



Análisis de la resistencia estructural del chasis de un vehículo de competencia por medio de ensayos no destructivos.

AUTORES

Gisselle Melissa Jaimes Díaz 1098798390
German Leonardo Jaimes Diaz 1098776101
Bryan Stuar Villamizar Cubillos 1098774412

**UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERÍAS
TECNOLOGÍA EN OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO ELECTROMECAÁNICO
BUCARAMANGA
28-10-2019**



Análisis de la resistencia estructural del chasis de un vehículo de competencia por medio de ensayos no destructivos.

AUTORES

Gisselle Melissa Jaimes Díaz 1098798390
German Leonardo Jaimes Diaz 1098776101
Bryan Stuar Villamizar Cubillos 1098774412

**Trabajo de Grado para optar al título de
TECNOLÓGO EN OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO ELECTROMECAÁNICO**

DIRECTOR

M. Eng Diana Carolina Dulcey Díaz

**GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN DISEÑO Y MATERIALES– DIMAT
SEMILLERO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA Y MECÁNICA AUTOMOTRIZ-SIIMA**

**UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERÍA
Tecnología en Operación y Mantenimiento Electromecánico
Bucaramanga
28-10-2019**

Nota de Aceptación

Firma del jurado

Firma del Jurado

DEDICATORIA

Este proyecto va dedicado primeramente al Señor Jesús que ha sido el motor de mi vida, a mis padres German Esteban Jaimes Martínez y Mercedes Díaz Rincón, mi hermana y compañera de carrera Gisselle Melissa Jaimes Diaz, a mi novia Alba Lucia Morales Rojas. Cada uno de ellos me apoyan incondicionalmente en el desarrollo de mis ideas, me direccionan en mis Fortalezas, valores y perseverancia. Mil gracias por apoyarme a salir adelante y por hacer parte de mis logros.

GERMAN LEONARDO JAIMES DIAZ.

Dedico este logro de mí proyecto de grado primeramente a mí amado Señor Jesús quien ha sido mí fortaleza en todo momento sin importar la situación, me ha sustentado y guiado por su camino de amor y bendiciones, a mi familia, mis padres German Esteban Jaimes Martínez y Mercedes Diaz Rincón, mi hermano y compañero de carrera Germán Leonardo Jaimes Diaz, a mí mascota Yiyu por todos los momentos de alegría que me brindó día a día, y a mí novio Noel Dante Hautle. Cada uno de ellos me brindó su amor, apoyo y comprensión incondicional en muchas situaciones de esta etapa transcurrida, con sus valores, positivismo, y comprensión. Fueron personas muy importantes para ayudarme a crecer tanto personal como profesionalmente.

GISSELLE MELISSA JAIMES DÍAZ

Dedico este logro primeramente a Dios por Darme la sabiduría para poder realizar este proyecto y también dedicarlo a mis padres Olga y nelson por haberme apoyado en los momentos más difíciles de mi vida sin ellos no habría podido culminar este proyecto doy gracias a la profesora Diana Dulcey por guiarnos en este proceso y esta etapa de mi vida. A mis amigos gracias al Equipo que formamos y logramos este proyecto fueron un gran apoyo en la etapa de crecimiento intelectual y su tiempo.

BRYAN STUAR VILLAMIZAR CUBILLOS

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Señor Jesús por darnos la fuerza para realizar esta investigación.

Agradecemos a nuestros padres por brindarnos el apoyo en el desarrollo de la investigación, motivarnos a seguir adelante para cumplir nuestros sueños y financiar esta investigación.

A nuestra directora de la investigación la M. Eng. Diana Carolina Dulcey Díaz por su excelente dirección, y por supuesto al evaluador de la investigación el Mg. Carlos Gerardo Cárdenas.

A la institución y todos los docentes que nos enseñaron en el transcurso de este largo aprendizaje ya que aportaron su conocimiento y rectitud.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN EJECUTIVO.....	13
INTRODUCCIÓN.....	14
1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	15
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	17
1.3. OBJETIVOS	17
1.3.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
1.4. ESTADO DEL ARTE / ANTECEDENTES	18
1.4.1. TÍTULO: ANÁLISIS DE LA FALLA ESTRUCTURAL DEL CHASIS DE UN MONOPLAZA TIPO KART MEDIANTE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS.	18
1.4.2. TÍTULO: IDENTIFICACIÓN DE DEFECTOS EN SOLDADURAS DE ACERO ESTRUCTURAL ASTM A36 MEDIANTE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS SEGÚN EL CÓDIGO AWS D1.1	19
1.4.3. TÍTULO: ANÁLISIS MORFOLÓGICO EN UNIONES SOLDADAS MEDIANTE EL USO DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS ESPECÍFICOS PARA LA IDENTIFICACIÓN DE SOCAVADO INTERNO Y FALTA DE PENETRACIÓN EN JUNTAS DE TUBERÍAS DE ACERO ASTM A36	21
1.4.4. TÍTULO: APLICACIÓN Y SELECCIÓN DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS PARA LA EVALUACIÓN DE UNIONES SOLDADAS	22
2. MARCOS REFERENCIALES	24
2.1. ORÍGENES DE LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS.....	24
2.1.1. ACONTECIMIENTOS IMPORTANTES EN LA HISTORIA DE LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS.....	25
2.1.2. RAMAS DE ESTUDIO EN LAS QUE SE APLICA EL USO DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS.....	26
2.1.3. FUNCIÓN DE LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS	26
2.1.4. CLASIFICACIÓN DE LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS	27
2.1.5. CARACTERÍSTICAS FUNDAMENTALES DE UN ENSAYO NO DESTRUCTIVO 28	
2.1.6. INSPECCIÓN MEDIANTE END	28
2.1.7. ELECCIÓN DEL MÉTODO Y LA TÉCNICA APROPIADA	29
2.1.8. DEFECTOS MÁS COMUNES ENCONTRADOS EN LOS END.....	29
2.2. ENSAYO POR LÍQUIDOS PENETRANTES.	30
2.2.1. TIPOS DE LIQUIDOS PENETRANTES.	31
2.3. ENSAYO DE PARTICULAS MAGNETICAS.	32
2.3.1. MAGNETIZACIÓN DE LA SUPERFICIE	33
2.4. ENSAYO DE VIBRACIONES.....	33
2.4.1. EQUIPO DE VIBRACIONES ELECTROHIDRAULICO.....	34
2.4.2. CONTROLADORES DE VIBRACIONES.	35
2.5. ENSAYO DE LIQUIDOS PENETRANTES.	35

2.5.1.	MATERIALES NECESARIO PARA LA INSPECCION DE LIQUIDOS.....	36
2.5.2.	NORMAS DEL METODO DE LIQUIDOS PENETRANTES.....	36
2.5.3.	OTROS PUNTOS QUE ESPECIFICA LA NORMA IRAM- CENA Y 500- 1 004 SON:	37
•	MARCADO, ROTULADO Y EMBALAJE	37
•	INSPECCIÓN Y RECEPCIÓN.....	37
2.6.	ENSAYO DE VIBRACIONES.....	38
2.6.1.	MESA DE VIBRACIONES MULTI AXIAL (MAST)	38
2.6.2.	VIBRACIONES DE CUERPO COMPLETO (NORMAS ISO 2631).	39
2.6.3.	VIBRACIONES MANO –BRAZO (NORMA ISO 5349)	40
2.7.	ENSAYO DE PARTICULAS MAGNETICAS.....	40
2.7.1.	LOS MATERIALES SE CLASIFICAN EN:	40
2.7.2.	NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC-2034 (ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS. CALIFICACIÓN Y CERTIFICACIÓN DE PERSONAL)	42
3.	<u>DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO</u>	<u>44</u>
3.1.	ETAPA 1. SELECCIÓN DE LA NORMATIVA A USAR EN LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS.....	44
3.1.1.	NORMATIVA ESTÁNDAR SELECCIONADA PARA LA REALIZACIÓN DE LOS END	44
3.1.2.	EQUIPO DE SEGURIDAD PARA USAR EN LA REALIZACIÓN DE CADA END	44
3.1.3.	MÉTODOS DE EXAMINACIÓN DISCONTINUIDADES POR LÍQUIDOS PENTRANTES NORMA ASTM E165-95.....	45
3.1.4.	CLASIFICACIÓN DE NIVEL DE SENSIBILIDAD PARA TINTAS FLUORESCENTES	46
3.1.5.	CLASIFICACIÓN DE REVELADOR END LP.....	47
3.1.6.	CLASIFICACIÓN TIPOS DE REMOVEDOR LP	47
3.1.7.	TIPOS DE DISCONTINUIDADES EN SOLDADURA.....	48
3.2.	ETAPA 2: REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS.....	50
3.2.1.	ENSAYO DE LÍQUIDOS PENETRANTES: ADQUISICIÓN DE LOS LÍQUIDOS NO PENETRANTES	50
3.2.2.	PROCESO PARA LA REALIZACIÓN DE LA PRUEBA LÍQUIDOS PENTRANTES: 52	
3.2.3.	REALIZACIÓN DEL END LÍQUIDOS PENETRANTES	53
3.2.4.	ENSAYO DE PARTÍCULAS MAGNÉTICAS.....	61
3.2.5.	ENSAYO DE ANÁLISIS POR VIBRACIONES.....	68
4.	<u>RESULTADOS</u>	<u>76</u>
4.1.	CRITERIOS INSPECCIÓN VISUAL END.....	76
4.2.	INFORME DE RESULTADOS ENSAYO NO DESTRUCTIVO LÍQUIDOS PENETRANTES.....	77
4.3.	INFORME RESULTADOS END PARTÍCULAS MAGNÉTICAS SECAS	82
4.4.	COMPARATIVO END LÍQUIDOS PENETRANTES VS PARTÍCULAS MAGNÉTICAS.....	86
4.5.	INFORME RESULTADOS END ANÁLISIS DE VIBRACIONES MECÁNICAS.....	87

4.5.1.	HISTOGRAMA DE ACUERDO AL RANGO DE MEDICIONES TOMADAS EN CADA PUNTO 1800 RPM	90
4.5.2.	GRÁFICAS DE PROBABILIDAD AVM 1800 RPM	93
4.5.3.	HISTOGRAMA DE ACUERDO AL RANGO DE MEDICIONES TOMADAS EN CADA PUNTO 3600 RPM	99
4.5.4.	GRÁFICAS DE PROBABILIDAD AVM 3600 RPM	102
5.	<u>CONCLUSIONES</u>	<u>107</u>
6.	<u>RECOMENDACIONES</u>	<u>108</u>
7.	<u>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u>	<u>110</u>
8.	<u>BIBLIOGRAFÍA</u>	<u>110</u>
9.	<u>ANEXOS.....</u>	<u>112</u>

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Muestra de Orígenes de END aplicado al Santo Sudario	25
Figura 2. Control de calidad, inspecciones con ensayos no destructivos (END).....	27
Figura 3. Planteamiento Inicial de los Ensayos No Destructivos en la Industria	27
Figura 4. Ejemplos de porosidades en soldaduras, vistas en superficie y en sección.	30
Figura 5. Ejemplo de porosidades vistas en radiografías.	30
Figura 6. Ensayo de líquidos penetrantes	31
Figura 7. Ensayo de Pruebas Magnéticas.....	32
Figura 8. Principio funcionamiento partículas magnetizadas	33
Figura 9. (Bien, 2018)	34
Figura 10. (Bien, 2018)	35
Figura 11. Líquidos Penetrantes	36
Figura 12. Mesa de Vibraciones.....	39
Figura 13. Recuperado de Técnica de partículas magnéticas: caso del laboratorio del CAMAN.....	41
Figura 14. Campo Magnético	41
Figura 15. Examinación por LP Fluorescentes y coloreados.	46
Figura 16. Proceso inspección END LP	52
Figura 17. Estructura de chasis vehículo prototipo Shell Eco-Marathon	53
Figura 18. Puntos de uniones de soldadura prototipo chasis	53
Figura 19. Proceso limpieza inicial puntos de soldadura chasis	54
Figura 20. Procedimiento segunda limpieza uniones soldadas.	55
Figura 21. Magnetización estructura chasis por medio de uso de Yugo Magnético.....	65
Figura 22. Aplicación de Partículas Magnéticas en unión de soldadura estructura chasis END.....	66
Figura 23. Inspección uniones soldadas luego de finalizar END Partículas Magnéticas..	67
Figura 24. Procedimiento realización END Análisis de Vibraciones.	71
Figura 25. Puntos seleccionados para END Análisis de Vibraciones	72
Figura 26. Botón encendido vibrómetro AR63B	72
Figura 27. Unidades de medida vibrómetro AR63B	73
Figura 28. Botón modo de medición.....	73
Figura 29. Botón selección de modo de frecuencia.....	73
Figura 30. Motor KUNRAY	74
Figura 31. Rangos de vibración ISO 2372.....	75
Figura 32. Criterios de aceptación para END Inspección Visual.....	76
Figura 33. Datos estadísticos con respecto a la medición de vibraciones a 1800 RPM...	89
Figura 34. Histograma frecuencia 1800 RPM punto 1A.....	90
Figura 35. Histograma frecuencia 1800 RPM punto 1B.....	91
Figura 36. Histograma frecuencia 1800 RPM punto 2A.....	91
Figura 37. Histograma frecuencia 1800 RPM punto 2B.....	92
Figura 38. Histograma frecuencia 1800 RPM punto 3A.....	92
Figura 39. Histograma frecuencia 1800 RPM punto 3B.....	93
Figura 40. Gráfica de probabilidad punto 1A 1800 RPM	94
Figura 41. Gráfica de probabilidad punto 1B 1800 RPM	94

Figura 42. Gráfica de probabilidad punto 2A 1800 RPM	95
Figura 43. Gráfica de probabilidad punto 2B 1800 RPM	96
Figura 44. Gráfica de probabilidad punto 1A 1800 RPM	96
Figura 45. Gráfica de probabilidad punto 3B 1800 RPM	97
Figura 46. Datos estadísticos con respecto a la medición de vibraciones a 1800 RPM...	98
Figura 47. Histograma frecuencia 3600 RPM punto 1A.....	99
Figura 48. Histograma frecuencia 3600 RPM punto 1B.....	99
Figura 49. Histograma frecuencia 3600 RPM punto 2A.....	100
Figura 50. Histograma frecuencia 3600 RPM punto 2B.....	100
Figura 51. Histograma frecuencia 3600 RPM punto 3A.....	101
Figura 52. Histograma frecuencia 3600 RPM punto 3B.....	101
Figura 53. Gráfica de probabilidad punto 1A 3600 RPM	102
Figura 54. Gráfica de probabilidad punto 1B 3600 RPM	103
Figura 55. Gráfica de probabilidad punto 2A 3600 RPM	103
Figura 56. Gráfica de probabilidad punto 2B 3600 RPM	104
Figura 57. Gráfica de probabilidad punto 3A 3600 RPM	105
Figura 58. Gráfica de probabilidad punto 3B 3600 RPM	105

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Ramas para la aplicación de END	26
Tabla 2. Codigo Asme. Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos.	36
Tabla 3. Normativa para Ensayos No Destructivos.....	44
Tabla 4. Recomendaciones de Seguridad para realizar END.	44
Tabla 5. Clasificación de tipos y métodos de examinación penetrante.	45
Tabla 6. Clasificación de los Líquidos penetrantes según su sensibilidad	46
Tabla 7. Clasificación de reveladores LP	47
Tabla 8. Clasificación de tipos de removedor	47
Tabla 9. IMPERFECCIONES EN SOLDADURA TIPOS DE DISCONTINUIDADES	48
Tabla 10. LP END Método C removible con solvente	51
Tabla 11. Comparativa ventajas y limitaciones LP.....	52
Tabla 12. Implementos Limpieza END LP	55
Tabla 13. Características de un LP.....	56
Tabla 14. Tiempo penetración LP según material.....	56
Tabla 15. Selección Método Revelado Líquidos Penetrantes	59
Tabla 16. Especificaciones Yugo Magnético Ensayo de Partículas Magnéticas	61
Tabla 17. Materiales utilizados para Ensayo de Partículas Magnéticas.	62
Tabla 18. Normas de seguridad previas a Ensayo de Partículas Magnéticas.	67
Tabla 19. Opciones selección Vibrómetro	68
Tabla 20. Especificaciones Vibrometro Ensayos Análisis de Vibraciones.	70
Tabla 21. Especificaciones del motor utilizado para medición de Análisis de Vibraciones.	74
Tabla 22. Costos materiales END Líquidos Penetrantes.	81
Tabla 23. Costos Materiales END Partículas Magnéticas.....	85
Tabla 24. Comparativo semejanzas y diferencias END Líquidos Penetrantes VS Partículas Magnéticas.	86
Tabla 25. Resultados Ensayo Análisis de Vibraciones.	87
Tabla 26. Valores END AVM RMS 1800 RPM.....	89
Tabla 27. Valores END AVM RMS 3600 RPM.....	97

ABREVIATURAS

AWS	Sociedad Americana de soldadura (American Welding society)
ASTM	Sociedad Americana para ensayos y materiales (American society for testing and materials)
END	Ensayo no Destructivo
LP	Líquidos Penetrantes
PM	Partículas Magnéticas
AVM	Análisis de Vibraciones Mecánicas

RESUMEN EJECUTIVO

Con el presente trabajo de grado se logró realizar un análisis a las discontinuidades del chasis evaluado mediante los END de Líquidos penetrantes, Partículas Magnéticas y Análisis de vibraciones mecánicas, investigación que permitió dar a conocer el procedimiento a tener en cuenta como mantenimiento predictivo para el chasis del prototipo para la competencia Shell Eco-Marathon y determinar los tipos de fallas que podían encontrarse en el mismo.

La metodología de investigación que se llevó a cabo fue experimental con enfoque cualitativo y cuantitativo. La hipótesis que se evaluó fue la utilización del chasis como estructura en el vehículo prototipo que se construyó para garantizar la fiabilidad y seguridad de la persona que pueda conducirlo así mismo del público en general. Para esto se sometió a prueba la hipótesis mediante el empleo de los END experimentales. Esto comprendió la identificación de cualquier falla estructural que se encontrara presente y su clasificación.

El desarrollo de la presente investigación inició con la selección de la normativa a tener en cuenta para el desarrollo de los END (ASTM E195-05). Después fueron seleccionados los puntos de soldadura a evaluar y fueron sometidos a los ensayos mencionados para conocer los tipos de fallas que se encontraban en cada una de ellas: porosidad, socavación, grietas, fisuras, mordedura, falta de penetración. Por último, se realizó el análisis de los resultados de cada ensayo según los criterios del código de Soldadura AWS D1.1, teniendo un criterio de aceptación como referencia para validar el estado de las uniones soldadas.

PALABRAS CLAVE. Chasis, Ensayo no Destructivo, Falla Mecánica, Líquidos Penetrantes, Vibraciones.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad podemos evidenciar como cada día se ha incrementado la obligación de reducir cualquier riesgo que pueda generar daños de diferentes tipos afectando de cualquier manera la integridad física, y es que, aunque en el comienzo este tema no parecía tener mucha relevancia, las personas han logrado concientizarse de ello. Los ensayos no destructivos contribuyen una ayuda a vivir en un mundo más seguro y son de vital importancia en industrias como: la aeronáutica, la generación de potencia térmica o nuclear, la ferroviaria, el transporte de gas o de fluidos potencialmente peligrosos, en la construcción, etc.

En la fabricación estructural y ensamblaje del chasis muchas veces se pueden evidenciar diversos defectos en la soldadura resultado de un mal procedimiento, que en ocasiones pasan desapercibidos, algo preocupante debido a que la estructura brinda estabilidad y fortaleza al vehículo en diferentes condiciones, estos defectos luego de un tiempo podrían generar consecuencias graves ocasionando cualquier tipo de falla de consideración o fatal. Por esta razón la presente investigación se enfoca en el desarrollo de ensayos no destructivos al chasis de un prototipo de vehículo para competencia deportiva mediante pruebas de Líquidos Penetrantes, Partículas Magnéticas y Vibraciones Mecánicas, para la detección de discontinuidades y su posterior evaluación.

Los END se realizan al chasis con la finalidad de determinar si es apto o no para ser utilizado en la construcción del vehículo, buscando por medio del análisis a los puntos críticos de la estructura hallar cualquier tipo de defecto o falla que pueda repercutir en algún daño que sea perjudicial para cualquier persona que se encuentre expuesta a él y que pueda comprometer su integridad física, buscando asegurar así la confiabilidad a la hora de ser usado y garantizando que en él no se encuentre ningún defecto de fábrica.

