figura 33

Limpieza del cordón y embalaje de los tubos



Nota. La envoltura con la cinta adhesiva evita que la tinta manche la tubería cuadrada de la estructura considerablemente hasta el alcance del rocío del aerosol.

Con la envoltura adhesiva completada se procede a la aplicación del aerosol limpiador que elimina la mayor parte de la suciedad restante después de la pre limpieza como se enseña en la figura 34 esto es necesario antes de la aplicación de la tinta para eliminar impurezas minúsculas que están en cavidades del cordón de la soldadura y en el ensayo se revele con mayor certeza cada ensayo, por lo que la limpieza con este aerosol limpiador es totalmente influyente para la detección de las discontinuidades presentes en las uniones. Por lo que al rosear el solvente se procede pasar un una tela y guaípe para que absorba la mayor cantidad de suciedad.

Figura 34

Aplicación del limpiador en la superficie del cordón



La limpieza realizada con el limpiador de partículas de polvo, restos de óxido o pintura se procede a la aplicación de la tinta penetrante viene en color rojo el cual se aplica a una distancia considerable entre 3 y 5 cm por lo que se aprecia una penetración a lo largo del cordón de la soldadura.

Figura 35

Aplicación de la tinta penetrante



Nota. Para aplicar la tinta se debe realizar siguiendo al cordón y a un flujo constante.

Una vez aplicado el aerosol de la tinta penetrante se puede ver que es de color rojo el cual permite que la superficie del cordón sea más visible en el tubo como se observa en la figura 36 una vez aplicado la tinta se observa claramente el color.

Figura 36

Aplicación de la tinta penetrante en la unión



Nota. La tinta penetrante se sobrepasa a la cinta adhesiva para que en la pulverización sea en toda la superficie de la unión soldada.

Una vez aplicado la tinta penetrante en el cordón se espera un tiempo aproximado de 10 minutos en cada unión de suelda, en este caso al ser un material pequeño tanto en medidas como en espesor de los tubos no requiere de una espera mayor para que alcance su capilaridad máxima.

Pasado el tiempo en que la tinta penetra en las cavidades de la soldadura se procede a la limpieza con el solvente limpiador del paso 1 y con una franela para quitar la tinta penetrante antes de aplicar el aclarador, figura 37, se aprecia la limpieza realizada.

Figura 37

Limpieza de la tinta penetrante



Nota. En la limpieza de la superficie del cordón se requiere cuidado para no exceder y retirar la tinta de las fallas de la superficie.

Seguido de la limpieza con el aerosol limpiador se espera un instante para que se evapore todo el aerosol limpiador como se aprecia en la figura 38, y se procede a la aplicación del revelador como se indica en la figura 38 que se debe realizar movimientos suaves de un lado hacia el otro sobre el cordón a una distancia entre 20 y 30 cm con total precaución debido que es una sustancia es muy volátil y se seca con mucha facilidad es importante que el rocío sea uniforme a lo largo de la unión para tener mayor información y valor en la interpretación.

Figura 38

Aerosol aclarador



Nota. La aplicación del aclarador es generalmente por pulverización con la presión que ejerce el mismo aerosol.

A medida que el tiempo pasa una vez aplicada el revelador se puede observar un cambio en toda la superficie aplicada a lo largo del cordón en las cuales se detecta la discontinuidad y las fallas que se encuentran en la superficie del cordón.

Figura 39

Apreciación de las discontinuidades en la unión de la estructura



Finalizado el análisis del cordón y concedido la aprobación o rechazo de la misma se procede a retirar los restos del revelador de toda la superficie del cordón, se visualiza en la figura 40 el cordón limpio finalizado el ensayo.