1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Con el paso del tiempo, se ha visto cada día de manera creciente la necesidad de los individuos para transportarse a los diferentes lugares en donde tienen destinado realizar sus actividades, ya sean: laborales, de estudio, ocio o diligénciales, de una manera segura. Sin embargo, para cumplir con el propósito de llegar a alguno de estos destinos, cada individuo que se moviliza a través de un vehículo, puede correr el riesgo de sufrir lesiones sí no lo hace en uno que sea lo suficientemente confiable.

Se hace necesario comenzar a implementar el concepto de movilidad segura y sostenible, para tomar en cuenta aspectos tan importantes como el cuidado al medio ambiente, la eficiencia energética, fiabilidad, pero también la constante necesidad del mejoramiento y preservación en el nivel de calidad de vida. No obstante, y para el desarrollo de este proyecto, se tienen en cuenta los siguientes factores que afectan de manera directa la movilidad actualmente: Defectos de fabricación en el vehículo y seguridad de los ocupantes que se movilizan en él.

En muchas compañías se detecta la rapidez con la que las marcas multinacionales quieren sacar al mercado sus nuevos modelos, dado que las grandes compañías reconocidas en los últimos años fabrican con el afán de competencia entre los diferentes mercados, esto da como resultado principalmente los defectos de fábrica; en el chasis es preocupante porque estas representan pérdidas de credibilidad y económicas, no sólo para el comprador si no para las multinacionales.

Son millones los usuarios alrededor del mundo que día a día confían en marcas reconocidas, pero los fabricantes de coches no son la excepción en cuanto a errores, el pasado año unos 180 modelos de automóviles pasaron por unos concesionarios para ser revisados por defectos en su construcción. Esos errores de fábrica eran irritantes para los consumidores y vergonzosos, además de costoso para las marcas, que produjeron 142 alertas, según recoge los datos el Instituto Nacional de Consumo, casi el 45% eran daños

en direccionales y frenos también un 5 % eran defectos en las juntas del chasis ya que al realizar las pruebas de ensayos no destructivos para los vehículos no fueron meticulosos, se creaban fisuras o porosidades en las adjuntas.

Se asegura que uno de los motivos y el más frecuente son los defectos en el diseño de piezas o elementos de los vehículos a causa de la exagerada rapidez con la que algunas marcas buscan sacar al mercado los modelos nuevos para poder ser comercializados, algo que afecta no solo a las marcas, sino también a los proveedores de componentes, quienes deben cumplir con las especificaciones del diseño, requeridas por estas multinacionales y reconocidas marcas en tiempo récord.

El chasis es, estructuralmente, el elemento más importante en cualquier vehículo, ya que sobre él se asientan el resto de piezas, incluidas las ruedas, el motor o la carrocería. Resumiéndolo, es la base y los cimientos de cualquier automóvil, y un fallo en el chasis podría extenderse a prácticamente cualquier pieza conectada a él. Por ello, siempre es importante saber reconocer cuándo un vehículo tiene problemas en el chasis y estar preparados para poder solucionarlos.

¿Por medio de qué manera pueden detectarse las fallas estructurales que pueden estar presentes luego de la fabricación del chasis y poder garantizar el bienestar a sus ocupantes?

1.2. JUSTIFICACIÓN

El parámetro de mayor influencia para llevar a cabo el proyecto es el impacto social, el cual está relacionado directamente con la forma en que se va a garantizar la seguridad que ofrecerá el vehículo, es por ello que se hace imprescindible que todo vehículo cumpla con los estándares de seguridad obligatorios para ser usado.

Con el desarrollo del proyecto, mediante las pruebas de ensayos no destructivos se busca avalar y verificar el estado del vehículo, centrándose de manera específica en realizar el análisis a las condiciones del chasis. Al llevarse a cabo los ensayos no destructivos en el chasis que será usado, se detectará cualquier discontinuidad superficial e interna que se encuentre presente, pero sin dañar ninguna propiedad mecánica, física o química de la pieza para verificar.

1.3. OBJETIVOS

Analizar los tipos de fallas superficiales y sub-superficiales en el chasis de un vehículo para competencia deportiva por medio de la realización de pruebas de ensayos no destructivos tales como líquidos penetrantes, vibraciones, partículas magnéticas, para determinar la fiabilidad estructural del chasis.

1.3.1. **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Seleccionar la normativa a utilizar para la aplicación correcta y óptima de ensayos no destructivos en la estructura tubular del chasis de un vehículo para competencias deportivas.
- Desarrollar un procedimiento que incluya la evaluación de parámetros y permita la inspección del chasis de un vehículo para competencia deportiva para la verificación de homogeneidad y continuidad por medio de los ensayos no destructivos mediante la aplicación de líquidos penetrantes, análisis de vibraciones y partículas magnéticas.

- Determinar cualquier falla superficial o sub-superficial que se encuentre presente en el chasis del vehículo para generar un diagnóstico que conlleve el aseguramiento de la calidad funcional del chasis.
- Producir un documento comparativo sobre los diferentes ensayos no destructivos aplicados, que sirva como material base para mejoras en el chasis del vehículo.

1.4. ESTADO DEL ARTE / ANTECEDENTES

1.4.1. ***Título: Análisis de la falla estructural del chasis de un monoplaza tipo Kart mediante ensayos no destructivos.***

Autores: Garcés Espinoza, Cristian Omar ,Cevallos Miño, Juan Francisco

Año de publicación: 2018

Medio de publicación: Repositorio

Resumen

Las normas de diseño de bastidores tipo go-kart establecidas por la FIA y CIK denotan las medidas y un rango de tolerancias de la estructura del monoplaza, sin embargo, no existe la reglamentación técnica en cuanto al material utilizado. Este trabajo cuenta con cinco capítulos de manera organizada que presenta el origen de un monoplaza de fabricación nacional en las competencias del país, el diseño, homologaciones, la construcción con acero ASTM-A36, que se comercializa en nuestro medio, la simulación con el Software CAE para determinar cuál es el punto más susceptible a deformación, los ensayos no destructivos (END) que solidificarán y garantizarán el proceso de construcción, donde se establecen cuatro tipos: Inspección Visual (VT), para el análisis de juntas y estado de la soldadura en puntos críticos, medición de espesores por ultrasonido industrial (UT), verificará el espesor del material seleccionado para la construcción, tintas penetrantes (PT), consolidará el estado de los cordones de soldadura, análisis por vibraciones, proporciona datos de vibración mecánica de máquinas con velocidades de operación. Para validar la funcionalidad del material de fabricación nacional en un vehículo diseñado con normativa internacional y su desempeño en pista.

Conclusiones

Para establecer una evaluación acerca del análisis de vibraciones según la norma ISO-2372 se divide la máquina de acuerdo a su tamaño (potencia) con el tipo de máquina y su ensamblaje en la estructura. Un ensayo muy adecuado puesto que refleja los valores de vibraciones dentro de la estructura, la rigidez basada en su movimiento rotativo que se mide a ralentí, en nuestro caso a 1300rpm y 1500rpm. En el cual el punto uno da como resultado 15.75 RMS y el punto dos 33.68, que se encuentran dentro de los rangos de vibración severa pero no cumple el rango de satisfacción ya que se encuentra dentro de la sección D.

1.4.2. *Título: Identificación de defectos en soldaduras de acero estructural ASTM A36 mediante ensayos no destructivos según el código AWS D1.1*

Autores: Mauricio Cely, Verónica Sotomayor, Willan Monar, Patricio Castro

Año de publicación: 2017

Medio de publicación: Revista universitaria

Resumen

El trabajo aquí presentado establece los criterios de inspección de soldaduras en acero estructural ASTM A36 para la identificación de defectos mediante Ensayos No Destructivos (ENDs), principalmente los métodos de ultrasonido y radiografía industrial de acuerdo con el código AWS D1.1, para esto se establece una comparación entre estos métodos no destructivos aplicados en soldaduras a tope con bisel en V y proceso SMAW. Esto se logra a partir de imágenes radiográficas y curvas ultrasónicas tipo pulso-eco generadas de muestras soldadas estándar de acuerdo con el código de soldadura estructural AWS D1.1, donde cada una de estas muestras contiene un defecto característico para ser inspeccionado e identificado. También, se analizan los resultados obtenidos con cada técnica no destructiva empleada, permitiendo obtener un medio de comparación para correlacionar la forma de señal ultrasónica con las indicaciones presentes en la imagen

radiográfica. Finalmente, se determinan las ventajas y limitaciones de cada ensayo aplicado en las muestras de acero analizadas para finalmente contrastar los resultados obtenidos y compararlos con la norma aplicada al trabajo desarrollado.

Conclusión

El ensayo radiográfico ayuda a identificar la forma geométrica y dimensiones de una discontinuidad específica y con ello su posterior evaluación, algo muy parecido sucede con la prueba ultrasónica, las discontinuidades según la AWS D1.1 son categorizadas alfabéticamente en cuatro grupos según la intensidad de pérdida de decibeles del haz reflejado. Las discontinuidades pertenecientes al grupo A son de relevancia baja, es decir son indicaciones pequeñas, las de los grupos B y C son de relevancia media y las del grupo D son de alta relevancia o indicaciones muy grandes que por lo general son rechazadas.

Esta categorización ayuda a generar una rápida evaluación, algo que tarda más con la radiografía industrial. Del análisis realizado a las películas radiográficas de las probetas, se pudo observar y determinar que la mayoría de las discontinuidades presentan una coloración negra, por lo que se debe tener muy en cuenta su forma geométrica y ubicación en las juntas soldadas, para así llegar a asegurar que se trata de un determinado tipo de discontinuidad. Una característica importante que presenta el ultrasonido como técnica de evaluación del acero estructural en comparación con la radiografía, está al momento de localizar con exactitud la posición de una determinada discontinuidad, algo que no es evidente con el ensayo radiográfico, ya que en este solo se puede identificar el tipo de defecto.

Los resultados observados en el ensayo con radiografía industrial a través de la visualización en las películas radiográficas, especifica dos tipos de discontinuidades; una volumétrica y la otra lineal o planar que se pueden diferenciar a través de áreas de oscurecimiento en la placa radiográfica. A base de lo analizado y observado la radiografía es particularmente adecuada para la detección e identificación de defectos volumétricos tales como, inclusiones sólidas, penetración incompleta y porosidades, además, la

detección de fallas por ultrasonido es adecuada para la detección y dimensionamiento de defectos planares tales como grietas y falta de fusión.

1.4.3. Título: Análisis morfológico en uniones soldadas mediante el uso de ensayos no destructivos específicos para la identificación de socavado interno y falta de penetración en juntas de tuberías de acero ASTM A36

Autores: Hurtado Avella, Sergio Andrés, Rodríguez, Camilo Andrés

Año de publicación: 2014

Medio de publicación: Revista universitaria

Conclusiones:

1. Los ensayos no destructivos, son técnicas utilizadas en el control calidad de diferentes equipos y elementos. Diferentes planes de integridad consisten en determinar, desgaste de material y aptitud para el servicio por medio de ensayos como ultrasonido, radiografía, tintas penetrantes, etc. Pues dichas técnicas dan gran porcentaje de fiabilidad.

2. Existen diferente tipo de discontinuidades en uniones soldadas. Unas más perjudiciales que otras, características como la longitud, ancho y profundidad se pueden determinar mediante diferentes ensayos no destructivos y mirar la criticidad de las continuidades.

3. Un proceso de soldadura lleva variables esenciales las cuales deben ser ajustadas de acuerdo a ingeniería y recomendaciones de fabricantes de consumibles, con ellos se logra el menor número de discontinuidades en el proceso de soldeo.

4. Existen ensayos no destructivos superficiales y volumétricos, lo ideal para garantizar la integridad de unión soldada mediante dichos ensayos es combinarlos, por ejemplo, se puede utilizar tintas penetrantes para determinar la condición superficial de la unión y complementar con ultrasonido para inspeccionar el volumen. 5. Día a día en la industria metalmecánica y petroquímica, códigos de fabricación y evaluación como AWS D1.1,

ASME IX, API 1104, incorporan en su conjunto de leyes los ensayos no destructivos como requisito para el control calidad de la fabricación.

1.4.4. **Título: Aplicación y selección de ensayos no destructivos para la evaluación de uniones soldadas**

Autores: Hurtado Avella, Sergio Andrés, Rodríguez, Camilo Andrés

Año de publicación: 2014

Medio de publicación: Revista universitaria

Resumen

La soldadura de materiales metálicos se presenta como uno de los procesos de conformación más importante en el amplio espectro que nos ofrecen los campos de la tecnología industrial. Cualquiera que sea el proceso de soldadura seguido se trata, en realidad, de un proceso metalúrgico y hay que considerar, por lo tanto, los diversos y específicos factores que intervienen en el mismo. El proceso de soldadura deberá ser el más idóneo para los fines perseguidos, que se traducen en una unión reuniendo las condiciones exigidas por los Códigos, las Normas y las especificaciones correspondientes. La aplicación de los ensayos no destructivos (END), para evaluar el estado final de una unión soldada, tienen una finalidad fundamental: asegurar que se cumplen rigurosamente los criterios de aceptación estipulados. Dado que son varios los tipos de END, se pretende dar aquí, algunos apartes para la selección dependiendo de la destinación final del producto.

Conclusiones

- Dentro de las razones más relevantes para hacer uso de los ensayos no destructivos se tienen: Garantizar confianza en las piezas y elementos. El simple hecho de que un comprador adquiera un producto el cual pasa por una prueba no destructiva lo tranquilizara en cuanto al uso futuro del mismo.

- Prevenir accidentes y evitar riesgos de vidas humanas. Es considerada como la principal razón para el uso de los END y muy probablemente, fue con esta finalidad que estos fueron desarrollados. En una época en se vive un creciente progreso industrial, la energía nuclear toma cada vez más rigurosas medidas preventivas de seguridad, pues la utilización en equipos de alta presión, de productos inflamables y corrosivos, acarrea un riesgo muy grande en la vida de trabajadores que operen estos equipos, así como a toda la humanidad, es por esto que estas técnicas se han desarrollado en un principio en el sector nuclear y luego se han transferido al sector industrial. Mejorar el desempeño de las Empresas. Los END mejoran este desempeño por las siguientes razones:

- Auxiliando el buen desarrollo de un proyecto. Ejemplo: Un nuevo proceso de soldadura desarrollado, por medio de los END se podrá, a partir de cuerpos de prueba verificar la viabilidad de la aplicación práctica del mismo.
- Reduciendo los costos de fabricación. Ejemplo: Se considera una pieza determinada que será sometida a un proceso de utilización de los END, en la pieza en bruto se puede detectar la existencia de algún defecto interno de la misma. Sin la utilización de alguna técnica de ensayos este mismo defecto podría aparecer durante el proceso de utilización, redundando entonces, en grandes gastos adicionales que podrían haber sido evitados.

Controlando el proceso de fabricación. El control es un concepto básico en la industria. Metalúrgicos, inspectores, operadores y personal de producción saben mucho de las dificultades que se encuentran para mantener un proceso controlado. Cuando cualquier etapa de fabricación queda fuera de control fatalmente, la calidad será afectada por la introducción de defectos. Los END contribuyen mucho a mantener un proceso bajo control pues este podrá ser aplicado a varias etapas del mismo, permitiendo que este permanezca bajo control a través de las correcciones oportunas

2. MARCOS REFERENCIALES

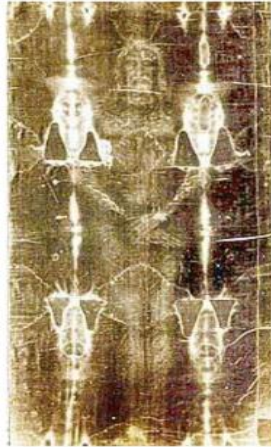
2.1. ORÍGENES DE LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS.

Los ensayos no destructivos se han practicado por muchas décadas. Se tiene registro desde 1868 cuando se comenzó a trabajar con campos magnéticos. Uno de los métodos más utilizados fue la detección de grietas superficiales en ruedas y ejes de ferrocarril. Las piezas eran sumergidas en aceite, y después se limpiaban y se esparcían con un polvo. Cuando una grieta estaba presente, el aceite que se había filtrado en la discontinuidad, mojaba el polvo que se había esparcido, indicando que el componente estaba dañado. Esto condujo a formular nuevos aceites que serían utilizados específicamente para realizar éstas y otras inspecciones, y esta técnica de inspección ahora se llama prueba por líquidos penetrantes (PT).

Sin embargo, con el desarrollo de los procesos de producción, la detección de discontinuidades ya no era suficiente. Era necesario también contar con información cuantitativa sobre el tamaño de la discontinuidad, para utilizarla como fuente de información, con el fin de realizar cálculos matemáticos y poder predecir así la vida mecánica de un componente. Estas necesidades, condujeron a la aparición de la Evaluación No Destructiva (NDE) como nueva disciplina. A raíz de esta revolución tecnológica se suscitarían en el campo de las PND una serie de acontecimientos que establecerían su condición actual.

En el año de 1941 se funda la Sociedad Americana para Ensayos No Destructivos (ASNT por sus siglas en inglés), la cual es la sociedad técnica más grande en el mundo de pruebas no destructivas. Esta sociedad es promotora del intercambio de información técnica sobre las PND, así como de materiales educativos y programas. Es también creadora de estándares y servicios para la Calificación y Certificación de personal que realiza ensayos no destructivos, bajo el esquema americano.

Figura 1. Muestra de Orígenes de END aplicado al Santo Sudario



Fuente: (Verdú, 2014)

2.1.1. ACONTECIMIENTOS IMPORTANTES EN LA HISTORIA DE LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

- 1868: Primer intento de trabajar con los campos magnéticos
- 1879: David Hughes establece un campo de prueba
- 1879: David Hughes estudia las Corrientes Eddy
- 1895: Wilhelm Röntgen estudia el tubo de rayos catódicos
- 1895: Wilhelm Röntgen descubre los Rayos X
- 1896: Henri Becquerel descubre los Rayos gamma
- 1900: Inicio de los líquidos penetrantes en FFCC
- 1911: ASTM establece el comité de la técnica de MT
- 1928: Uso industrial de los campos magnéticos
- 1930: Theodore Zuschlag patenta las Corrientes Eddy
- 1931: Primer sistema industrial de Corrientes Eddy instalado
- 1941: Aparecen los líquidos fluorescentes
- 1945: Dr. Floy Firestone trabaja con Ultrasonido
- 1947: Dr. Elmer Sperry aplica el UT en la industria

2.1.2. RAMAS DE ESTUDIO EN LAS QUE SE APLICA EL USO DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

Las ramas de estudio aplicables en las que se pueden realizar los END en el día a día, se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. Ramas para la aplicación de END

RAMA	USOS
Industria Automotriz	Partes de Motores, Chasis
Aviación e Industria Aeroespacial	Motores a reacción y cohetes espaciales
Construcción	Estructuras, puentes y ensayos en pilotes
Manufactura	Partes de máquinas
Ingeniería Nuclear	Pressure Vessel
Petroquímica	Transporte por tuberías y tanques de almacenamiento
Misceláneos	Atracciones de parques de diversiones y obras de arte

Fuente: Autores.

2.1.3. FUNCIÓN DE LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

Los END contribuyen a mantener un nivel de calidad uniforme y funcional de los sistemas y elementos, permiten la inspección del 100% de la producción, si ello es requerido. Bajo el aspecto de sus aplicaciones los Métodos de Ensayos No Destructivos cubren tres amplias áreas:

1. Defectología.

Detección de heterogeneidades, discontinuidades e impurezas, evaluación de la corrosión y deterioro por agentes ambientales, determinación de tensiones, detección de fugas.

2. Caracterización de los Materiales.

Propiedades Mecánicas, físicas, químicas y estructurales.

3. Metrología.

Control de Espesores.

Figura 2. Control de calidad, inspecciones con ensayos no destructivos (END)



Fuente: (FERREPRO, 2016)

En la figura 3, podemos evidenciar el planteamiento de cómo influyen los END para garantizar el control de calidad en la industria.

Figura 3. Planteamiento Inicial de los Ensayos No Destructivos en la Industria



Fuente: (Verdú, 2014)

2.1.4. **CLASIFICACIÓN DE LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS**

Los Ensayos No Destructivos según la sección XI del código de ASME se dividen en:

- **Exámenes Superficiales:** (Examen por Líquidos Penetrantes, Examen por Partículas Magnéticas)
- **Exámenes Volumétricos:** (Examen por Ultrasonido, Examen Radiográfico, Corrientes Parásitas)
- **Exámenes Visuales:** (EV-1, EV-2, EV-3)

2.1.4.1 CLASIFICACIÓN DE LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS SEGÚN FUNDAMENTOS

- Ondas Electromagnéticas
- Ondas Elásticas o Acústicas
- Emisión de Partículas Subatómicas
- Otros: Capilaridad, absorción, estanqueidad

2.1.5. CARACTERÍSTICAS FUNDAMENTALES DE UN ENSAYO NO DESTRUCTIVO

A diferencia de cualquier tipo de ensayo, los Ensayos No Destructivos, deben adaptarse a las exigencias de la muestra con el fin de evitar su deterioro. Para conseguirlo hay que recurrir a aquellas características del material que sean significativas tecnológicamente y éstas pueden ser:

- Densidad
- Conductividad Térmica
- Absorbencia Electromagnética
- Índice de Refracción
- Estructura Cristalina

2.1.6. INSPECCIÓN MEDIANTE END

La inspección mediante END es una etapa fundamental en cualquier END que se realice y por eso es de gran importancia seguir cada una de sus etapas.

Etapas:

- Elección del método y la técnica apropiadas
- Obtención de los resultados de medida
- Evaluación de los resultados
- Aplicación de los criterios de aceptación o rechazo

2.1.7. ELECCIÓN DEL MÉTODO Y LA TÉCNICA APROPIADA

La elección del material y la técnica apropiada dependerá de características fundamentales que influirán al momento de tomar la decisión.

Características de las muestras:

- Naturaleza del material
- Estado estructural
- Tamaño
- Forma
- Conocimiento Previo: Heterogeneidades
 - Características a determinar
 - Dimensión a medir

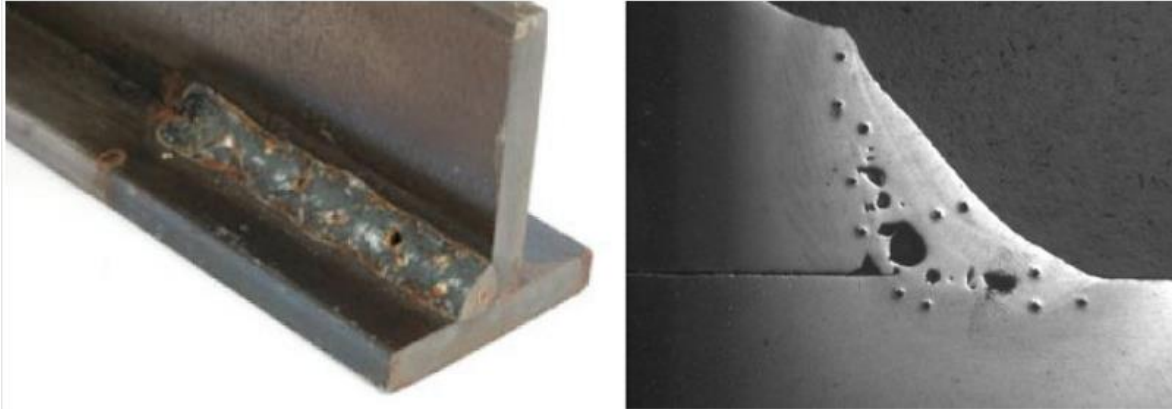
2.1.8. DEFECTOS MÁS COMUNES ENCONTRADOS EN LOS END

Son diversas las discontinuidades que se pueden encontrar en la estructura que se evalúa por medio del END

- Defecto más probable:
- Grietas en inclusiones o insertos
 - Rechupes
 - Cavidades
 - Porosidades
 - Defectos en Soldaduras
 - Pliegues
 - Defectos de Pegado

Las porosidades en las soldaduras, son encontradas comúnmente como defectos de soldadura, y se pueden observar en la figura 4.

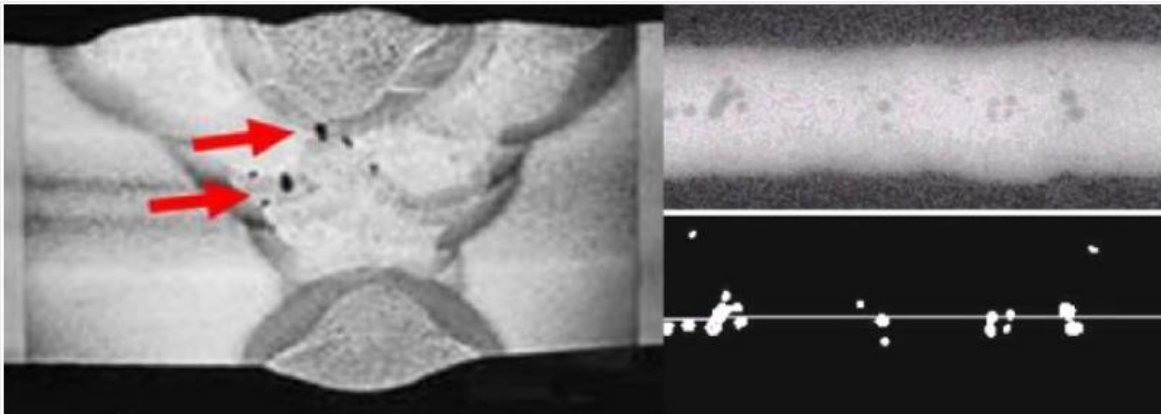
Figura 4. Ejemplos de porosidades en soldaduras, vistas en superficie y en sección.



Fuente: (Ycaza, 2013)

Tipos de porosidades que se pueden reflejar luego del END de radiografía, en la figura 5.

Figura 5. Ejemplo de porosidades vistas en radiografías.



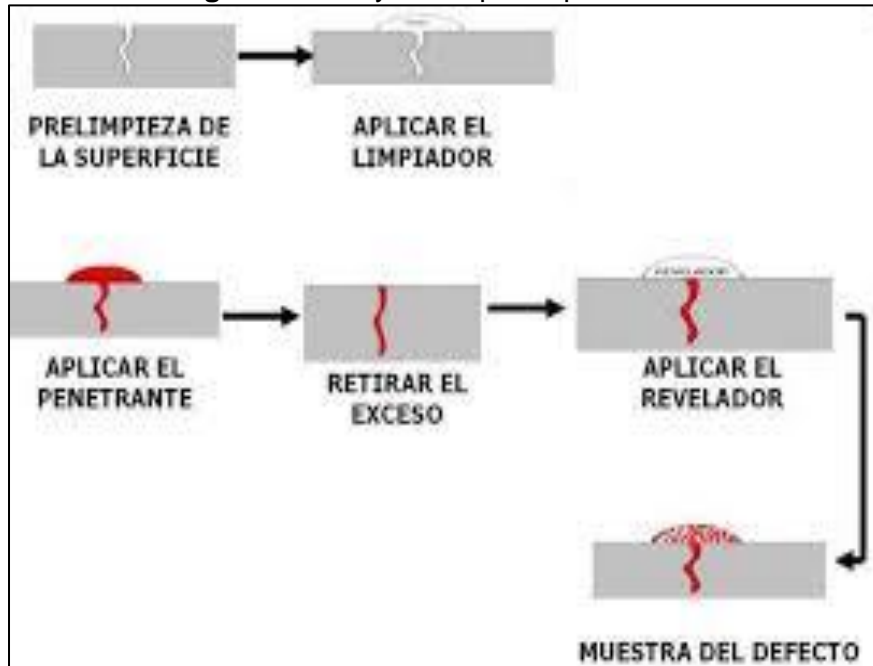
Fuente: (Ycaza, 2013)

2.2. ENSAYO POR LÍQUIDOS PENETRANTES.

Se basa fundamentalmente en una técnica no destructiva, es la capacidad de que un líquido pueda penetrar por capilaridad y ser retenido en las discontinuidades como fisuras y poros abiertos a la superficie.

No existe una característica física que, por si sola, determine la bondad de un líquido penetrante.

Figura 6. Ensayo de líquidos penetrantes



Fuente (Garay, 2016)

2.2.1. TIPOS DE LIQUIDOS PENETRANTES.

- **SEGÚN COLOR.**

Penetrantes colorados: se inspecciona a simple vista. Solo hay que tener buena luz.

Tiene más sensibilidad.

Penetrantes Fluorescentes: se inspecciona con ayuda de una luz ultra violeta. Tiene mayor sensibilidad.

- **SEGÚN SOLUBILIDAD.**

Penetrantes lavables con agua o autoemulsificables: Para su limpieza y remoción de exceso simplemente se usa agua. Son muy económicos.

Penetrantes postemulsificables: No son solubles en agua. Para remover el exceso superficial se utiliza emulsificador que crea una capa superficial que se remueve con agua.

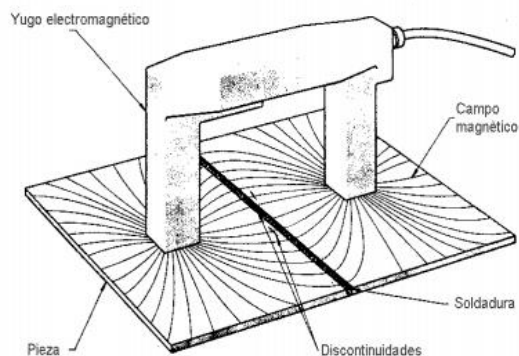
Penetrantes eliminables con disolvente: no son solubles en agua. Para su remoción se utiliza un disolvente no acuoso, llamado eliminador. Son muy prácticos ya que el solvente general se presenta en aerosol.

2.3. ENSAYO DE PARTICULAS MAGNETICAS.

La prueba de partículas magnéticas es un método de prueba no destructiva que sirve para la detección de imperfecciones debajo del metal ferroso que también se puede aplicar a soldadura, es una técnica eficaz y confiable para detección y localización de grietas superficiales.

Consta en hacer pasar un flujo magnético a través del material y en el lugar en donde se encuentre la imperfección formará un campo de polvo de hierro que se aplica sobre la superficie, así la longitud de la imperfección puede ser determinada de forma muy exitosa en el ensayo no destructivo de partículas magnéticas, inicialmente se somete a la pieza a inspeccionar a una magnetización adecuada y espolvorea partículas finas de material.

Figura 7. Ensayo de Pruebas Magnéticas

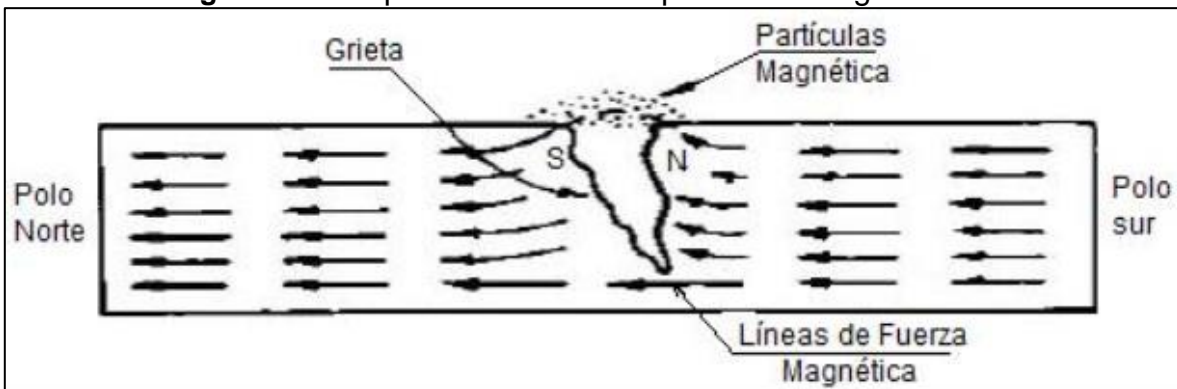


Fuente: (Cybertesis, s.f.)

2.3.1. MAGNETIZACIÓN DE LA SUPERFICIE

Con la aplicación de partículas ferromagnéticas, ocurrirá una aglomeración de estas en los campos de fuga, una vez que son atraídas debido al surgimiento de polos magnéticos, la aglomeración indicará un contorno del campo de fuga, de esta manera la visualización de la discontinuidad se aclara en formato y extensión.

Figura 8. Principio funcionamiento partículas magnetizadas



Fuente: (IPERCAL, s.f.)

2.4. ENSAYO DE VIBRACIONES.

Todos los materiales son sometidos a una vibración en algún momento desde su fabricación.

La realización de ensayo de vibraciones en un laboratorio nos proporciona información sobre como nuestro producto se comporta ante la vibración, permitiéndonos entonces adelantarnos a los posibles problemas derivados.

El propósito de los sistemas de ensayo y simulación de vibraciones es por tanto emular condiciones controladas de laboratorio solita citando vibratorias sobre elementos, tipificadas y normalizadas, para caracterizarlos en sus diferentes etapas.

Para caracterizar los diferentes ambientes de vibraciones se establecen los siguientes tipos de ensayos principales:

- Vibración sinodal a frecuencia fija, en barrido o en resonancia
- Vibración aleatoria (random)
- Ensayo de choque clásico (Semiseno, trapezoidal, diente de sierra) y SRS

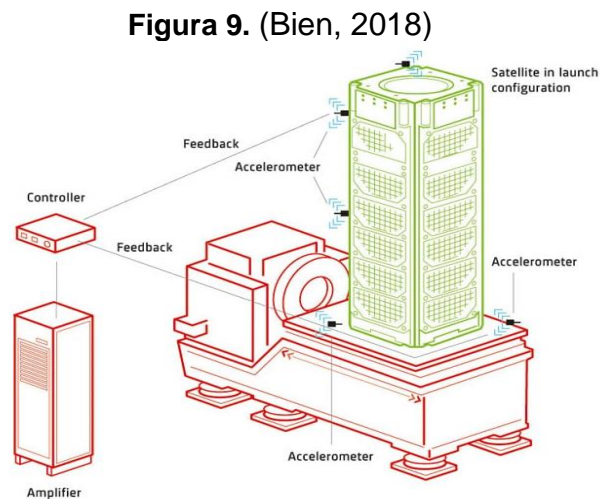
- Vibración combinada
- Vibración multiaxial simultanea
- Vibración multiaxial secuencial

2.4.1. **EQUIPO DE VIBRACIONES ELECTROHIDRAULICO.**

En la práctica, el objeto bajo prueba se coloca con la ayuda de soportes a una mesa vibratoria o excitador (shaker). Los Shakers normalmente utilizan una fuerza electrodinámica o hidráulica. Los Shakers electrodinámicos son ideales para altas frecuencias y cuando se requiere una mayor fidelidad de la prueba. Por otra parte; los Shakers hidráulicos son utilizados para pruebas de muy baja frecuencia debido a los grandes desplazamientos implicados en la prueba o cuando se requieren altas capacidades de carga. Sin embargo, estos Shakers no son lineales, lo que provoca distorsiones que disminuyen la fidelidad de la prueba.

Básicamente; un Shaker electrodinámico es como un altavoz, ambos usan una bobina que se mueve en un campo magnético fijo, pueden usarse imanes permanentes o electroimanes para generarlo.

Los Shakers hidráulicos usan un servo válvula para controlar la presión ejercida en la columna de aceite que impulsa al pistón para que éste produzca movimiento.

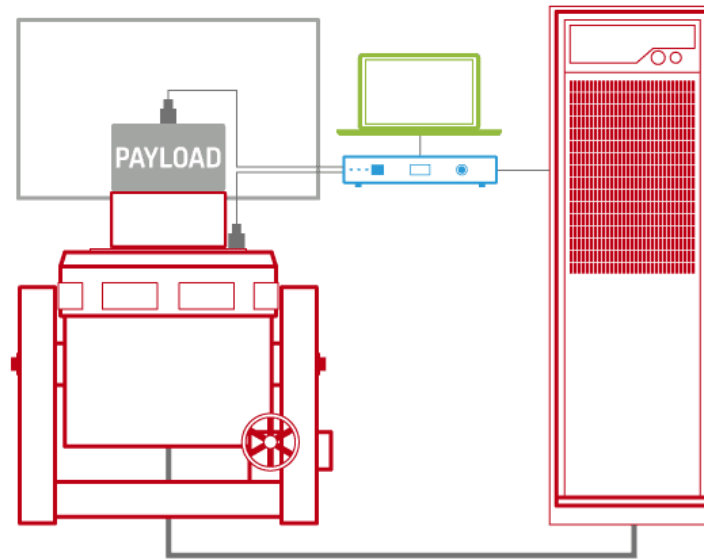


Fuente: catalogo Mide Bien.

2.4.2. **CONTROLADORES DE VIBRACIONES.**

Es necesario contar con un controlador o con un sistema de control de vibraciones para brindar señal al amplificador una señal que el amplificador usara para mover las mesas del shaker. También necesita un sensor para medir la vibración del objeto de prueba.

Figura 10. (Bien, 2018)



Fuente: Catalogo Mide Bien.

2.5. ENSAYO DE LIQUIDOS PENETRANTES.

- **Tensión superficial:** Característica que tiene los líquidos que define como la capacidad de formar unas películas elásticas en su superficie.
- **Capilaridad:** Propiedad de los líquidos que les permite subir o bajar por un tubo capilar de radio determinado.
- **Densidad:** Relación entre la masa y el volumen de un objeto. Tiene influencia si la superficie de la pieza u objeto a inspeccionar esta boca arriba boca abajo.

- **Pigmentación:** Los pigmentos son de color rojo, amarillo, naranja o verde, siendo algunos de estos colores sensibles a la luz ultravioleta.

2.5.1. **MATERIALES NECESARIO PARA LA INSPECCION DE LIQUIDOS.**

Tintas: pueden ser fluorescentes o visibles. Además, atendiendo a su solubilidad pueden ser lavables con agua, emulsionantes o disolventes.

Disolventes: Líquidos cuya función es eliminar el exceso de tinta lavable.

Revelador: elemento que reacciona con la tinta permitiendo su observación. Pueden ser en polvo o soluble en agua, en suspensión acuosa, no acuosa o de aplicación específica.

Figura 11. Líquidos Penetrantes



Fuente: (montañez, 2012)

2.5.2. **NORMAS DEL METODO DE LIQUIDOS PENETRANTES**

La normativa más común aplicada para realización del END LP, guía del procedimiento.

Tabla 2. Codigo Asme. Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos.

CODIGO ASME (1992) SECTION V	
ARTICLE 6	Líquidos Penetrantes Examinación.
ARTICLE 6	Apéndices obligatorios.
ARTICLE 24 SD-129	Método de prueba estándar para el azufre en productos derivados del petróleo (método de bomba general).

ARTICLE 24 SD-808	Método estándar de prueba de cloro en nuevos y usados Productos del petróleo (método bomba).
ARTICLE 24 SE-165	Práctica recomendada estándar para el método de inspección de líquidos penetrantes.
SE-270	Definiciones estándar de términos relacionados con penetrante líquido de inspección.

Fuente: (Holley, 1880)

2.5.3. OTROS PUNTOS QUE ESPECIFICA LA NORMA IRAM- CENA Y 500- 1 004 SON:

- Comportamiento del conjunto de productos:

Aquí se especifica la preparación de probetas de acero inoxidable cromadas, fisuradas por indentación, sobre las que se ensayan el conjunto de los productos. El umbral mínimo de detección será para L.P: fluorescentes del 90 % y para coloreados del 75 % del mapa de fisuras correspondientes al certificado de cada probeta.

- **Marcado, Rotulado y Embalaje**

Da las indicaciones de los rótulos escritos que deben poseer los recipientes.

- **Inspección y Recepción**

Da las especificaciones para que el comprador tenga acceso a la inspección de las instalaciones del fabricante; formación de Lotes, Inspección Visual sobre los lotes y Muestreo de los productos.

- Punto de inflamación:

- Esta Norma indica que la determinación se hará según la Norma IRAM- IAP A 65-39 y preferentemente será mayor a 50 ° C. Si fuese menor se deberá indicarlo en el recipiente.
- Las diferencias de valores entre diferentes partidas no deberán exceder el 10% del pto. De inflamación determinado.

- Halógeno:
 - Determinado según la Norma IRAM 6 568 será menor al 1 % en el residuo seco.
 - En el caso de aceros inoxidables auténticos y aleación con alto contenido de cromo y níquel el contenido de halógeno deberá ser menor a 0,5 % en el residuo seco.