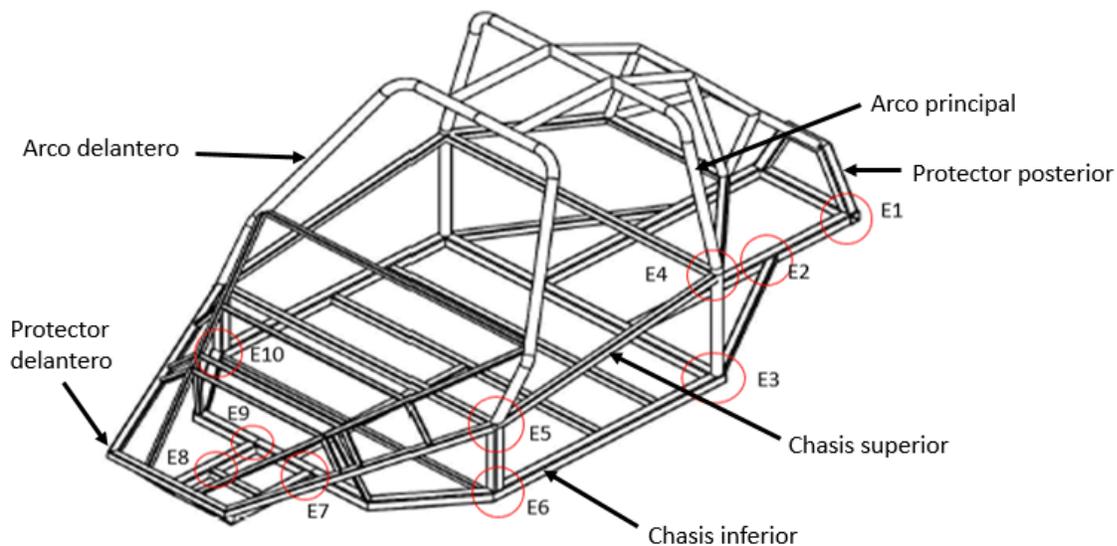
Figura 40

Limpieza final del revelador



Nota. Limpieza de los restos del revelador usando una franela delgada o guaípe usando el limpiador.

Con el proceso realizado en esta unión de la estructura se repite en cada uno de los puntos establecidos en el diagrama inicial, con los resultados obtenidos procedo a realizar una tabla 5 donde se realiza las interpretaciones de todas las uniones de la estructura analizada mediante tintas penetrantes y en la figura 41 las partes principales de la estructura donde se guía cada uno de los puntos sometidos a ensayos.

Figura 41*Partes principales del chasis*

Nota. Se marca los puntos a realizar los ensayos en un círculo y señalado cada punto con un número. Tomado de (Pauta & Villacis, 2012) Adaptado por Azogue Xavier.

Tabla 5*Ubicación de cada unión sometida a ensayos por LP*

Número de ensayo	Evidencia	Ubicación
1		Se realiza el ensayo en la parte inferior del trapecio que forma el protector posterior, soporta el peso de la caja de baterías y controladores de los motores.

Número de ensayo	Evidencia	Ubicación
2		Conectado en diagonal de chasis inferior hasta el soporte de peso de la caja de baterías y controladores de los motores.
3		Unión del trapecio que forma el chasis inferior y formando el arco principal de forma transversal.
4		Soldadura unida al chasis inferior y superior y el arco delantero en forma longitudinal.
5		Unión importante entre la parte posterior y frontal a su vez sujetando el chasis inferior y superior.

Número de ensayo	Evidencia	Ubicación
6		Soporte donde se ejerce el peso de los ocupantes del buggy entre el arco delantero y chasis inferior.
7		Unión del chasis inferior que soporta parte de las fuerzas ejercidas por la suspensión delantera y une transversalmente el arco delantero.
8		Unión que va hacia la parte del protector delantero y donde soporta fuerzas de la suspensión delantera y fuerzas de las bases de la cremallera de dirección.
9		Unión del chasis inferior que soporta parte de las fuerzas ejercidas por la suspensión delantera y une transversalmente el arco delantero que también va hacia el protector delantero.

Número de ensayo	Evidencia	Ubicación
10		Unión del trapecio entre el chasis inferior que une al otro extremo con el arco delantero.

Seguidamente en la tabla 6 se describe el analisis de cada cordón según la informacion que se ha obtenido luego de aplicar el revelador en los ensayos por líquidos penetrantes en la uniones de la estructura para identificar las fallas en la suelda o discontinuidades en la superficie del cordón de suelda.