2.6. ENSAYO DE VIBRACIONES.

Vibraciones sinuidales: El ensayo de vibración sinoidal aplica a la frecuencia única un elemento de prueba y excita selectivamente las estructuras resonantes dentro del dispositivo.

Vibraciones aleatorias: Se coloca una masa dentro de la estructura de tal forma que en conjunto tengas un peso similar al de la máquina de esta forma se observa de PSD de la señal adquirida del acelerómetro.

Vibraciones combinadas: Es por esto que conocemos al detalle los puntos donde se debe ser especialmente cuidadoso y protegemos los intereses de los tres miembros de esta sociedad (cámara climática, sistema de vibraciones y usuario).

2.6.1. MESA DE VIBRACIONES MULTI AXIAL (MAST)

Es un sistema de vibración multiaxial, diseñado para probar una amplia gama de productos que, en algún momento de su vida, se ven sometidos a vibración. La característica principal de nuestro sistema es la generación de vibraciones y el movimiento de hasta 6 grados de libertad, individualmente o de forma simultánea.

Para lograr este movimiento el sistema está equipado con una mesa en la que diferentes cilindros servo- hidráulicos actúan en tres ortogonales diferentes.

Figura 12. Mesa de Vibraciones



Fuente: (innova, 2019)

2.6.2. Vibraciones de cuerpo completo (Normas ISO 2631).

La exposición a vibraciones del cuerpo completo puede causar daños físicos permanentes e incluso lesiones en el sistema nervioso. También puede afectar a la presión sanguínea y al sistema urológico, los sistemas más comunes que aparecen tras un periodo corto de exposición son fatigo, insomnio, dolor de cabeza y temblores. Las normas ISO para vibraciones humanas toma como parámetro de medida la aceleración. La Norma ISO 2631 trata esencialmente de las vibraciones transmitidas al conjunto del cuerpo por la superficie de apoyo, que pueden ser los pies o la pelvis. Su campo de aplicación entra en las vibraciones transmitidas al cuerpo humano por superficies solidas en un rango de frecuencias entre 1 Hz a 80 Hz , para vibraciones periódicas , aleatorias, o no periódicas de espectro de frecuencia continuo dado que las vibraciones no son igualmente perjudiciales en cualquier dirección, la citada norma dice que las aceleraciones deben medirse en dirección al eje Z(vertical) y en la dirección del eje X e Y (horizontales) los límites de seguridad son diferentes dependiendo de las vibraciones sean horizontales o verticales.

2.6.3. Vibraciones Mano –Brazo (Norma ISO 5349)

La exposición a este tipo de vibraciones puede producir daños físicos permanentes que comúnmente conocemos como el síndrome de dedos blandos, también puede dañar articulaciones músculos y muñeca.

Para el sistema mano-brazo una vibración no depende de la dirección de la excitación por lo que solo hay grafica para el eje X, Y, Z la máxima sensibilidad está comprendida en 12 y 16 Hz

Siendo la Norma ISO 261, se empleará en cuestionario según el tipo de vibraciones.

2.7. ENSAYO DE PARTICULAS MAGNETICAS.

La prueba de partículas magnéticas es un método de prueba no destructiva que sirve para la detección de imperfecciones debajo del metal ferroso que también se puede aplicar a soldadura, es una técnica eficaz y confiable para detección y localización de grietas superficiales.

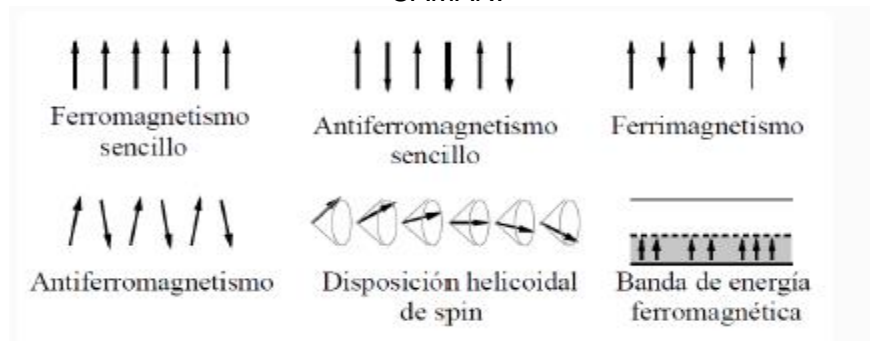
Consta en hacer pasar un flujo magnético a través del material y en el lugar en donde se encuentre la imperfección formará un campo de polvo de hierro que se aplica sobre la superficie, así la longitud de la imperfección puede ser determinada de forma muy exitosa en el ensayo no destructivo de partículas magnéticas, inicialmente se somete a la pieza a inspeccionar a una magnetización adecuada y espolvorea partículas finas de material.

2.7.1. LOS MATERIALES SE CLASIFICAN EN:

- Diamagnéticos: son levemente repelidos por un campo magnético, se magnetiza pobremente.
- Paramagnéticos: son levemente atraídos por un campo magnético, no se magnetizan.
- Ferromagnético: son levemente atraídos por un campo magnético, se magnetizan fácilmente.

Dirección de campo magnético, por medio del END de PM y sus diferentes casos de movimiento.

Figura 13. Recuperado de Técnica de partículas magnéticas: caso del laboratorio del CAMAN.

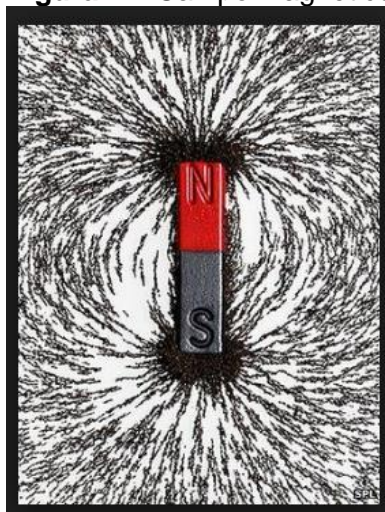


Fuente: (Urbina, 2016)

Tipos de discontinuidades: superficiales y Subsuperficiales (muy cercanas a la superficie)
Se utiliza esta práctica para la detección de discontinuidades superficiales y superficiales (hasta ¼" De profundidad, para materiales ferromagnéticos.

Se utiliza el campo magnético como principio de funcionamiento donde el físico Hans Orsted descubrió en 1820 que cuando una corriente eléctrica pasa atreves de un conductor Se forma un flujo magnético.

Figura 14. Campo Magnético



Fuente: (villarejo, 2019)

2.7.2. NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC-2034 (ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS. CALIFICACIÓN Y CERTIFICACIÓN DE PERSONAL)

(Esta norma es una adopción modificada (MOD) de la ISO 9712:2005.) “Esta norma específica la calificación y certificación del personal involucrado en ensayos no destructivos (END). Es aplicable a la competencia en uno o más de los siguientes métodos: – Ensayos de emisiones acústicas.

- Ensayos de corrientes de Eddy o Foucault.
- Ensayos termo gráficos infrarrojos.
- Ensayos de fugas (se excluyen los ensayos de presión hidráulica).
- Ensayos de partículas magnéticas.
- Ensayos de líquidos penetrantes.
- Ensayos radiográficos.
- Ensayos de deformación.
- Ensayos de ultrasonido.
- Ensayos visuales (se excluyen los ensayos visuales directos sin ayudas y los ensayos visuales realizados durante la aplicación de otro método de END).

La certificación con la presente norma brinda un testimonio de la competencia general del operador de END. No representa una autorización para operar, ya que esto es

responsabilidad del empleador, y el empleado certificado puede requerir conocimiento adicional especializado de parámetros tales como equipos, procedimientos de END, materiales y productos del empleador. En donde lo exigen códigos y requisitos reglamentarios, la autorización para operar la dará el empleador, por escrito, de acuerdo con un procedimiento de calidad que define cualquier entrenamiento y en exámenes específicos para un trabajo exigidos por un empleador, diseñado para verificar el conocimiento que el poseedor del certificado tiene sobre los códigos, normas, procedimientos de END, equipos y criterios de aceptación de la industria pertinente para los productos ensayados. El sistema especificado en esta norma internacional también puede ser aplicable a otros métodos de END en donde existen programas de certificación independientes". (metalografía, 2015) **Norma para ensayos no destructivos. Recuperado de Universidad Pereira**

3. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO

3.1. ETAPA 1. SELECCIÓN DE LA NORMATIVA A USAR EN LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

3.1.1. NORMATIVA ESTÁNDAR SELECCIONADA PARA LA REALIZACIÓN DE LOS END

En la siguiente tabla se presenta la normativa estándar y guía al momento de realizar los END presentes en el proyecto.

Tabla 3. Normativa para Ensayos No Destructivos.

Técnica de Ensayo	Norma	Justificación
Inspección por Líquidos Penetrantes	ASTM E165-95 ASTM E 1417-99	<ul style="list-style-type: none"> Método de prueba estándar para el examen de líquido penetrante Práctica estándar para examinación por líquido penetrante
Inspección por Partículas Magnéticas	ASTM E709-95 ASTM E1444	<ul style="list-style-type: none"> Guía estándar para examen con partículas magnetizables
Inspección por Vibraciones Mecánicas	ISO 2372	<ul style="list-style-type: none"> Rangos de severidad para la vibración de máquinas

Fuente: Autores.

3.1.2. EQUIPO DE SEGURIDAD PARA USAR EN LA REALIZACIÓN DE CADA END

Equipo necesario para evitar cualquier problema de salud, o que comprometa la integridad física al momento de realizar los END.

Tabla 4. Recomendaciones de Seguridad para realizar END.

Equipo	Recomendaciones y/o Normas de Seguridad	Justificación
Inspección por Líquidos Penetrantes	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Protección para las manos. ✓ Gafas de protección. ✓ Mascarilla. 	<ul style="list-style-type: none"> Tintes con químicos fuertes que pueden dejar residuos en las manos Inhalación de químicos tóxicos Salpicadura de componentes en químicos en los ojos causando lesiones
Inspección por Partículas Magnéticas	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Protección para las manos. ✓ Gafas de protección. ✓ Mascarilla. 	<ul style="list-style-type: none"> Contacto de las manos con limpiadores y yugo Inhalación de partículas magnéticas pequeñas Afectación de los ojos con partículas magnéticas pequeñas

Inspección por Vibraciones Mecánicas	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Casco. ✓ Gafas de protección. ✓ Protectores de oído. 	<ul style="list-style-type: none"> • Vibraciones altas • Alto ruido de maquinaria • Maquina en funcionamiento constante que puede desprender alguna de sus partes
---	--	--

Fuente: Autores.

3.1.3. MÉTODOS DE EXAMINACIÓN DISCONTINUIDADES POR LÍQUIDOS PENETRANTES NORMA ASTM E165-95

El ensayo de Líquidos Penetrantes puede realizarse por penetración de dos tipos: fluorescente y visible, la elección dependerá de que condiciones de luz tengamos, el método escogido para el presente proyecto de grado fue el método C- Removible con solvente debido a la característica de la estructura y la facilidad de la luz provista por el laboratorio para visualizar las discontinuidades.

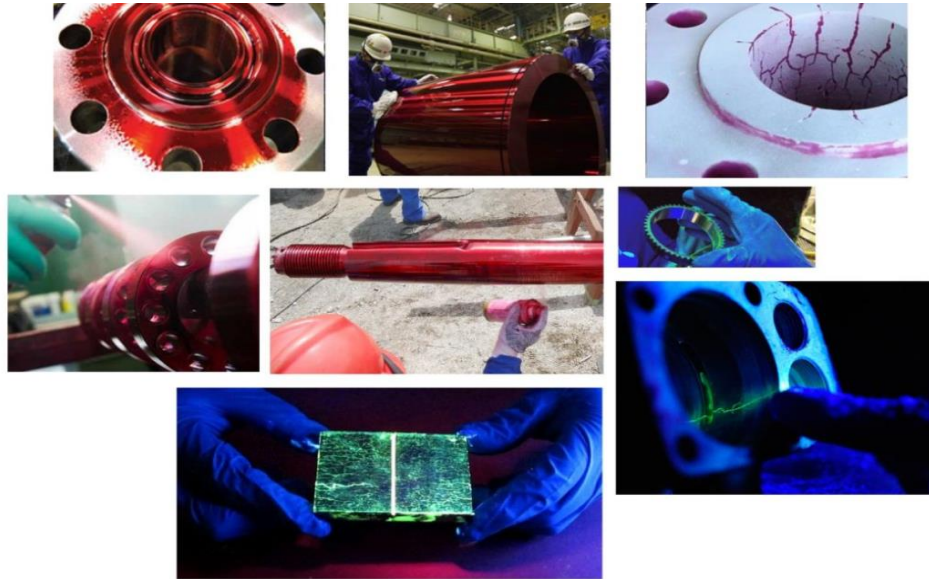
Tabla 5. Clasificación de tipos y métodos de examinación penetrante.

Tipo I – Examinación por penetrante fluorescente	Explicación uso de Penetrantes
Método A – Lavable con agua Método B – Posemulsificable, lipofílico Método C – Removible con solvente. Método D – Posemulsificable, hidrófilo	<ul style="list-style-type: none"> • Penetrante Posemulsificable: Insolubles con agua, sólo es removible con emulsificable aparte (LP Fluorescentes). • Penetrante lavable con agua: Se remueven de la pieza examinada de una superficie directamente con agua. • Penetrante removible con solvente: Hechos de manera que los excesos de penetrante en una superficie puedan removerse a través de una limpieza hasta que la mayoría de penetrante se haya removido • Emulsificantes lipofílico: Líquidos absorbentes de grasas usados para emulsificar el exceso de penetrantes aceitosos en la superficie, dejándola fácil de lavar. • Emulsificantes hidrófilos: Son líquidos absorbentes de agua usados para emulsificar el exceso de penetrantes aceitosos fluorescentes aceitosos en la superficie, dejándola fácil de lavar.
Tipo II – Examinación penetrante visible	
Método A – Lavable con agua Método C – Removible con solvente	

Fuente: NORMA ASTM E-165.

En la figura 15, se pueden observar las diferencias al momento de realizar el END de LP por medio de penetrante fluorescente y coloreados, también las características de luz necesarias para ambos métodos.

Figura 15. Examinación por LP Fluorescentes y coloreados.



Fuente: (SERPROIMEC, 2017)

3.1.4. CLASIFICACIÓN DE NIVEL DE SENSIBILIDAD PARA TINTAS FLUORESCENTES

El END de líquidos penetrantes fluorescentes posee un nivel de sensibilidad dependiendo del tipo de penetración que se quiera alcanzar al momento del ensayo.

Tabla 6. Clasificación de los Líquidos penetrantes según su sensibilidad

NIVEL DE SENSIBILIDAD PENETRACIÓN TIPO I	
Nivel $\frac{1}{2}$	Muy Baja
Nivel 1	Baja
Nivel 2	Media
Nivel 3	Alta
Nivel 4	Ultra Alta

Fuente: Norma ASTM 165-95

3.1.5. CLASIFICACIÓN DE REVELADOR END LP

El revelador que se aplica posterior al penetrante depende de los resultados que se quieran encontrar en la estructura a la hora de mostrar las discontinuidades.

Tabla 7. Clasificación de reveladores LP

TIPO DE REVELADOR		USO
Forma a	Polvo seco	Sólo con penetrantes fluorescentes ya que con los visibles no producen un contraste satisfactorio
Forma b	Agua soluble	Provoca una capa uniforme y adecuada para la inspección.
Forma c	Suspendido en agua	El revelador en suspendido en agua fue una solución al problema de agilizar la aplicación de piezas de tamaño mediano y pequeño, mediante el proceso fluorescente.
Forma d	No acuoso (Húmedo para tipo I)	Proporciona una capa ligera de revelador sobre la superficie, ayuda a extraer el penetrante de la discontinuidad y lo disuelve dándole mayor movilidad y produciendo una mancha en el revelador.
Forma e	No acuoso (Húmedo para tipo II)	
Forma f	Aplicación Específica	Revelador usado de manera específica del caso en particular en el que se realicen los ensayos.

Fuente: Norma ASTM 165-95

3.1.6. CLASIFICACIÓN TIPOS DE REMOVEDOR LP

Los tipos de removedores se clasifican dependiendo del tipo de sustancia que se busque remover de la superficie donde se realice el ensayo (agua, grasa, o exceso de penetrante), cada uno funciona de manera específica para las características del líquido que se desea quitar.

Tabla 8. Clasificación de tipos de removedor


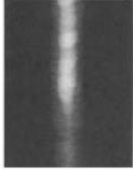








TIPOS DE REMOVEDORES	
Código	Designación
A	Solvente líquido
B	Agua y solvente
C	Agua
D	Emulsificadores hidrofílicos (base agua)
E	Emulsificadores lipofílicos (base aceite)

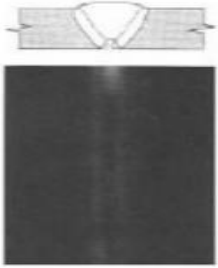
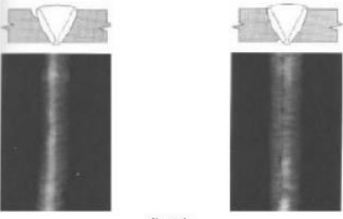
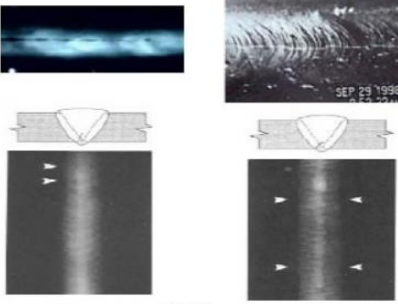
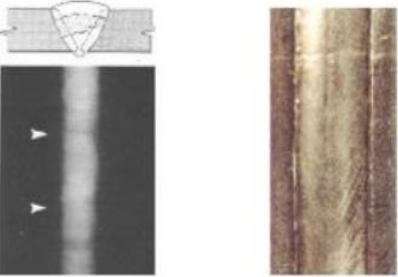
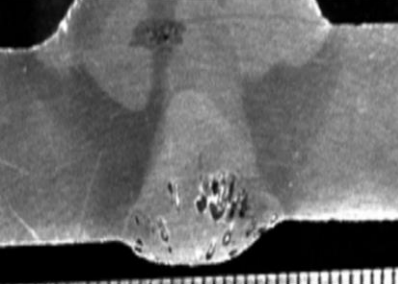
Fuente: Norma ASTM 165-95

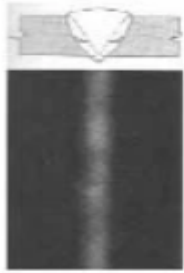
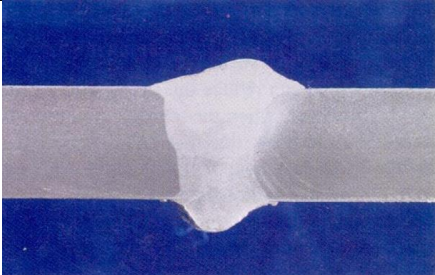
3.1.7. TIPOS DE DISCONTINUIDADES EN SOLDADURA

Son diversos los tipos de discontinuidades que se pueden encontrar al realizar la inspección a una soldadura, muchas causadas por diversas razones, a continuación, los tipos de imperfecciones que se pueden encontrar al revisar el estado de una soldadura.

Tabla 9. IMPERFECCIONES EN SOLDADURA TIPOS DE DISCONTINUIDADES

DISCONTINUIDADES EN SOLDADURA		
DISCONTINUIDADES SUPERFICIALES		
DEFECTO	FORMA	CONCEPTO
Exceso de Penetración	    <p>Figura 1</p>	<p>Se produce por efecto de un movimiento que causa la penetración del electrodo dentro de los biselados, los cuales son distribuidos en esas áreas. Causa que el material chorree al interior y puede retener escoria o no en su interior.</p>
Falta de Penetración	   <p>Figura 2</p>	<p>Como en las uniones en U o en V son visibles por la cara posterior, esta imperfección puede considerarse superficial. A menudo la raíz de la soldadura no quedará adecuadamente rellena con metal dejando un vacío que aparecerá en la radiografía como una línea negra oscura firmemente marcada, gruesa y negra, continua o intermitente reemplazando el cordón de la primera pasada.</p>
Concavidades	   <p>Figura 3.</p>	<p>Presenta una disminución de refuerzo externo, por poco depósito de material de aporte en el relleno del cordón.</p>

<p>Concavidad interna</p>	 <p>Figura 4.</p>	<p>Insuficiente refuerzo interno de la soldadura en su cordón de primera pasada el cual al enfriarse disminuye su espesor pasando a ser menor que el del material base.</p>
<p>Socavaduras o mordeduras de borde</p>	 <p>Figura 5.</p>	<p>La socavadura es una ranura fundida en el metal base, adyacente a la raíz de una soldadura o a la sobremonta, que no ha sido llenada por el metal de soldadura.</p>
<p>DISCONTINUIDADES INTERNAS</p>		
<p>Fisuras Longitudinales</p>	 <p>Figura 9.</p>	<p>Pueden producirse en el centro del cordón (generalmente por movimientos durante o posteriores a la soldadura) o en la interfase del material base con el de aporte (por causa de un enfriamiento brusco o falta de un correcto precalentamiento en grandes espesores)</p>
<p>Fisuras en frío</p>	 <p>Figura 10.</p>	<p>Se forman cuando el material se acerca o alcanza la temperatura ambiente.</p>
<p>Inclusiones gaseosas</p>		<p>Por diversas razones, en el metal de soldadura fundido se forman gases que pueden quedar atrapados si no hay tiempo suficiente para que escapen antes de la solidificación de la soldadura. El gas así atrapado, por lo general tiene la forma de agujeros redondos denominados porosidades esféricas, o de forma</p>

		alargada llamados porosidad tubular o vermicular.
Porosidad esférica aislada	 <p>Figura 19.</p>	Su característica, bolsa de gas de forma esférica producidas por una alteración en el arco, una oxidación en el revestimiento del electrodo, o electrodo húmedo y/u oxidado, o una variación en la relación, Voltaje-Amperaje-Velocidad en la soldadura automática.
Sobreespesor de soldadura		El sobreespesor de soldadura es similar a la convexidad, excepto que describe una condición que solamente puede estar presente en una soldadura con bisel. El sobreespesor de soldadura es descrito como un metal de soldadura en exceso de la cantidad requerida para llenar una junta.

Fuente: (METFUSION, 2013)

3.2. ETAPA 2: REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

3.2.1. ENSAYO DE LÍQUIDOS PENETRANTES: ADQUISICIÓN DE LOS LÍQUIDOS NO PENETRANTES

Los tintes penetrantes utilizados para la realización del Ensayo No Destructivo al chasis fueron algunos provistos por la Ing. Diana Carolina Dulcey ya que se contaba con ellos en el laboratorio de Resistencia de Materiales debido a las diversas pruebas que deben llevarse allí a cabo, se tomó la referencia de cada uno de los tarros que se poseían, para así poder escoger cuáles de estos nos serían útiles de acuerdo a las condiciones de nuestro chasis y los resultados que se deseaban obtener.

Tabla 10. LP END Método C removible con solvente

LÍQUIDOS PENETRANTES COLOREADOS MÉTODO C REMOVIBLE CON SOLVENTE		
ITEM	DESCRIPCIÓN	GRÁFICO
<p>PENETRANTE MARCA SPOTCHECK SKL-SP2</p>	<p>Es un penetrante portable removible al solvente, particularmente para operaciones de soldadura, y es pos-emulsificable para una mayor resolución de indicaciones de defectos. Produce un contraste de color rojo visible y tiene características de penetración sobresalientes.</p>	
<p>REVELADOR Base Solvente No Halogenado Marca CANTESCO D101-A</p>	<p>El aerosol D101-A es un revelador húmedo no acuoso de rociado blanco para indicaciones de tintes rojos. Todos los tamaños cumplen con los requerimientos de contenido de halógenos y cloro de la sección V de ASME.</p>	
<p>SOLVENTE LIMPIADOR Marca CANTESTO C101-A</p>	<p>El aerosol C101-A es una mezcla de hidrocarburos solventes de petróleo no clorinados. Todos los tamaños cumplen con los requerimientos de contenido de halógenos y cloro de la sección V de ASME.</p>	

Fuente: Autores

3.2.2. PROCESO PARA LA REALIZACIÓN DE LA PRUEBA LÍQUIDOS PENTRANTES:

En la figura 16 se puede evidenciar la descripción del proceso para la realización del ensayo de LP, una guía que ayudará con el seguimiento de los pasos a tener en cuenta previamente a comenzar el ensayo.

Figura 16. Proceso inspección END LP



Fuente: Autores

Comparativa en la tabla 11 donde se muestran las limitaciones que presenta el END de LP

Tabla 11. Comparativa ventajas y limitaciones LP

VENTAJAS	LIMITACIONES
<ul style="list-style-type: none"> • Relativamente fácil de aplicar • No requiere equipos costosos 	<ul style="list-style-type: none"> • Solo detecta discontinuidades superficiales
<ul style="list-style-type: none"> • Aplicable en materiales metálicos y no metálicos 	<ul style="list-style-type: none"> • No aplicable en materiales porosos
<ul style="list-style-type: none"> • Buena sensibilidad 	<ul style="list-style-type: none"> • Requiere de una buena limpieza
<ul style="list-style-type: none"> • No destruye la pieza 	
<ul style="list-style-type: none"> • Resultados inmediatos 	<ul style="list-style-type: none"> • No da registro permanente

Fuente: Autores

3.2.3. REALIZACIÓN DEL END LÍQUIDOS PENETRANTES

3.2.3.1 SELECCIÓN DE LA SUPERFICIE PARA REALIZAR EL ENSAYO:

Se deberá seleccionar la superficie en la que se considere que se considere puedan existir porosidades, fisuras, o algún tipo de discontinuidad en la soldadura que puedan ser considerables. Para este paso se seleccionó como superficie los puntos de soldadura del chasis que se usó para la construcción del prototipo del vehículo deportivo para la competencia Shell Eco-Marathon.

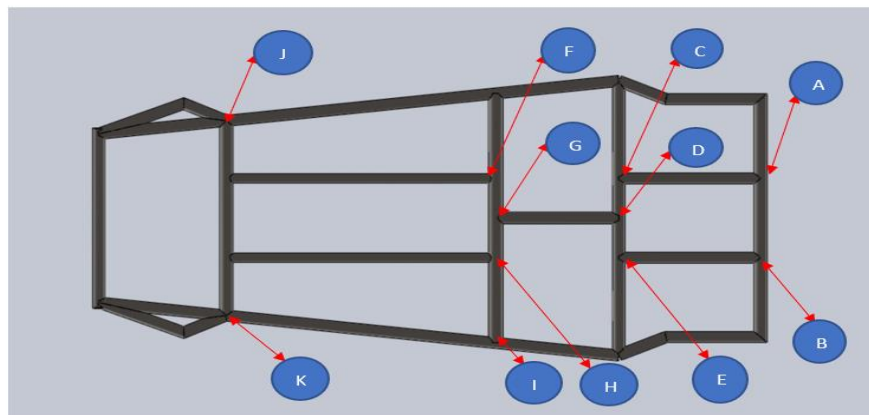
Figura 17. Estructura de chasis vehículo prototipo Shell Eco-Marathon



Fuente: Autores

En la figura 18, se muestran los puntos seleccionados para la realización de los END de LP y PM, se seleccionaron varios para poder visualizar el resultado del proceso de soldadura y los que se consideraban clave de manera estructural para el prototipo

Figura 18. Puntos de uniones de soldadura prototipo chasis



Fuente: (Autores).

3.2.3.2 LIMPIEZA DE LA SUPERFICIE:

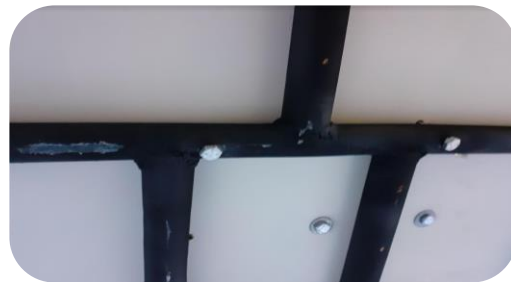
Este es uno de los pasos más importantes debido a que la superficie debe encontrarse libre de cualquier tipo de contaminante (pintura, oxido, polvo, grasa, etc) debido a que pueden interrumpir en la entrada del líquido penetrantes a las discontinuidades llegando a poder alterar los resultados de la prueba.

3.2.3.2.1 PRIMERA LIMPIEZA: REMOCIÓN DE PINTURA, OXIDO, GRASA

Figura 19. Proceso limpieza inicial puntos de soldadura chasis



Paso 1: Visualización de superficie del chasis



Paso 2: Comenzar a remover la pintura en uniones soldadas usando



Paso 3: Lijar las uniones soldadas para remover restos usando grata o lija



Paso 4: Dejar la unión de soldadura lo más libre de pintura posible



Paso 5: Pasar lanilla limpia para quitar cualquier resto de aceite, o partículas de polvo producidas por la lija

Fuente: Autores.

Tabla 12. Implementos Limpieza END LP

Implementos para limpieza de superficie END Líquidos no penetrantes
▪ Tiner
▪ Lija
▪ Guantes
▪ Lanilla limpia (remover restos de tiner y polvo)
▪ Grata

Fuente: Autores

3.2.3.2 SEGUNDA LIMPIEZA: LIMPIEZA FINAL PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE PARA END

Es necesario realizar una segunda limpieza para garantizar de manera final que la soldadura se encuentre totalmente limpia, libre de cualquier agente que interrumpa en el ensayo

Figura 20. Procedimiento segunda limpieza uniones soldadas.



Fuente: Autores.

3.2.3.3 APLICACIÓN DEL PENETRANTE:

Según el tamaño y número de piezas que se deban inspeccionar, se puede aplicar: por inmersión, por pulverización con aerosoles, o pulverización con una pistola acoplada a la red de aire comprimido y por brocha. El líquido penetrante debe tener necesariamente un color de contraste y en función de la fuente de luz que se precisa para observación de las indicaciones que proporciona el ensayo

-Tiempo de penetración: Un punto muy importante es establecer el tiempo que debe permanecer el penetrante en la superficie a inspeccionar, que será el necesario para que

el líquido penetrante se filtre por una grieta, por pequeña que sea. Este tiempo de penetración puede oscilar entre 5 y 60 minutos. El tiempo de penetración se establecerá en cada caso en función del material a ensayar, el tipo de discontinuidad a detectar y las recomendaciones, para nuestro caso el material del que está fabricado el chasis es Acero ASTM A36 y se quieren encontrar discontinuidades en los puntos de soldadura.

Tabla 13. Características de un LP

<i>PROPIEDAD FÍSICA</i>	<i>PENETRANTE</i>	<i>REVELADOR</i>
Capilaridad	Alta	Baja
Tensión Superficial	Baja	Alta
Adherencia	Baja	Alta
Cohesión	Baja	Alta
Viscosidad	Baja	Alta
Partículas	Pequeñas	Grandes

Fuente: Norma ASTM E165-95

Características de un LP 'ideal':

- Habilidad para penetrar orificios y aberturas muy pequeñas y estrechas
- Habilidad de mantener su color o fluorescencia
- Habilidad de expandirse en capas muy finas
- Resistencia a la evaporación
- No corrosivo
- Poco inflamable
- Estable bajo condiciones de almacenamiento

En la tabla 14, se puede observar el tiempo de penetración escogido para el ensayo, esto tomando en cuenta el material de la estructura y las posibles discontinuidades que iban a encontrarse.

Tabla 14. Tiempo penetración LP según material

<i>MATERIAL Y CONDICIÓN</i>	<i>DEFECTO</i>	<i>TIEMPO DE APLICACIÓN (min)</i>	
		<i>15°C - 32°C</i>	<i>1°C - 15°C</i>
Todos los Metales	Fisuras de Tratamiento Térmico	3-5	10-15
Todos los Metales	Fisuras de Amolado	7-10	15-20
Todos los Metales	Fisuras de Fatiga	8-10	16-20
Plásticos	Fisuras	3-5	10-15

Cerámicos	Fisuras	3-5	10-15
Cerámicos	Porosidad	3-5	10-15
Herramientas de Corte			
Puntas de Carburo	Bronceado Pobre	3-5	10-15
Puntas de Corte	Fisuras en la Punta	3-5	10-15
Puntas de Corte	Fisuras en la Caña	3-5	10-15
Metales			
Fundiciones de Molde Permanente	Porosidad de rechupe	3-5	10-15
Fundiciones en Matriz	Porosidad superficial	3-5	10-15
Fundiciones en Matriz	Solapado en frío	3-20	10-20
Forjados	Fisuras y solapados	7-20	15-20
Metal Rolado	Costuras	7-20	10-15
Soldaduras de Aluminio	Fisuras y porosidades	3-5	10-15
Soldaduras de Acero	Fisuras y porosidades	7-20	15-20

Fuente: Norma ASTM E165-95

Parámetros a tener en cuenta al momento para el proceso de aplicar el penetrante en la figura 21:

- Aplicar el penetrante en forma de barrido y a una distancia mínima de 30 centímetros de la soldadura
- La soldadura también debe estar en un ambiente que no supere los 40° y no haber estado expuesta directamente al sol
- Se espera un tiempo de 15-20 minutos para que el penetrante pueda entrar de manera correcta.
-

Figura 21. Proceso de penetración en uniones soldadas chasis.



Fuente: Autores

3.2.3.4 REMOCIÓN DEL EXCESO DE PENETRANTE

La remoción dependerá del LP utilizado. Se debe remover el exceso de la superficie evitando extraer aquel que se encuentra dentro de las discontinuidades. Se entiende por exceso de LP todo líquido que no se ha introducido en los defectos y que permanece sobrante sobre la superficie de la pieza a inspeccionar.

Esta etapa es crítica y de su correcta realización dependerá el resultado final de la inspección. Si no se ha eliminado perfectamente el LP de la superficie, en la superficie, en la inspección final aparecerán manchas de penetrante que producirán indicaciones falsas, e incluso; el enmascaramiento de los defectos y discontinuidades.

Para el proceso de remoción de exceso de líquido penetrante que se observa en la figura 22, se debe realizar de la siguiente manera:

- Usando un trapo quitar el exceso de Penetrante en cada soldadura para que no interfiera con el resultado de la prueba

Figura 22. Proceso remoción exceso de líquido penetrante.



Fuente: Autores.

3.2.3.5 APLICACIÓN DEL REVELADOR

Se aplica el removedor sobre la superficie preparada. El revelado es la operación que hace visible la posición del defecto y debe ser efectuada tan pronto como sea posible, luego de la remoción del LP y el secado de la pieza.

El tiempo de revelado depende del tipo de penetración del revelador y del defecto o discontinuidad, pero deberá permitirse además el tiempo suficiente para que se formen las indicaciones. Una regla práctica dice que el tiempo de revelado nunca debe ser menor a siete minutos.

En la tabla 15, se pueden observar los métodos de revelado para el ensayo de LP, el método de revelado seleccionado fue el método C, que consiste en tintas penetrantes coloreadas reveladas con solvente.

Tabla 15. Selección Método Revelado Líquidos Penetrantes
GUÍA DE SELECCIÓN DEL MÉTODO

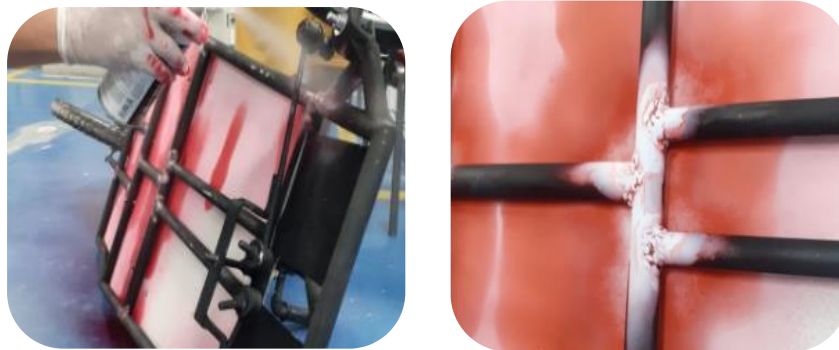
<i>DESCRIPCIÓN</i>	<i>PROCESO TIPO I Y II</i>	<i>OBSERVACIONES</i>
Alta producción de artículos pequeños	A	Pequeñas cantidades manejadas en canastas
Alta producción de artículos grandes	B	Grandes forjas, extrusiones, etc.
Alta sensibilidad para discontinuidades finas	B	Indicaciones más claras y brillantes
Discontinuidades superficiales, rayones	B	Puede controlarse la profundidad de la emulsificación
Artículos con rugosidad superficial	A	Puede evitarse la formación de indicaciones falsas
Artículos con cuerdas y cuñeros	A	El penetrante del tipo II podría fijarse en las esquinas
Artículos con rigurosidad superficial mediana	A-B	La elección depende de los requisitos de producción y sensibilidad
Se requiere equipo portátil	C	-
No se dispone de agua ni electricidad	C	-

Artículos anodizados, agrietados después del anodizado	C-B-A	De preferencia en el orden indicado
Detección de fugas	A-B	Método de permeación

En la figura 23, se describe el procedimiento a tener en cuenta para la revelación de las discontinuidades luego de pasado el tiempo de penetración (20 minutos):

- Aplicar el revelador en forma de barrido y de manera uniforme en cada punto de soldadura
- Luego de aplicar el revelador las imperfecciones comenzarán a ser visibles luego de 2 minutos

Figura 23. Procedimiento aplicación de revelador uniones de soldadura.



Fuente: Autores.

3.2.3.6 INSPECCIÓN FINAL

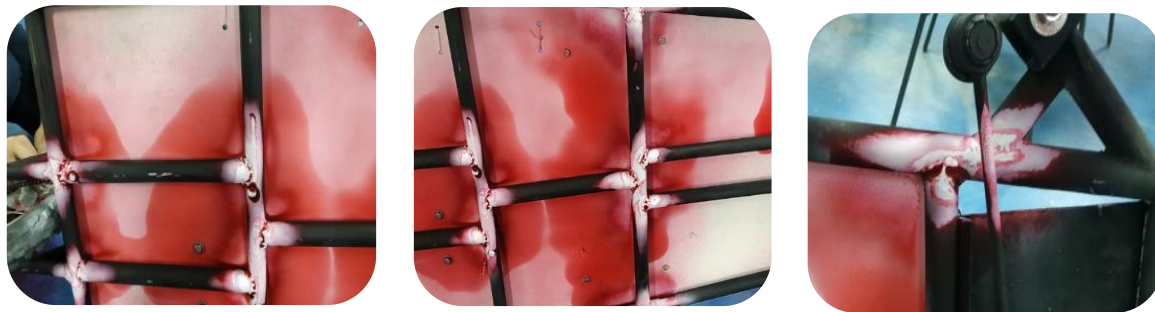
Una vez transcurrido el tiempo de revelado, se procede a la inspección de los posibles defectos o discontinuidades de las piezas de interés.

Los criterios para la aceptación o el rechazo de la soldadura se toman según lo establecido en el código AWS D1.1 Sección 6, Parte C, Párrafo 6.1

En la figura 24, se aprecia la estructura en el momento de la inspección final, en el siguiente orden:

- Sección trasera chasis
- Sección del medio estructura chasis
- Unión sección de dirección en el chasis

Figura 24. Estructura de chasis luego de finalización END Líquidos Penetrantes.



Fuente: Autores

3.2.4. ENSAYO DE PARTÍCULAS MAGNÉTICAS

3.2.4.1 ESPECIFICACIONES YUGO MAGNÉTICO END PARTÍCULAS MAGNÉTICAS

En la tabla 16, se encuentran las especificaciones del yugo magnético DA-400 CONTOUR PROBE utilizado para el END de Partículas Magnéticas

Tabla 16. Especificaciones Yugo Magnético Ensayo de Partículas Magnéticas





Especificaciones Generales	DA-400 CONTOUR PROBE
Peso	3.8 kg
Rango de las patas	0"-12"
Consumo de corriente	115V / 50-60Hz 230V / 050-60Hz
Longitud de cable	10 ft

Fuente: Autores

3.2.4.2 MATERIALES REALIZACIÓN END PARTÍCULAS MAGNÉTICAS

La tabla 17 muestra todos los implementos utilizados para la realización del ensayo de PM, así mismo una descripción de su uso en el proceso.

Tabla 17. Materiales utilizados para Ensayo de Partículas Magnéticas.