Tabla 6

Análisis de los puntos de ensayo por tintas penetrantes

Número de ensayo	Análisis del ensayo	Recomendaciones
1	En la aplicación del revelador se puede observar que no tiene la capa superficial blanca del revelador el cual se debe a una porosidad pequeña que afecta la superficie.	En el proceso de soldadura se debe verificar que no haya humedad del cordón.
2	En el siguiente cordón aplicado el revelador no se observa ninguna saliente de tinta por lo que el cordón es la adecuada.	La comodidad del operador y el manejo de la tobera adecuadamente mientras suelda inciden en la perfección del cordón.
3	En el cordón se puede observar que la parte de la derecha se tiene un aporte ligeramente mayor pero es uniforme, razon por la cual el revelador no muestra discontinuidades.	Es necesario mejorar la uniformidad de aporte en la mecha de la soldadora .

Número de ensayo	Análisis del ensayo	Recomendaciones
4	En la parte central se puede apreciar una leve disminución de aporte pero es uniforme ya que no muestra una discontinuidad representativa.	Una de las causas se debe que se aceleró la velocidad de aporte en la parte central y se recomienda mantener la velocidad de aporte y con buena posición para soldar.
5	Esta unión es complicada su aporte debido que tiene la unión circular y tubos cuadrados, por lo que se presenta una pequeña mordedura al final del cordón de suelda.	A medida que avanza soldando se debe tomar una buena posición sin perder la uniformidad del cordón.
6	Se identifica un cambio de técnica de caligrafía del soldador, semilunas, generado por la incomodidad de la tobera y posición de soldador.	Buscar una mejor posición para el aporte del material y también para manejar sin complicaciones la tobera.
7	Se observa un cordón uniforme en todas las tres uniones y en la que tenemos el revelador no se presenta visibilidad de la tinta penetrante.	El buen proceso de la soldadura se debe por la buena posición y la técnica del operador.
8	En el cordón se distingue una convexidad en la parte central, pero el aporte es uniforme razón por la cual no se distingue discontinuidad.	Se recomienda calibrar la velocidad del hilo de aporte de acuerdo al pulso del operador para sincronizar entre los dos.
9	En el cordón se presenta una falta de continuidad de aporte por lo que se distingue una estética ondulada pero el revelador no sobresale la tinta, entonces no hay discontinuidades superficiales o grietas.	La falta de continuidad de aporte se debe al pulso del operador, debido a esto se recomienda mejorar la técnica de suelda y seguir una caligrafía de soldadura.

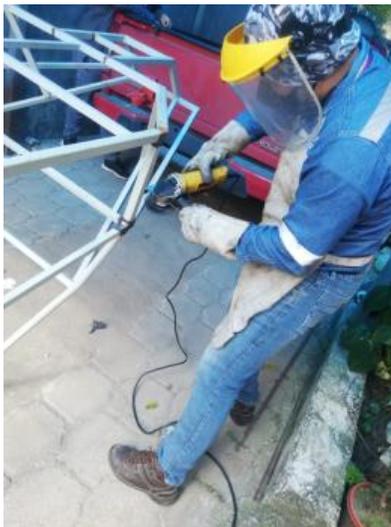
Número de ensayo	Análisis del ensayo	Recomendaciones
10	La soldadura en superficie tubular es más complicado mantener el pulso continuo sin embargo en este cordón no se tiene presencia de discontinuidades superficiales más que una salpicadura.	Cuando se presenta las salpicaduras fuera del cordón que se realiza no son de interés, por lo que son frecuentes en estos trabajos y se quitan fácilmente.

3.2. Ensayos no destructivos por partículas magnetizables

Para el ensayo no destructivo con partículas húmedas se deben seguir ciertos pasos que se muestran a continuación.

3.2.1. Preparación de la superficie

La preparación de la superficie es importante, debe estar limpia porque si existiese óxido, escoria puede no dar la claridad necesaria para un revelado ideal, a eso también se suma que debe estar libre de polvo, aceite u otra humedad, en la Figura 42 se puede apreciar cómo se cepillan los cordones a los que se les aplicará la solución húmeda, esto es parte de la preparación de la superficie.

Figura 42*Preparación de la superficie*

Nota. En el caso del buggy se le aplicó una capa de primer o fondo para evitar que el óxido degrade el material por lo que se tuvo que retirar la pintura para el ensayo.

3.2.2. Preparación de la solución húmeda

Para este ensayo se prepara la solución de tipo húmeda que consiste en las partículas fluorescentes y el vehículo húmedo que es el agua.