Materiales para el uso de Partículas Magnéticas		
<p>Spray Color Blanco para contraste de partículas Met-L-Chek WCP-81</p>		<p>El spray blanco de contraste es usado para crear un fondo uniforme en las uniones de soldadura de la estructura para lograr visualizar de manera más precisa la ubicación de las partículas magnéticas al momento de realizar el ensayo</p>
<p>Yugo Magnético DA-400 CONTOUR PROBE</p>		<p>El yugo magnético DA-400 CONTOUR PROBE creará un campo magnético al ponerse en contacto con la estructura del chasis logrando así atraer las partículas magnéticas a las discontinuidades presentes</p>
<p>Partículas secas de color rojo MAGNAFLUX 8A RED</p>		<p>Las partículas magnéticas rojas permitirán una mayor visibilidad a la hora de realizar el ensayo debido a su color</p>
<p>Elementos de Limpieza</p>		<p>Los elementos de limpieza servirán tanto de manera previa al momento de realizar el ensayo y posteriormente al terminarlo, para lograr un resultado que no sea interrumpido por suciedad, polvo, pintura o cualquier tipo de grasa que pueda generar que se muestre un resultado diferente.</p>

Fuente: Autores

3.2.4.3 PROCEDIMIENTO PARA REALIZACIÓN END PARTÍCULAS MAGNÉTICAS

El procedimiento para realizar el paso a paso del procedimiento para el ensayo de PM puede observarse en la figura 25:

Figura 25. Procedimiento Realización END Partículas Magnéticas



Fuente: Autores.

3.2.4.4 REALIZACIÓN DEL END PARTÍCULAS MAGNÉTICAS

3.2.4.4.1 LIMPIEZA:

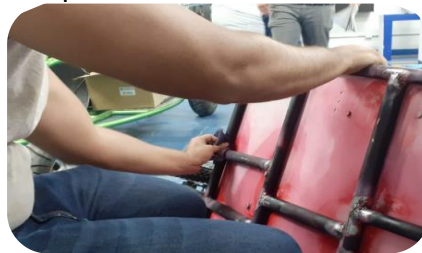
La superficie de las piezas a examinar deberá estar libre de residuos, suciedad, aceite, restos de pintura, o cualquier otra materia que pueda afectar la sensibilidad del ensayo.

- Limpieza por medio de solvente
- Limpieza por medio mecánico

Al momento de realizar la limpieza previa que se muestra en la figura 26, se debe tener en cuenta:

- Se limpia todo punto de soldadura de manera manual-mecánica aplicando el uso de solvente para quitar cualquier residuo de aceite o polvo que pueda interferir en la realización de la prueba

Figura 26. Limpieza previa comienzo END Partículas Magnéticas.



Fuente: Autores.

- Procedimiento de partículas magnéticas secas: Se seleccionó el método de partículas magnéticas secas y no mojadas, debido a la facilidad de su manejo y la limpieza al momento de realizar el ensayo.

3.2.4.4.2 APLICACIÓN SPRAY BLANCO PARA VISUALIZACIÓN DE LAS PARTÍCULAS MAGNÉTICAS

Se aplica el spray que puede ser de color blanco o negro (esto dependiendo del color que tengamos en la estructura del chasis) para crear un fondo uniforme en las uniones de soldadura y que las partículas magnéticas puedan visualizarse de mejor manera.

En la figura 27, se observa la aplicación del spray para crear la capa de fondo en cada uno de los puntos de soldadura a evaluar generando mayor visibilidad en el momento en que se apliquen las partículas magnéticas y se concentren en la discontinuidad:

- El spray de color blanco para contraste se aplica en forma de barrido y se espera un tiempo de 5 minutos para que pueda adherirse por completo a la unión soldada.
-

Figura 27. Aplicación fondo blanco para visualización de Partículas Magnéticas.



Fuente: Autores.

3.2.4.4.3 MAGNETIZACIÓN DE LA PIEZA

Se procede a conectar el yugo para magnetizar la superficie donde se va a realizar el ensayo de partículas magnéticas y evidenciar la presencia de líneas de fuga de flujo magnético.

- En la figura 28, El yugo magnético se posiciona de manera perpendicular para generar el campo magnético que posteriormente atraerá las partículas magnéticas hacia las discontinuidades
-

Figura 21. Magnetización estructura chasis por medio de uso de Yugo Magnético.



Fuente: Autores.

3.2.4.4 APLICACIÓN DE LAS PARTÍCULAS MAGNÉTICAS

Se aplican las partículas magnéticas en la superficie que es objeto de estudio luego de que se encuentra magnetizada haciendo uso del bulbo logrando así que queden aplicadas de manera uniforme en toda la superficie.

- En la figura 29, Las partículas son aplicadas de manera uniforme en toda la unión de la soldadura, teniendo siempre en cuenta mantener en forma perpendicular el yugo magnético para tener un buen resultado

Figura 22. Aplicación de Partículas Magnéticas en unión de soldadura estructura chasis END.



Fuente: Autores.

3.2.4.4.5 INSPECCIÓN PARA INTERPRETACIÓN

Se quita el exceso de partículas que no permiten realizar una visualización clara del resultado obtenido en el ensayo, posteriormente se revisan los puntos de la soldadura en donde se encuentren concentradas las partículas para revisar cualquier desperfecto que pueda estar presente.

Los criterios para la aceptación o el rechazo de la soldadura se toman según lo establecido en el código AWS D1.1 Sección 6, Parte C, Párrafo 6.10.

- En la figura 30, Al retirar el exceso de partículas magnéticas en la unión de soldadura se obtendrá un resultado más claro de la discontinuidad presente.

Figura 23. Inspección uniones soldadas luego de finalizar END Partículas Magnéticas.



Fuente: Autores.

3.2.4.4.6 DESMAGNETIZACIÓN

Tras la inspección se procede a limpiar la pieza y la desmagnetización como último paso del procedimiento.

Medidas de Seguridad para la realización del ensayo:

En la tabla 18, se especifican los parámetros a tener en cuenta al momento de realizar el END de PM, previendo cualquier tipo de incidente que comprometa la integridad física.

Tabla 18. Normas de seguridad previas a Ensayo de Partículas Magnéticas.

1.	Utilización de guantes a la hora de aplicar los campos magnéticos
2.	Utilización de lentes de seguridad a la hora de la realización del ensayo.
3.	Utilización de mascarilla o cubre bocas a la hora de la realización del ensayo
4.	Conectar el yugo magnético únicamente en el momento en que se realice el ensayo

Fuente: Autores.

3.2.5. ENSAYO DE ANÁLISIS POR VIBRACIONES

El análisis por vibraciones mecánicas será realizado en los puntos de la estructura cercanos al lugar donde se encuentra el motor eléctrico para analizar si se genera un nivel de vibración aceptable o severo que pueda generar daños posteriores en el lugar de la estructura donde se encuentra ubicado.

3.2.5.1 COMPARATIVO OPCIONES VIBROMETRO END AVM

En la tabla 19, se presentan las diferentes opciones que se tuvieron en cuenta para la selección del mismo, teniendo en cuenta las diferentes características, como unidades de medición, precio, y el espectro de frecuencia.

Tabla 19. Opciones selección Vibrómetro

NOMBRE	CARACTERÍSTICAS
<p>Vibration Meter, HT-1201 Acceleration Sensor Gauge with LCD Backlight Vibration Analyzer Tester</p> 	<ul style="list-style-type: none"> Modelo: HT-1201. Color: gris. Adquisición de vibración: acelerómetro piezocerámico (tipo de tiro) Pantalla LCD: pantalla de tres dígitos y medio. Rango de medición: Aceleración: 0.3-655.8 ft/s² (valor máximo). Velocidad: 0.004-7.870 in/s (valor efectivo). Desplazamiento: 0.000 – 0.079 in (valor efectivo). Precisión de medición: ± (5%+2dígitos)
<p>Smart Sensor AR63B metro de vibración de precisión digital Tester Analizador de calibre</p> 	<ul style="list-style-type: none"> Características: Medidor de Vibración (también llamado también llamada gravedad de la vibración) utiliza transductor de aceleración piezoeléctrico transferencia de la señal de vibración para señal eléctrica, analizar las señales de entrada y mostrar la aceleración, velocidad, desplazamiento de la vibration.Es ampliamente utilizado en las líneas de alimentación, petroquímica, fabricación de maquinaria, la metalurgia, vehículos, etc.. Especificaciones: Vibración Pickup: Acelerómetro piezoeléctrico cerámico (shear-type) Acceleration: 0.1 ~ 199.9 m/s² Velocidad: 0.1 ~ 199.9 m/S desplazamiento: 0.001 ~ 1.999 mm Rango de frecuencia de aceleración: 10Hz ~ 1 KHZ (lo); 1 kHz ~ 15KHz (Hi) Velocity rango de frecuencia: 10Hz ~ 1 KHZ Rango de frecuencia de desplazamiento: 10Hz ~ 1 KHZ

<p>Medidor de vibración mecánico, medidor de vibración, medidor de vibración LCD, medidor de vibración, analizador de vibración AS63B</p> 	<ul style="list-style-type: none"> El medidor de vibración (también llamado gravedad de la vibración) utiliza un transductor de aceleración piezoeléctrica que transfiere la señal de vibración a la señal eléctrica, analiza las señales de entrada y muestra la aceleración, la velocidad y el desplazamiento de la vibración. Es ampliamente utilizado en las líneas de potencia, petroquímica, fabricación de maquinaria, metalurgia, vehículos, etc. Recolector de vibraciones Acelerómetro piezoeléctrico de cerámica (tipo cizalla) Aceleración 0.1 ~ 199.9m / s² Velocidad 0.1 ~ 199.9m / s Desplazamiento 0.001 ~ 1.999mm Rango de frecuencia de aceleración 10HZ ~ 1KHZ (LO)
<p>Medidor de vibración Baugger, sonda separada, medidor de vibración manual</p> 	<ul style="list-style-type: none"> Especificaciones: Material: ABS. Pastilla de vibración: acelerómetro de cerámica piezoeléctrica (tipo de cizalla) Rango de medición de aceleración: 0,1 ~ 655.8 ft/s² pico Rango de medición de velocidad: 0,1 ~ 7.870 in/s rms. Rango de medición de desplazamiento: 0,001 ~ 0.079 in p-p (rango de velocidad y desplazamiento limitado por aceleración 655.8 ft/s²) Precisión de medición: ±5%+2 dígitos. Rango de frecuencia de medición de aceleración: 10 Hz ~ 1 kHz (LO), 1 kHz ~ 15 kHz (HI). Rango de frecuencia de medición de velocidad: 10 Hz ~ 1 kHz (LO). Rango de frecuencia de medición de desplazamiento: 10 Hz ~ 1 kHz (LO). Muestra el ciclo de actualización: 1 segundo. Pantalla LCD: pantalla de 3 1/2 dígitos.
<p>Vibrometer, Digital Handheld Vibrometer Tester, Piezoelectric Ceramic Accelerometer Shear-Type, High Sensitivity Probe, Provides Long and Short Probe Head for Different Situation Measurement</p> 	<p>Principio de medición: cerámica piezoeléctrica Acelerómetro tipo tijera. Rango de aceleración: 0,1 ~ 655.8 ft/s². Rango de velocidad: 0,1 ~ 655.8 ft/s. Rango de desplazamiento: 0,001 ~ 0.079 in. Rango de frecuencia de aceleración: 10 Hz ~ 1 KHz (LO) 1 KHz ~ 15 KHz (HI)</p>

Fuente: Autores.

Como principal estándar para la selección del vibrometro se toman como criterios de selección:

- Rangos de aceleración, velocidad, desplazamiento, Frecuencias
- Exactitud en su medida y/o unidades de medida del mismo

- Calidad / Precio


Llegando a la conclusión que el instrumento a comprar fue el **Medidor de vibración Digital Sensor inteligente vibrómetro AR63B medidor de gravedad de vibración** por las siguientes razones basados en los estándares de selección del mismo:

- Nos presenta una mayor amplitud de rango de medida en tanto Aceleración, Velocidad, Desplazamiento, Frecuencias. Con respecto al vibrómetro **HT-1201, Baugger, Handheld Vibrometer**. Obtenemos un mayor rango de frecuencia de desplazamiento: 10Hz ~ 1 KHZ, con respecto a las otras medidas obtenemos las mismas unidades de medida, pero el vibrómetro **AR63B** viene con su certificado de calibración y de fabricación.
- En exactitud de medida obtendremos datos de mayor exactitud, puesto que tiene una escala de medida mucho más pequeña en la categoría de frecuencia LOW y HIGH permitiendo tomar datos más concisos para la obtención de resultados.
- En calidad precio tenemos la comparación entre **AS63B y AR63B** se decidió optar por el **AR63B** puesto que viene con su certificado de calibración, tiene 3 puntas diferentes para realizar estudios en 3 tipos de paredes y/o estructuras deseadas, su fabricación es de mejor calidad.

3.2.5.2 DESCRIPCIÓN VIBROMETRO AR63B

En la tabla AR63B se visualizan las especificaciones del vibrómetro elegido para la realización del END por AVM, para dejarlo a conocimiento.

Tabla 20. Especificaciones Vibrometro Ensayos Análisis de Vibraciones.

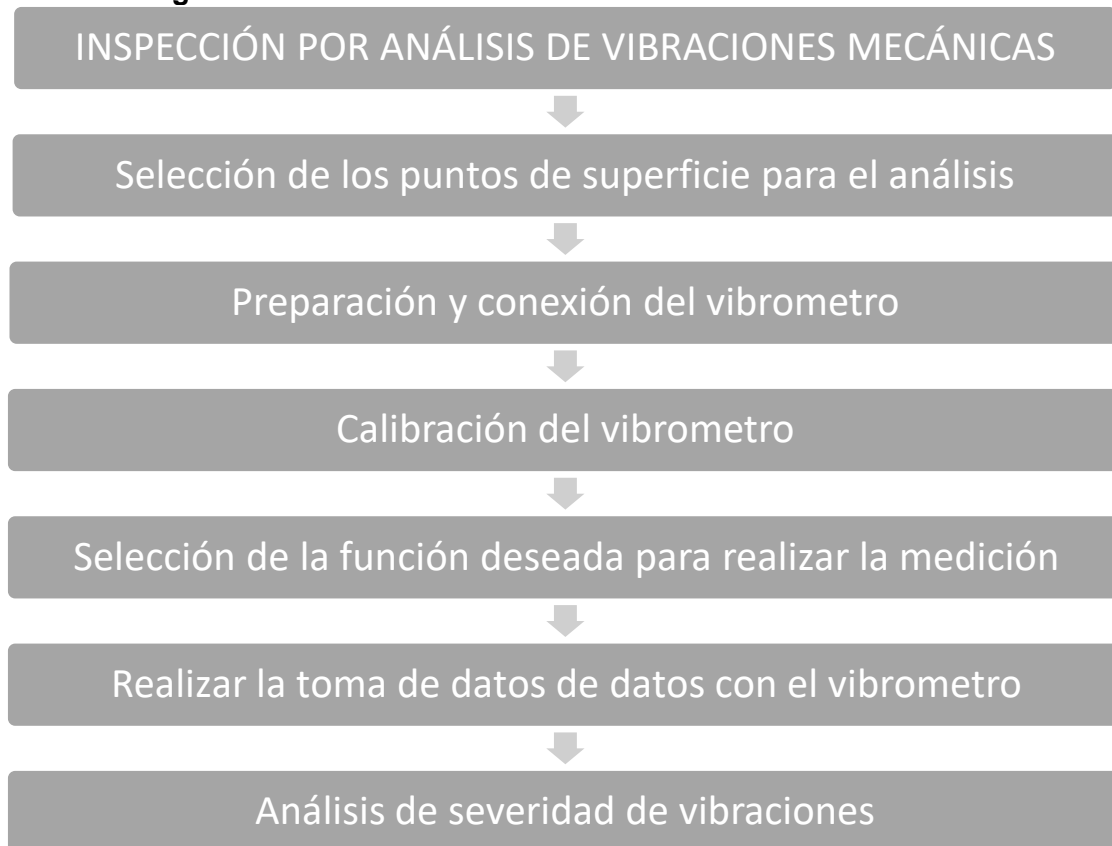
ITEM	DESCRIPCIÓN	GRÁFICO
<p>Medidor de vibración Digital Sensor inteligente vibrómetro AR63B medidor de gravedad de vibración</p>	<p>Medidor de vibración (también llamado Gravedad de vibración) utiliza el transductor de aceleración piezoeléctrico o transfiere la señal de vibración a la señal eléctrica, analiza las señales de entrada, y muestra la aceleración, velocidad, cambio de vibración. Es ampliamente utilizado en las líneas de energía, petroquímica, fabricación de maquinaria, metalurgia, vehículos, etc</p>	

Fuente: Autores

3.2.5.3 PROCEDIMIENTO END POR ANÁLISIS DE VIBRACIONES MECÁNICAS

En la figura 24, se observa el procedimiento para la realización del END de Análisis de Vibraciones Mecánicas una guía que muestra el paso a paso de cómo realizarlo.

Figura 24. Procedimiento realización END Análisis de Vibraciones.



Fuente: Autores

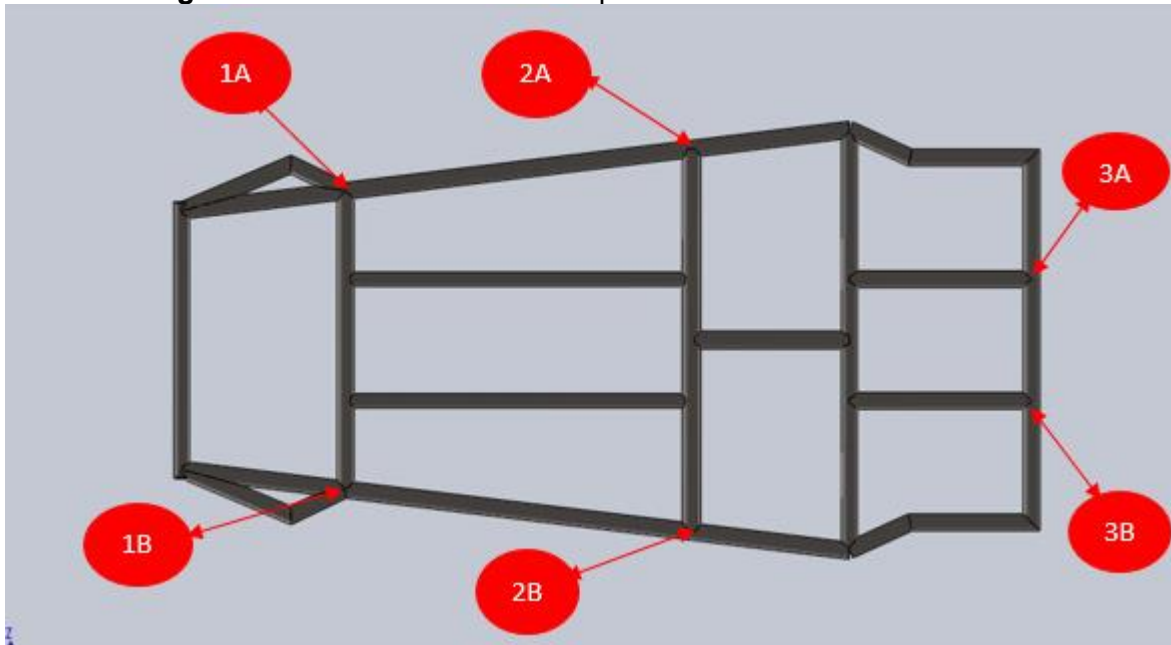
3.2.5.4 REALIZACIÓN END ANÁLISIS DE VIBRACIONES MECÁNICAS

3.2.5.4.1 SELECCIÓN DE LOS PUNTOS DE SUPERFICIE PARA EL ANÁLISIS

La selección de los puntos para realizar el AVM puede evidenciarse en la figura 25, se seleccionan los puntos de soldadura de la dirección del chasis (1A, 1B) debido al mal estado en el que se encontraron al realizar el ensayo de LP comprometiendo de manera directa a que se puedan generar daños graves con la vibración del motor pudiendo ocasionar la

ruptura de los nodos ubicados allí, los puntos del medio de la estructura del chasis (2A, 2B) fueron elegidos ya que son puntos clave para brindar estabilidad al prototipo al estar ubicados en la mitad del mismo y ayudan a garantizar gran parte de la seguridad del mismo, los puntos traseros del chasis (3A, 3B) fueron elegidos por la cercanía en la que se encuentran del motor y se consideran como los puntos más críticos en cuanto a vibraciones debido a la cercanía a la que están expuestas del movimiento del motor.