Las partículas utilizadas en este ensayo se denominan Magnaglo 20B, es un pre mezcla de partículas magnéticas fluorescentes de alta sensibilidad para localizar discontinuidades finas en aplicaciones de gran volumen. Estas partículas se preparan con acondicionadores de base agua que generan un pre mezcla en la que resulta fácil la suspensión de las partículas magnéticas, las partículas ultrasensibles proporcionan indicaciones claras y brillantes de color verde fluorescente bajo una luz negra ultravioleta, las indicaciones de defectos aparecen como un color amarillo-verde brillante bajo luz ultravioleta. Se utiliza para detectar grietas y costuras, así como inclusiones, desgarrros, escamas, así como defectos superficiales y sub superficiales, estas partículas se acumulan donde se interrumpe el campo magnético y brillan con la luz UV.

La concentración de partículas en agua es de 0,3ml/100ml como se puede apreciar en la Figura 43, se debe medir de manera exacta para que al momento de revelar con la ayuda de la luz UV no exista sedimentación o acumulación que afecte el ensayo.

Figura 43

Preparación de las partículas del método húmedo



Nota. Las proporciones suministra el fabricante del producto.

3.2.3. Aplicación de la suspensión

La mezcla del vehículo portador y las partículas, en las medidas exactas, es rociada en las probetas para el ensayo, en este caso con la ayuda de una bomba manual, Figura 44, al rociar la solución húmeda se debe preparar el dispositivo magnetizador para aplicar el campo magnético.

Figura 44

Aplicación de la solución húmeda



Nota. Se debe tener preparada de manera correcta la superficie para que las partículas se adhieran con facilidad.

3.2.4. Aplicación de la Fuerza de magnetización

La aplicación de la fuerza de magnetización es inmediata con respecto a la aplicación de la solución húmeda, la herramienta con la que se magnetizó la pieza fue un yugo electromagnético de la marca Magnaflux mismo del que se presentan sus características a continuación:

El modelo del yugo es el Y-7 que es sellado para resistir los químicos, posee patas articuladas para facilidad de adaptación al entorno y forma de las piezas, posee controles que permiten su uso en CA para indicaciones superficiales y CC para indicaciones subsuperficiales siendo un yugo completo con respecto a otros en el mercado (MAGNAFLUX, 2021).

Figura 45

Uso del yugo magnético



Nota. El tener patas abatibles da mayor comodidad al instrumento para las formas en el buggy.

3.2.5. Inspección de la soldadura

Una vez magnetizada la pieza se debe buscar las discontinuidades de la probeta, la forma en que se busque depende de las partículas con las que se está trabajando, en este caso como las partículas son fluorescentes se debe utilizar una lámpara de rayos UV, Figura 46, esto se lo hace con ciertos parámetros que se indican a continuación.

- Intensidad de luz negra > 1076 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$
- Intensidad de Luz Ambiente <21,5 luxes

Figura 46

Equipo utilizado en el ensayo

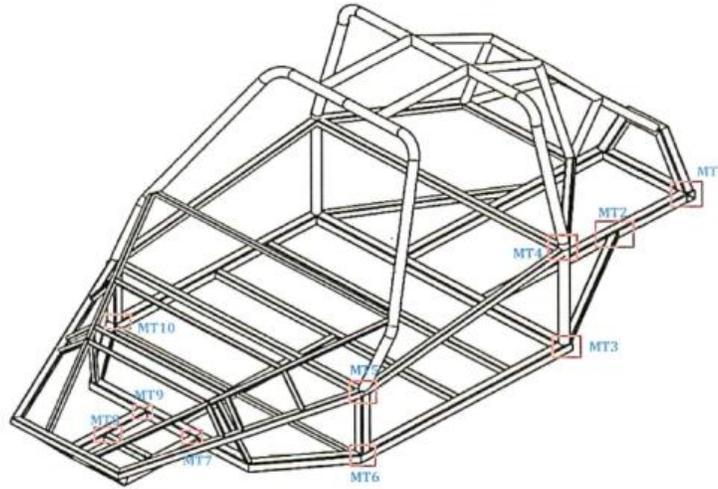


Nota. La lámpara UV en la parte inferior de la imagen.

El ensayo de los cordones se realiza en las partes más críticas del buggy, Figura 47, esto es importante porque con los ensayos se conoce el índice de seguridad de la estructura. Para los ensayos se denomina a cada cordón de manera particular.

Figura 47

Cordones en los que se realizó el ensayo



Nota. Los cordones analizados fueron 10, a lo largo de todo el buggy.

3.2.6. Análisis de Resultados

Después de aplicar el ensayo en los cordones correspondientes se procede a analizar los resultados. Para esto se adjuntan las fotos correspondientes.

Figura 48

Primer cordón analizado



Para reconocer los cordones a los que se aplicará el ensayo en toda la estructura, se les cataloga con la siguiente etiqueta:

MT1: OK
2021-07-01

MT: Magnetic Test

OK: Aprobado/Desaprobado

2021-07-01: Fecha del ensayo

El revelado de las partículas magnéticas con la ayuda de la luz ultravioleta, figura 49, no muestra imperfecciones significativas en el cordón.

Figura 49

Revelado con luz UV



EL proceso para cada probeta/cordón es el mismo, a continuación, se adjunta la tabla de resultados.

Figura 50

Resultados de ensayos con partículas magnetizables

Descripción: Juntas soldadas en taller												
Description												
IDENTIFICACIÓN			INSPECCIÓN			DISCONTINUIDADES			RE-INSPECCIÓN			
SOLDADURA ó ELEMENTO	TIPO	SOLDADOR	FECHA	Resultado		TIPO	LONGITUD (mm)	POSICION (mm)	SOLDADOR	FECHA	Resultad	
				Aceptado	Rechazado						Aceptado	Re
BUGGY												
MT1	-	-	2021-01-07	✓	-	-	-	-	-	-	-	-
MT2	-	-	2021-01-07	✓	-	-	-	-	-	-	-	-
MT3	-	-	2021-01-07	✓	-	-	-	-	-	-	-	-
MT4	-	-	2021-01-07	✓	-	-	-	-	-	-	-	-
MT5	-	-	2021-01-07	✓	-	-	-	-	-	-	-	-
MT6	-	-	2021-01-07	✓	-	-	-	-	-	-	-	-
MT7	-	-	2021-01-07	✓	-	-	-	-	-	-	-	-
MT8	-	-	2021-01-07	✓	-	-	-	-	-	-	-	-
MT9	-	-	2021-01-07	✓	-	-	-	-	-	-	-	-
MT10	-	-	2021-01-07	✓	-	-	-	-	-	-	-	-

Nota. Todos los cordones inspeccionados fueron aprobados.

Capítulo IV

4. Conclusiones y recomendaciones

4.1. Conclusiones

En la actualidad los ensayos no destructivos son más conocidos y utilizados por los diferentes métodos que ofrece de acuerdo a las circunstancias de la estructura o componente que necesita ser analizado sus propiedades de soldadura o composición del material y brindando un análisis de datos e interpretaciones de resultados que mejoran la eficiencia en cada uno de sus métodos.

En la estructura del buggy se establece puntos de soldadura que son sometidos a grandes esfuerzos las cuales son acusados por fuerzas como el peso de la estructura y conjuntamente a los sistemas auxiliares, tracción motriz, carrocería de fibra de vidrio, los mismos que dependen de la calidad de cordones de soldadura para mantener su integridad.

Los resultados de los ensayos no destructivos aplicados en la estructura del buggy confirma que no hay defectos que el buggy por lo que es apto para someterse y soportar las fuerzas que ejercen en el funcionamiento del buggy

En los ensayos por partículas magnetizables se considera que los cordones en las uniones de soldadura cumplen con la normativa en las cuales rige este tipo de ensayo por lo que no presentan discontinuidades representativas en la superficie de la estructura por lo que son aptos y aceptados todos los puntos de soldadura.

Los ensayos no destructivos mediante tintas penetrantes y partículas magnetizables son bajos en costos a comparación con los ensayos destructivos, pero de mayor fiabilidad comparado con las simulaciones CAD (Design Assist computer).

4.2. Recomendaciones

En los ensayos no destructivos es importante conocer bajo que reglamento se va regir la inspección para su aprobación o rechazo.