Figura 25. Puntos seleccionados para END Análisis de Vibraciones

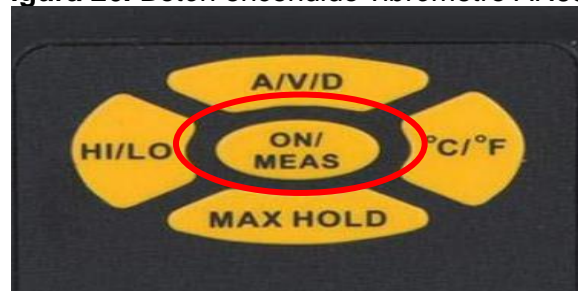


Fuente: Autores

3.2.5.4.2 PREPARACIÓN DEL INSTRUMENTO

Conectar la sonda de vibración con la que se tomará la medida por medio del cable al medidor de vibración precando la tecla ON/MEAS por 5 segundos.

Figura 26. Botón encendido vibrómetro AR63B



Fuente: (Amazon, 2019)

3.2.5.4.3 CALIBRACIÓN

Seleccionar la unidad de pantalla deseada asignando las unidades de aceleración, desplazamiento y velocidad

Figura 27. Unidades de medida vibrómetro AR63B
 mm/s^2 : When measuring acceleration, LCD will display acceleration unit " m/s^2 "
 When measuring velocity, LCD will display velocity unit " mm/s "
 When measuring displacement, LCD will display displacement unit " mm "

Fuente: (Amazon, 2019)

3.2.5.4.4 FUNCIÓN

Selección de la función deseada:

A/V/D: Modo de medición (Aceleración, velocidad, desplazamiento), figura 28.

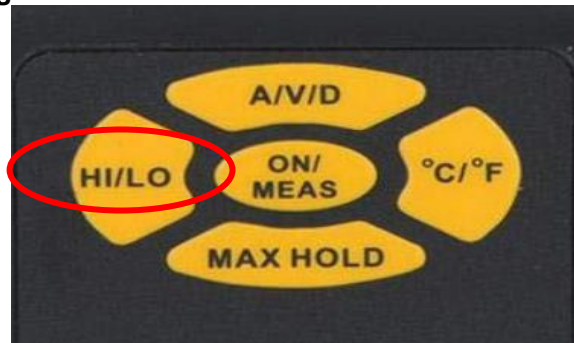
Figura 28. Botón modo de medición



Fuente: (Amazon, 2019)

HI/LO: Selección de características para medición de frecuencia, figura 29.

Figura 29. Botón selección de modo de frecuencia



Fuente: (Amazon, 2019)

3.2.5.4.5 PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN

Para realizar la toma de datos para el análisis de vibraciones se necesita contar con información sobre las especificaciones del motor y puntos donde se dónde se ubicará el cable del vibrometro al momento de realizar el ensayo.

Tabla 21. Especificaciones del motor utilizado para medición de Análisis de Vibraciones.

Especificaciones del Motor	
Fabricante	KUNRAY
Modelo	Motor MY1020
Potencia	1000W
Tipo de motor	Motor sin escobillas BLDC de alta velocidad
Torque Nominal	4 Nm
Diámetro	95 mm
RPM (Nominal)	4200

Fuente: Autores.

Motor usado para vehículo prototipo Shell Eco-Marathon, figura 30.

Figura 30. Motor KUNRAY



3.2.5.4.6 ANÁLISIS DE SEVERIDAD DE VIBRACIÓN

La norma elegida para realizar el análisis de severidad de vibración es la ISO 2372 que analiza los estándares de vibración dependiendo de la clasificación de la máquina evaluada, para el motor KUNRAY la clasificación sería clase 1 debido a que sus especificaciones nos muestran que presenta una potencia menor a los 15 KW.

Clasificación de las máquinas

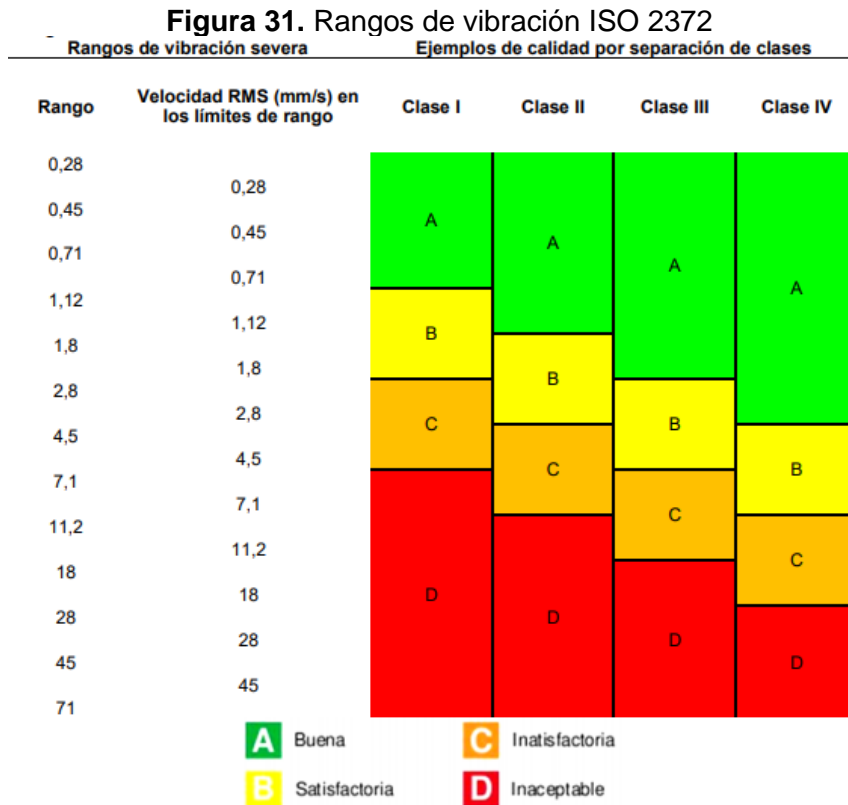
- **CLASE I:** Máquinas pequeñas con potencia menor a 15 KW.
- **CLASE II:** Máquinas de tamaño mediano con potencia entre 15 y 300 KW
- **CLASE III:** Máquinas grandes con potencia sobre 300 KW, montadas en soportes rígidos

- **CLASE IV:** Máquinas grandes con potencia sobre 300 KW, montadas en soportes flexibles

Calidad o severidad de la vibración

- A:** Buena
- B:** Satisfactoria
- C:** Insatisfactoria
- D:** Inaceptable

De acuerdo a la figura 31, que nos muestra los diferentes rangos de vibración que se pueden presentar en la estructura a evaluar, podemos determinar según los valores de rango en qué nivel de calidad o severidad se encuentra el prototipo de vehículo para conocer si es aceptable o no.



Fuente: Norma ISO 2372

4. RESULTADOS

4.1. CRITERIOS INSPECCIÓN VISUAL END

Como primer paso en cada END se debe realizar la inspección visual de cómo se encuentran las soldaduras sin importar cuál ensayo vaya a realizarse, para así determinar el estado de las mismas, y en caso de que sea muy grave a un punto en que no pueda repararse, evitar realizar un ensayo sabiendo previamente sus resultados.

Figura 32. Criterios de aceptación para END Inspección Visual

SECCIÓN 6. INSPECCIÓN AWS D1.1/D1.1M-2015

Tabla 6.1
Criterios de Aceptación para Inspección Visual (ver 6.9)

Grado de la Discontinuidad y Criterio de la Inspección	Conexiones No-Tubulares Cargadas Estáticamente	Conexiones No-Tubulares Cargadas Cíclicamente	Conexiones Tubulares (Todas las Cargas)								
(1) Prohibición de Grietas Cualquier grieta deberá ser inaceptable, sin importar el tamaño o ubicación.	X	X	X								
(2) Fusión de la Soldadura/Metal Base Deberá haber fusión <u>completa</u> entre las capas adyacentes del metal de soldadura y entre el metal de soldadura y el metal base.	X	X	X								
(3) Criter en la Sección Transversal Todos los criterios deberán ser llenados para proporcionar el tamaño de soldadura especificado, excepto para los extremos de las soldaduras de filete intermitente fuera de su longitud efectiva.	X	X	X								
(4) Perfiles de la Soldadura Los perfiles de la soldadura deberán ser de acuerdo con el 5.24.	X	X	X								
(5) Tiempo de Inspección La Inspección Visual de las soldaduras en todos los aceros pueden iniciar inmediatamente después de que las soldaduras terminadas se hayan enfriado a temperatura ambiente. Los criterios de aceptación para aceros ASTM A 514, A 517 y A 709 grado 100 y 100 W, deberá estar basado en la inspección visual realizada en no menos de 48 horas después de la terminación de soldadura.	X	X	X								
(6) Soldaduras de Poco Tamaño (inferiores) El tamaño de una soldadura de filete en cualquier soldadura continua, puede tener menos del tamaño (L) poco nominal especificado sin corrección de las siguientes cantidades (U):	X	X	X								
<table style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td style="text-align: center;">L, tamaño de soldadura nominal especificada, pulg. [mm]</td> <td style="text-align: center;">U, dimensión permitida de L, pulg. [mm]</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">≤ 3/16 [5]</td> <td style="text-align: center;">≤ 1/16 [2]</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1/4 [6]</td> <td style="text-align: center;">≤ 3/32 [2.5]</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">≥ 5/16 [8]</td> <td style="text-align: center;">≤ 1/8 [3]</td> </tr> </table>	L, tamaño de soldadura nominal especificada, pulg. [mm]	U, dimensión permitida de L, pulg. [mm]	≤ 3/16 [5]	≤ 1/16 [2]	1/4 [6]	≤ 3/32 [2.5]	≥ 5/16 [8]	≤ 1/8 [3]			
L, tamaño de soldadura nominal especificada, pulg. [mm]	U, dimensión permitida de L, pulg. [mm]										
≤ 3/16 [5]	≤ 1/16 [2]										
1/4 [6]	≤ 3/32 [2.5]										
≥ 5/16 [8]	≤ 1/8 [3]										
En todos los casos, la parte de la soldadura de poco tamaño no deberá exceder el 10% de la longitud de la soldadura. En soldaduras alrno-ño de vigas, la reducción deberá ser prohibido en los extremos de una longitud igual a dos veces el ancho del ala.											
(7) Socavado (A) Para el material menor de 1 pulg. [25 mm] de espesor, el socavado no deberá exceder 1/32 pulg. [1 mm], con la siguiente excepción: el socavado no deberá exceder 1/16 pulg. [2 mm] para cualquier longitud acumulada de hasta 2 pulg. [50 mm] en cualquier longitud de 12 pulg. [200 mm]. Para material igual o mayor de 1 pulg. [25 mm] de espesor, el socavado no deberá exceder 1/16 pulg. [2 mm] para cualquier longitud de soldadura.	X										
(B) En miembros principales, el socavado deberá ser de no más de 0.03 pulg. [0.25 mm] de profundidad cuando la soldadura es transversal al esfuerzo de tracción bajo cualquier condición de diseño de carga. El socavado deberá ser no más de 1/32 pulg. [1mm] de profundidad para todos los otros casos.		X	X								

(Continuado)

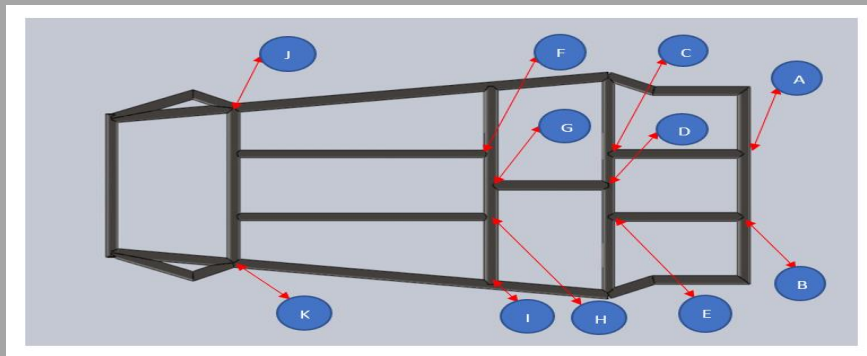
Fuente: Norma AWS D1.1 Sección 6

4.2. INFORME DE RESULTADOS ENSAYO NO DESTRUCTIVO LÍQUIDOS PENETRANTES

El informe de END LP muestra las discontinuidades encontradas y el respectivo informe de evidencias.

UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER				
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERÍA				
TECNOLOGÍA EN OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO ELECTROMECAÁNICO				
INFORME DE TINTAS PENETRANTES COLOREADAS				
TIPO DE ENSAYO: TINTAS PENETRANTES COLOREADAS				
Ensayo N°:	01	Norma:	ASTM E165-02	
Material Chasis	Acero ASTMA36	Espesor Tubo	28 mm	
Laboratorio:	Laboratorio de Resistencia de Materiales UTS			
Método:	C-Solvente Removible	Tipo de Examinación	Tipo II - Penet. Visible	
Tipo de Limpieza	Mecánica Manual	Limpiador:	C101-A	
Penetrante:	SPOTCHECK SKL-SP2	Tiempo de Penetración	18 minutos	
Temp. de Aplicación	15 a 35° C	Remoción del Penetrante	Solvente en Spray	
Revelador	CANTESCO DEVELOPER	Tiempo de Revelado	10 minutos	
Temp. de Aplicación	22°C	Remoción del Revelador	Solvente en Spray	
N° JUNTA	Tipo de Discontinuidad	Observaciones	Aprobación Final	
			SI	NO
A	Socavación			X
B	Porosidad agrupada	Salpicadura pequeña/Falta de fusión	X	
C	Porosidad		X	
D	Grietas	Falta de fusión		X
E	Socavación			X
F	Fusión incompleta			
G	Salpicadura		X	
H	Salpicadura	Empalme de soldadura crudo		X
I	Porosidad uniformemente dispersa		X	
J	Mordedura			X
K	Mordedura			X

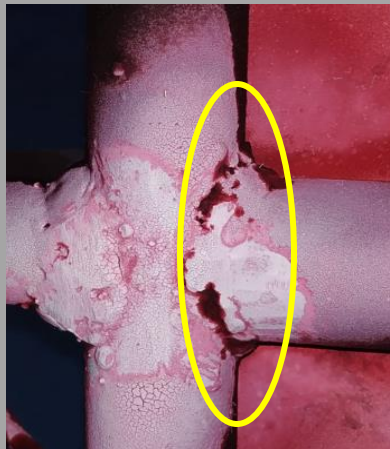
REGISTRO FOTOGRÁFICO JUNTAS DE SOLDADURA



Junta A



Junta B



Junta C



Junta D



Junta E



Junta F



Junta G



Junta H



Junta I



Junta J



Junta K



OBSERVACIONES: Después de haberse realizado el análisis de los puntos mostrados en la evidencia fotográfica del prototipo de vehículo se llegó a la conclusión de que las Juntas J y K, se encuentran en grave estado y comprometen de manera peligrosa la dirección estructural del vehículo debido al grave daño que presenta la soldadura en estos puntos, se recomienda tener en cuenta la discontinuidad presente.

Los costos estipulados para la realización del ensayo de Líquidos Penetrantes, se encuentra estipulado en la tabla 22.

Tabla 22. Costos materiales END Líquidos Penetrantes.

COSTOS MATERIALES END LÍQUIDOS PENETRANTES	
IMPLEMENTO	COSTO
Kit Líquidos Penetrantes	\$130.000
Guantes quirúrgicos	\$2.500
Tapabocas (3)	\$1.500
Gafas de seguridad	\$21.000
Lanillas/Tiner/Grata	\$10.000

Fuente: Autores

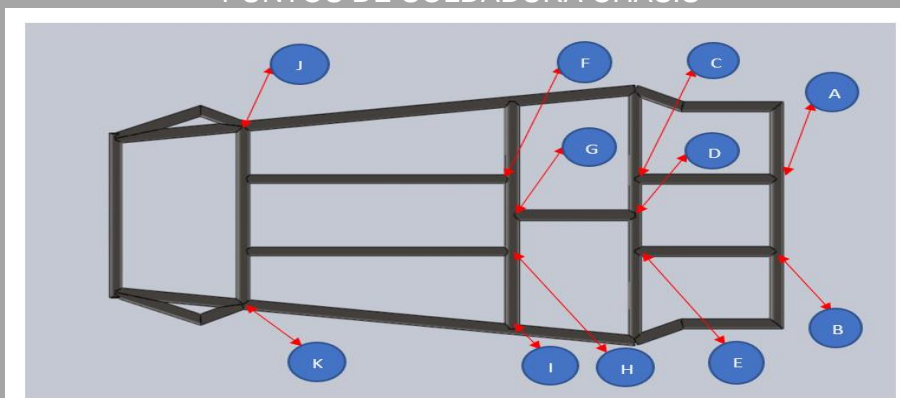
4.3. INFORME RESULTADOS END PARTÍCULAS MAGNÉTICAS SECAS

El informe de END PM muestra las discontinuidades encontradas y el respectivo informe de evidencias.

UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER				
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERÍA				
TECNOLOGÍA EN OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO ELECTROMECAÁNICO				
INFORME DE PARTÍCULAS MAGNÉTICAS				
TIPO DE ENSAYO: PARTÍCULAS MAGNÉTICAS				
N° Ensayo	02	Norma:	ASTM E 709-95	
Material Base	Acero ASTMA36	Espesor Tubería	28 mm	
Laboratorio:	Laboratorio de Resistencia de Materiales UTS			
Método:	Part. Magnéticas secas	Tipo de Limpieza	Mecánica Manual	
Limpiador:	CANTESCO C-101 A	Tipo de Equipo	Yugo Magnético	
Voltaje	220V	Número de Modelo	DA-400 CONTOUR PROBE	
Contraste de Partículas	Met-L-Check WCP-81	Tiempo para contraste de partículas	5 minutos	
Partículas Magnéticas secas	MAGNAFLUX 8A RED	Tiempo de espera para para resultados	10 minutos	
Temp. de Aplicación	23°C	Limpieza final	Solvente en Spray	
N° JUNTA	Tipo de Discontinuidad	Observaciones	Aprobación Final	
			SI	NO
A	Sobremontas		x	
B	Porosidad agrupada	Salpicadura pequeña		x
C	Porosidad		x	
D	Sobreespesor de soldadura	Exceso de fusión	x	
E	Socavación			x
F	Fusión incompleta			x
H	Porosidad uniformemente dispersa			x
I	Salpicadura	Empalme de soldadura crudo		x
J	Salpicadura			x

REGISTRO FOTOGRÁFICO

PUNTOS DE SOLDADURA CHASIS



ELABORADO POR:
Oficina de Investigaciones

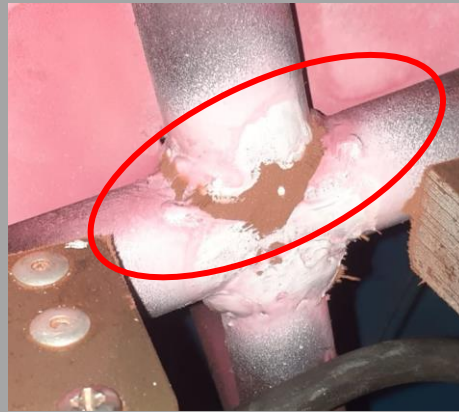
REVISADO POR:
soporte al sistema integrado de gestión

APROBADO POR : Asesor de planeación
FECHA APROBACION:

Junta A



Junta B



Junta C



ELABORADO POR:
Oficina de Investigaciones

REVISADO POR:
soporte al sistema integrado de gestión

APROBADO POR : Asesor de planeación
FECHA APROBACION:

Junta D



Junta E



Junta F



ELABORADO POR:
Oficina de Investigaciones

REVISADO POR:
soporte al sistema integrado de gestión

APROBADO POR : Asesor de planeación
FECHA APROBACION:

Junta I



Junta J



OBSERVACIONES: Para el ensayo de Partículas Magnéticas se encontró que las juntas más afectadas son las uniones de soldadura J e I, confirmando los resultados del ensayo de líquidos penetrados en cuanto a los nodos de soldadura que comprometen la dirección de la estructura, así mismo las demás soldaduras en general también presentan discontinuidades que aunque no son tan graves no pueden ser aceptadas.

Los costos estipulados para la realización del ensayo de Partículas Magnéticas, se encuentra estipulado en la tabla 23.

Tabla 23. Costos Materiales END Partículas Magnéticas.