Para realizar los respectivos ensayos no destructivos se debe conocer los métodos de inspección que se va aplicar al componente o estructura soldada ya que depende de las características para tener un buen análisis e interpretación de los resultados.

El uso del equipo de protección personal es primordial para salvaguardar al operador, herramientas y proyecto, ya que se podría contaminar con los elementos usados que pueden ser inflamables como el aerosol de las tintas penetrantes o irritables las partículas ferromagnéticas y causar daños a la integridad física.

En los ensayos por partículas magnéticas se recomienda tener operativas las herramientas utilizados en el ensayo, además calibrar correctamente el yugo magnético porque depende de aquello obtener un buen resultado de ensayo.

Tener en cuenta el presupuesto económico ya que en base a esto se elige el tipo de ensayo no destructivo, tomando en cuenta la magnitud de importancia del proyecto.

Bibliografía

- Barrera, S. L. P., & Coronel, P. M. M. (2011). *Desarrollo Y Procedimientos Para La Utilización De Técnicas De Ensayos No Destructivos Con Ultrasonido Para Inspección De Tuberías* [Universidad Pontificia Bolivariana].
http://biblioteca.upbbga.edu.co/docs/digital_21062.pdf. Recuperado el 15 de agosto del 2021.
- Federación de Enseñanza CC.OO de Andalucía. (2011). ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS EN LA SOLDADURA INTRODUCCIÓN. *Temas para la educación* , 13, 1| - 13. <https://www.feandalucia.ccoo.es/docu/p5sd8259.pdf>.
 Recuperado el 18 de agosto del 2021.
- Fuentes, V. G. (2011). *Estudio del estado del arte en ensayos no destructivos aplicados a uniones soldadas por el proceso GMAW en línea de chasises de la industria automotriz* [Corporación Mexicana de Investigación en Materiales].
https://comimsa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1022/277/1/MONOGRAFÍA_GILBERTOFUENTESV.pdf. Recuperado el 5 de septiembre del 2021.
- Lopez, Ricaurte Ospina; Trujillo, Hernando; Parra, C. (2011). APLICACIÓN Y SELECCIÓN DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS PARA LA EVALUACIÓN DE UNIONES SOLDADAS Application and selection of non-destructive test for the evaluation of welded joints. *Scientia et Technica Año XVI*, 48.
- Torres, N. (2011, julio 3). *Tipos de ensayo de soldadura*.
<https://www.slideshare.net/nikober21/tipos-de-ensayo-de-soldadura>. Recuperado el 6 de septiembre del 2021.

- AEND (Asociación Española de Ensayos No Destructivos). (2009). *Líquidos Penetrantes. Nivel II: Ensayos no destructivos*. FC EDITORIAL.
- American Welding Society. (2022). AWS. Obtenido de <https://awo.aws.org/glossary/circular-magnetization/>. Recuperado el 12 de septiembre del 2021.
- Andrea, V. K. (2010). *Líquidos Penetrantes Introducción*.
- Arcos, A. O. (2011). *Ensayo de tintas penetrantes fluorescentes y su incidencia en el control de calidad de las juntas soldadas en aceros al carbono*. Universidad Técnica De Ambato, Ambato.
- Canga, O. A., & Beltrán, R. C. (2019). *Control de calidad en la soldadura de la estructura metálica del terminal de transporte terrestre del cantón Gualaceo de la provincia Azuay [Tesis de Ingeniería Mecánica, Universidad Politécnica Salesiana SEDE Cuenca]*. Repositorio Institucional.
- Carmona, V. C. (2013). *La radiografía como método de control de soldaduras [Tesis de Ingeniería, Universidad Andres Bello]*. Repositorio Institucional, Santiago.
- Cevallos, J., & Garces, C. (2018). *Análisis De La Falla Estructural Del Chasis De Un Monoplaza Tipo Kart Mediante Ensayos No Destructivos [Tesis de Ingeniería, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPEL]*. Repositorio Institucional Digital, Latacunga. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/15391/2/T-ESPEL-MAI-0646.pdf>. Recuperado el 19 de septiembre del 2021.
- DINATECNICA. (6 de Marzo de 2014). *DINATECNICA*. Obtenido de https://www.dinatecnica.com.ar/cms/uploads/docs/ht-end-partículas_20140306144921.pdf. Recuperado el 20 de septiembre del 2021.

- Espinoza, E. (2019). *Elaboración de una metodología para la detección de fallas en estructuras metálicas empleando técnicas no destructivas [Tesis de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica del Ecuador]*. Repositorio Institucional Universidad Católica.
- FDNDT. (17 de Noviembre de 2022). *FDNDT*. Obtenido de <https://fdndt.es/las-lamparas-uv-en-los-ensayos-no-destructivos/>. Recuperado el 3 de enero del 2022.
- Fosca, C. (2009). *Introducción a la metalurgia de la soldadura*. Perú: IMPRENTA PUCP.
- Hernández, G. (2009). *Manual del Soldador*. Madrid: Editorial Gráficas Rogar.
- International, ASM. (2006). *ASM handbook volume 7 nondestructive evaluation and quality control*. Estados Unidos.
- Izurieta, Y. S. (2017). *Evaluación de defectos y discontinuidades de la soldadura por medio de la aplicación de ensayos no destructivos, en la fabricación de tuberías de 3000 mm de diámetro [Tesis de Ingeniería, Universidad Politécnica Salesiana Del Ecuador]*. Repositorio Digital Institucional.
- Juan, A. (2014). *arcoindustrial.org*. Obtenido de <https://arcoindustrial.org/2014/09/13/guia-de-herramientas-y-técnicas-para-el-inspector-visual-de-soldaduras/>. Recuperado el 6 de enero del 2022.
- MAGNAFLUX. (2021). *MAGNAFLUX*. Obtenido de <https://magnaflux.mx/Productos/Inspeccion-por-Particulas-Magneticas/Equipo/Y-7.htm>. Recuperado el 1 de enero del 2022.
- Monsalvo, C. (6 de Noviembre de 2007). *Ensayos No Destructivos Partículas Magnetizables . Manual de Entrenamiento Técnico . Buenos Aires , Argentina .*
- OIEA-RLA/9/064-ATS 1. (2011). *Guía para autorización e inspección: Radiografía industrial [Guía de autorización e inspección, Organismo Internacional de Energía Atómica]*. Guía. Obtenido de <https://www.mem.gob.gt/wp->

content/uploads/2015/06/Guia_Radiografía_industrial.pdf. Recuperado el 5 de enero del 2022.

PAKTECHPOINT. (31 de Agosto de 2019). *PAKTECHPOINT*. Obtenido de <https://paktechpoint.com/magnetization-circular-fields/>. Recuperado el 5 de enero del 2022.

Pauta, M. P., & Villacis, A. J. (2012). *Diseño y construcción de un vehículo biplaza de estructura tubular con motor monocilíndrico yamaha YFM 200 [Tesis de Ingeniería, Universidad Del Azuay]*. Repositorio Institucional.

Proyecto óxidos 2500 TPD JJC. (2013). *Procedimiento de líquidos penetrantes*. sistema de gestión de calidad.

Rosario, F. S. (s.f.). *Exceso de penetración*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú.

Ruiz, S. J. (s.f.). *Método de ensayo normalizado para EL EXAMEN POR LÍQUIDOS PENETRANTES ASTM E 165-02*. Apoyo a la unidad de Ingeniería de Soldadura.

Sanchez, H. (2015). *Mantenimiento en espesadores de la empresa IMCO servicios SAC [Tesis de Ingeniería, Universidad nacional de San Agustín]*. Repositorio Institucional San Agustín.

SYCCAPACITACION. (s.f.). *Manual de Líquidos Penetrantes Nivel I*. Obtenido de www.syccapacitacion.cl. Recuperado el 5 de enero del 2022.

Villacís, D. (2011). ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS POR EL MÉTODO DE PARTÍCULAS MAGNÉTICAS Y SU INCIDENCIA EN MATERIALES FERROMAGNÉTICOS . Ambato , Tungurahua, Ecuador .

World of NDT. (2020). *Pruebas de líquidos penetrantes ASME BPVC SEC-V, Artículo-6*. Obtenido de <https://worldofndt.com/liquid-penetrant-testing-asme-bpvc-sec-v-article-6/>. Recuperado el 6 de enero del 2022.

Anexos