COSTO MATERIALES END PARTÍCULAS MAGNÉTICAS SECAS	
ELEMENTO	COSTO
Kit Partículas Magnéticas Secas	\$987.000
Guantes (3 Pares)	\$2.500
Tapabocas (2 Pares)	\$1.500
Lanillas/Limpiador	\$25.000

Fuente: Autores.

4.4. COMPARATIVO END LÍQUIDOS PENETRANTES VS PARTÍCULAS MAGNÉTICAS

A continuación, se presenta en la tabla 24 el comparativo sobre las semejanzas y diferencias que se presentan al realizar ambos tipos de ensayo, logrando una diferenciación y similitud entre ambos para los resultados obtenidos al terminarlos.

Tabla 24. Comparativo semejanzas y diferencias END Líquidos Penetrantes VS Partículas Magnéticas.

COMPARATIVO END LÍQUIDOS PENETRANTES VS PARTÍCULAS MAGNÉTICAS	
Semejanzas	Diferencias
<ul style="list-style-type: none"> • Ambos ensayos permiten la detección de discontinuidades superficiales. • Son ensayos relativamente sencillos respecto al costo y nivel de dificultad de otros Ensayos No Destructivos • En ambos ensayos los equipos para su realización pueden ser portátiles. • En ambos ensayos, los medios detectores se introducen en las discontinuidades. • Ambos ensayos permiten inspecciones in-situ. • Ambos ensayos requieren un tratamiento de la pieza posterior a la inspección. • No se presentan limitaciones por la geometría de la pieza a ensayar. • No proporcionan un registro permanente de indicaciones. 	<ul style="list-style-type: none"> • El ensayo por líquidos penetrantes es más barato que el ensayo de partículas magnéticas, debido al equipo utilizado. • El ensayo de partículas magnéticas tiene mayor sensibilidad en la detección de fisuras, mientras que el ensayo de líquidos penetrantes tiene mayor sensibilidad en la detección de porosidades. • El ensayo de líquidos penetrantes puede aplicarse en cualquier tipo de material, mientras que el ensayo de partículas magnéticas es exclusivo para materiales ferromagnéticos. • En ensayo de partículas magnéticas no requiere una preparación exhaustiva de la superficie a ensayar mientras que el ensayo de líquidos penetrantes sí. • El ensayo de partículas magnéticas requiere menor tiempo de ensayo que el ensayo de líquidos penetrantes. • Las partículas magnéticas requieren que el campo sea perpendicular a las discontinuidades, mientras que los líquidos penetrantes no requieren nada especial en la dirección de las discontinuidades. • El ensayo de partículas magnetizables puede detectar discontinuidades subsuperficiales mientras el de líquidos penetrantes no. • El ensayo de líquidos penetrantes se basa en el fenómeno de capilaridad mientras el ensayo de partículas magnéticas se basa en la formación de campos de fuga en las discontinuidades. • El ensayo de partículas magnetizables requiere cierto cuidado debido al manejo de altos amperajes, mientras el ensayo de líquidos penetrantes requiere cierto cuidado debido a la toxicidad de los líquidos utilizados. • El ensayo de líquidos penetrantes requiere más operaciones que el ensayo de partículas magnéticas

Fuente: Autores

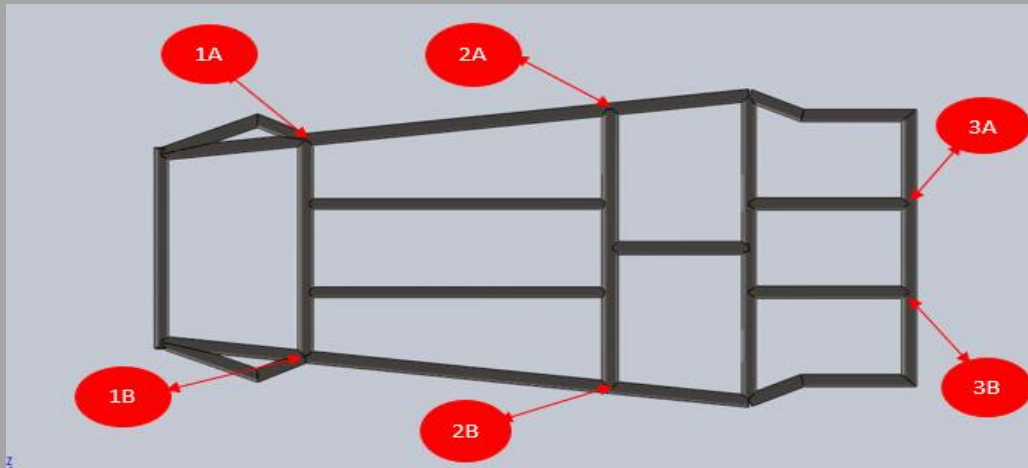
4.5. INFORME RESULTADOS END ANÁLISIS DE VIBRACIONES MECÁNICAS

El informe evidenciado en la tabla 25, corresponde a los resultados obtenidos luego de la realización del ensayo de vibraciones mecánicas, por medio del uso del vibrómetro AR63B

Tabla 25. Resultados Ensayo Análisis de Vibraciones.

UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER			
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERÍA			
TECNOLOGÍA EN OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO			
ELECTROMECAÁNICO			
INFORME DE PARTÍCULAS MAGNÉTICAS			
TIPO DE ENSAYO: ANÁLISIS DE VIBRACIONES MECÁNICAS			
N° Ensayo	03	Norma:	ISO 2372
Material Base	Acero ASTMA36	Espesor Tubería	28 mm
Laboratorio:	Laboratorio de Resistencia de Materiales UTS		
Método:	Análisis de Vibraciones Mecánicas	Tipo de Limpieza	Mecánica Manual
Vibrometro	AR63B	Iluminación	Artificial
Voltaje	220V	Motor	KUNRAY
Potencia	1000W	RPM Nominal	4200 RPM
Tiempo de realización	30 minutos	Tiempo de espera para resultados	10 minutos
Temp. de Aplicación	23°C	Limpieza final	Solvente en Spray

REGISTRO FOTOGRÁFICO Puntos seleccionados END AVM





ELABORADO POR:
Oficina de Investigaciones

REVISADO POR:
soporte al sistema integrado de gestión

APROBADO POR : Asesor de planeación
FECHA APROBACION:

La tabla 26 muestra los valores obtenidos en cada uno de los puntos seleccionados para la realización del ensayo de vibraciones mecánicas a una velocidad de RPM, se tomó un total de 14 mediciones para obtener mayor precisión de medición

Tabla 26. Valores END AVM RMS 1800 RPM

Puntos de medición	VIBRACIONES RMS (mm/s) 1800 RPM													
	1A	16.07	13.07	13.03	14.02	15.06	17.11	16.03	15.05	17.07	18.09	18.04	19.11	18.05
1B	19.07	15.02	20.01	19.06	18.02	17.08	19.05	20.01	17.03	16.08	17.06	15.02	18.04	19.02
2A	11.05	15.05	13.07	17.02	18.09	15.11	18.09	19.03	19.07	18.08	16.04	17.01	20.09	19.03
2B	15.07	21.09	22.02	20.07	16.07	13.06	13.01	12.07	13.01	12.07	13.02	14.07	15.08	17.02
3A	10.02	12.07	11.11	11.08	13.03	13.09	12.05	12.02	12.11	12.04	11.06	11.02	12.11	14.04
3B	11.08	9.07	7.05	8.03	8.09	9.06	13.06	15.06	16.08	13.09	12.04	11.07	12.07	15.09

Fuente: Autores.

La figura 33 da a conocer los datos estadísticos encontrados de acuerdo a los puntos evaluados y las mediciones tomadas

Figura 33. Datos estadísticos con respecto a la medición de vibraciones a 1800 RPM
Estadísticos descriptivos: 1A; 1B; 2A; 2B; 3A; 3B

Estadísticas

Variable	N	N*	Media	Error estándar de la media	Desv.Est.	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo
1A	14	0	16,344	0,552	2,064	13,030	14,793	16,570	18,060	19,110
1B	14	0	17,826	0,446	1,668	15,020	16,793	18,030	19,063	20,010
2A	14	0	16,845	0,681	2,548	11,050	15,095	17,550	19,030	20,090
2B	14	0	15,481	0,901	3,371	12,070	13,010	14,570	17,782	22,020
3A	14	0	11,918	0,275	1,029	10,020	11,075	12,045	12,340	14,040
3B	14	0	11,420	0,770	2,882	7,050	8,780	11,560	13,582	16,080

Fuente: Autores

CONCEPTOS ESTADÍSTICOS FIGURA 33:

Variable: Puntos de medición

N: Numero de datos tomado por punto de medición

Media: Promedio de los datos obtenidos.

Desv. Est.: Variación o dispersión de los datos obtenidos.

Mínimo: Valor mínimo obtenido en las mediciones

Q1: (Cuartil 25%)

Mediana: el valor de la variable de posición central en un conjunto de datos ordenados.

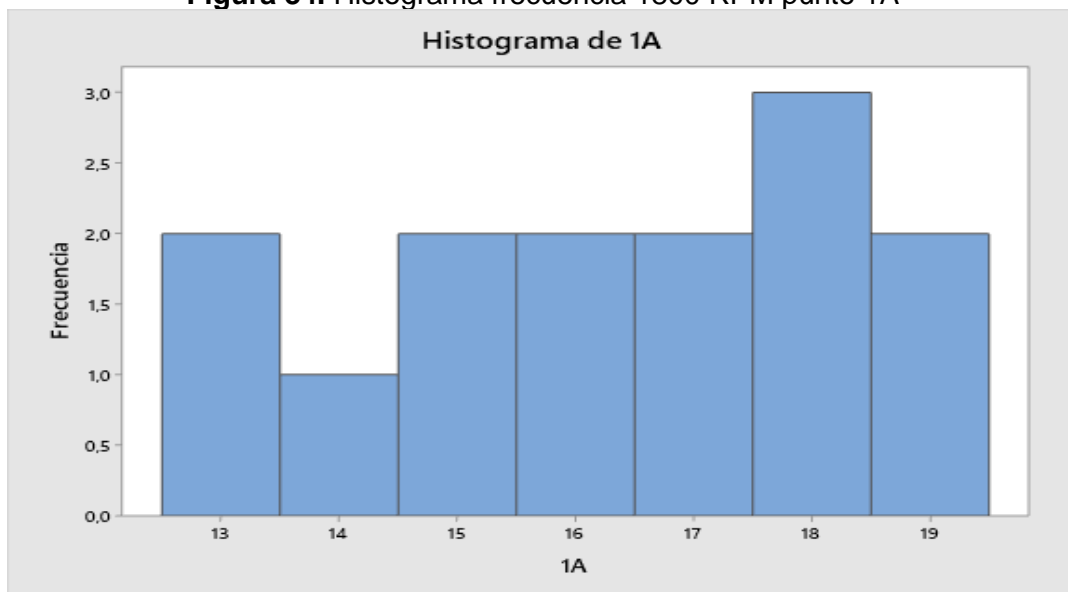
Q3: (Cuartil 75%)

Máximo: Valor máximo obtenido en las mediciones

4.5.1. HISTOGRAMA DE ACUERDO AL RANGO DE MEDICIONES TOMADAS EN CADA PUNTO 1800 RPM

Los histogramas reflejan la frecuencia de datos tomados en cada rango de valor tomada en las mediciones de cada unión que fue seleccionada para el ensayo.

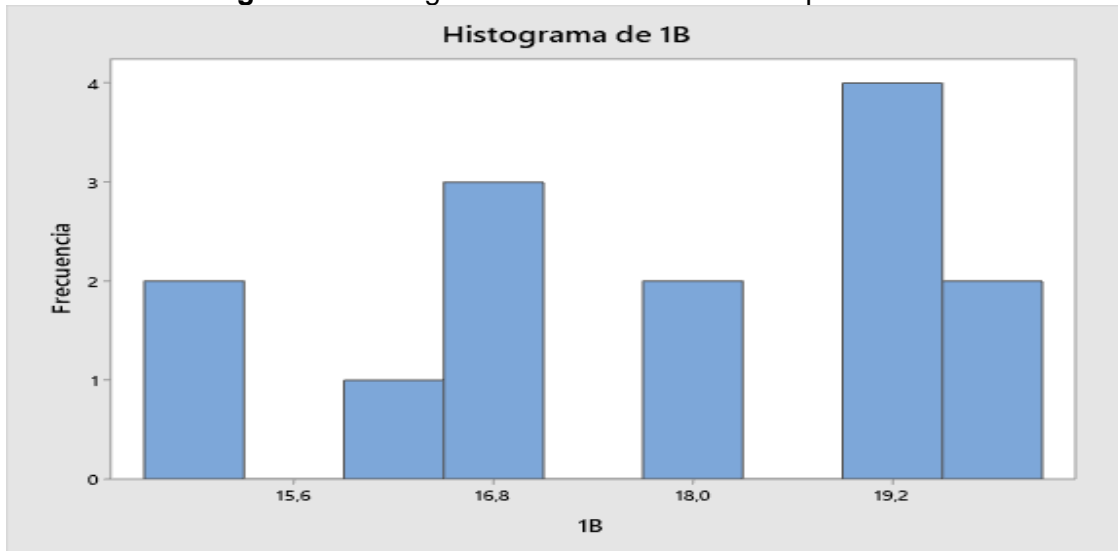
Figura 34. Histograma frecuencia 1800 RPM punto 1A



Fuente: Autores

CONCLUSIÓN: El rango de número en el que más se encontraron mediciones para el punto 1A, fue en el valor de 18 rms.

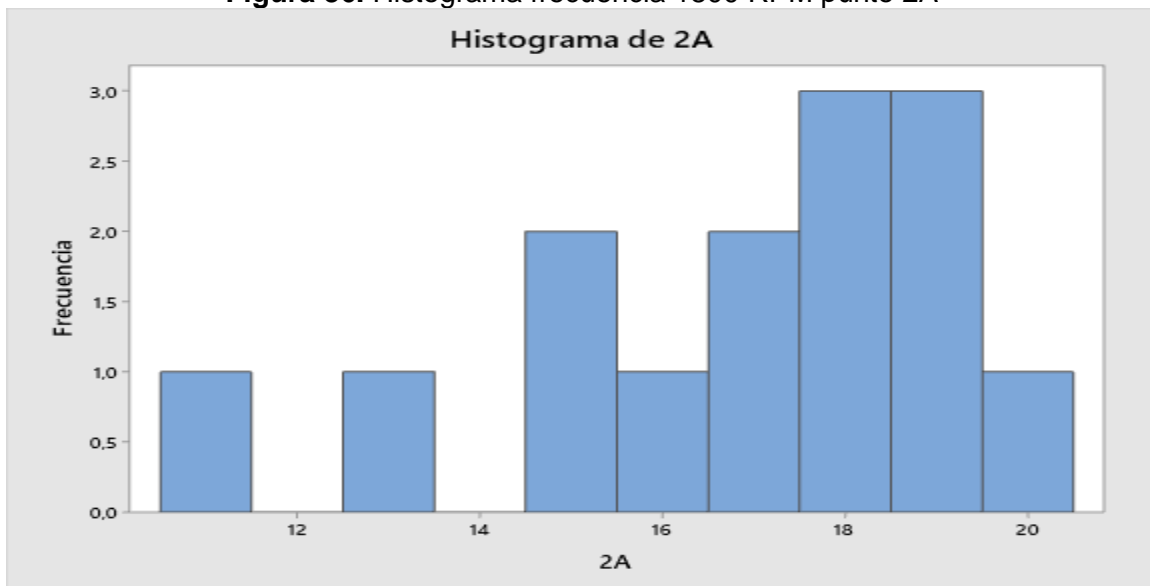
Figura 35. Histograma frecuencia 1800 RPM punto 1B



Fuente: Autores.

CONCLUSIÓN: El rango de número en el que más se encontraron mediciones para el punto 1B, fue en el valor de 19.2 rms.

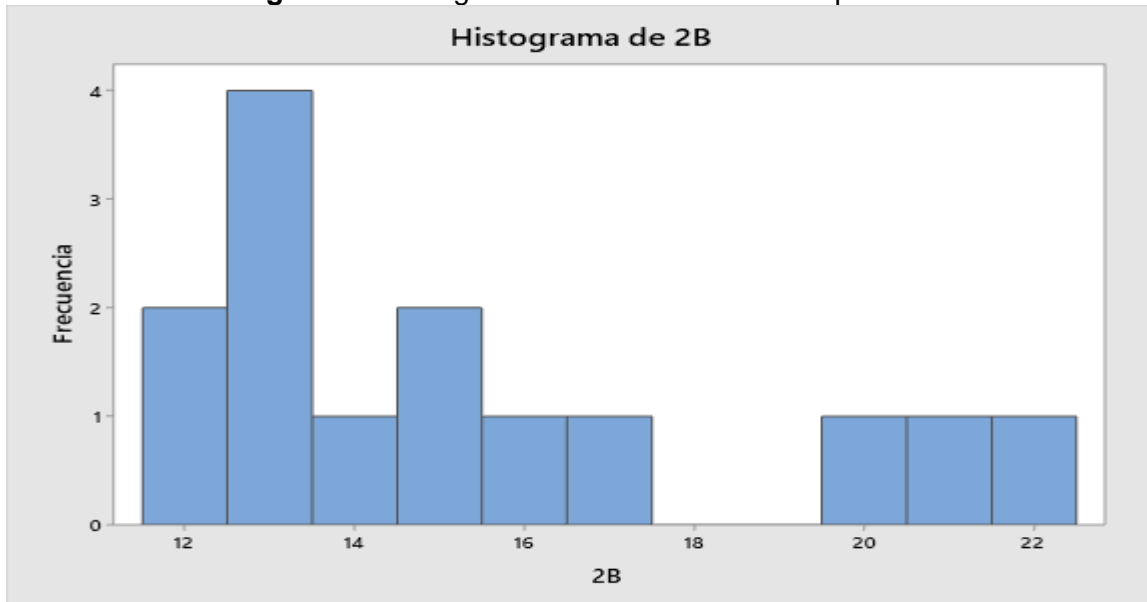
Figura 36. Histograma frecuencia 1800 RPM punto 2A



Fuente: Autores.

CONCLUSIÓN: El rango de número en el que más se encontraron mediciones para el punto 2A, fue en el valor de 18 y 19 rms.

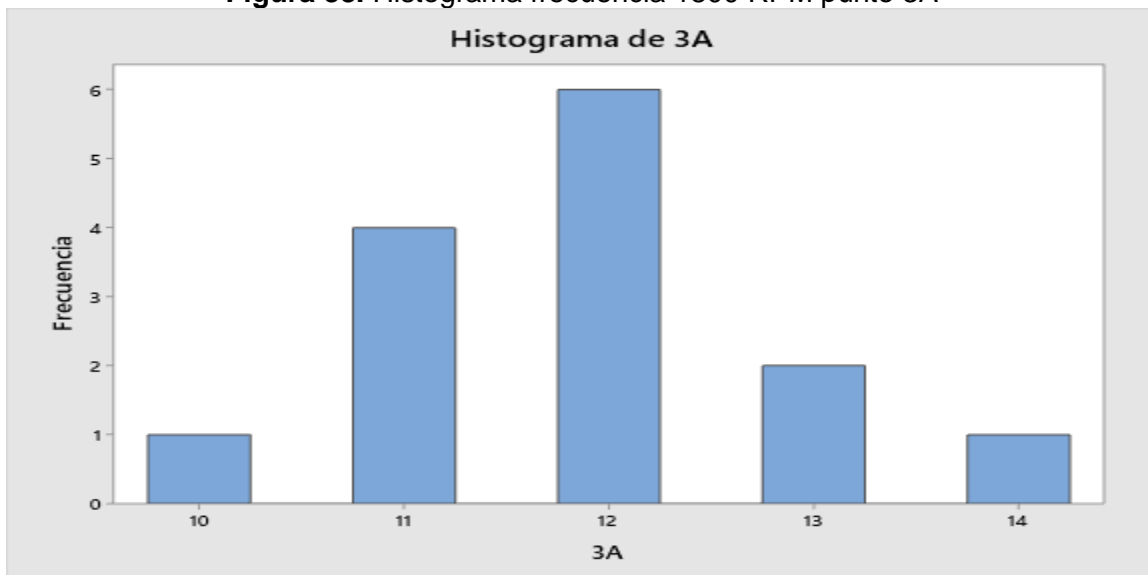
Figura 37. Histograma frecuencia 1800 RPM punto 2B



Fuente: Autores.

CONCLUSIÓN: El rango de número en el que más se encontraron mediciones para el punto 2B, fue en el valor de 13 rms.

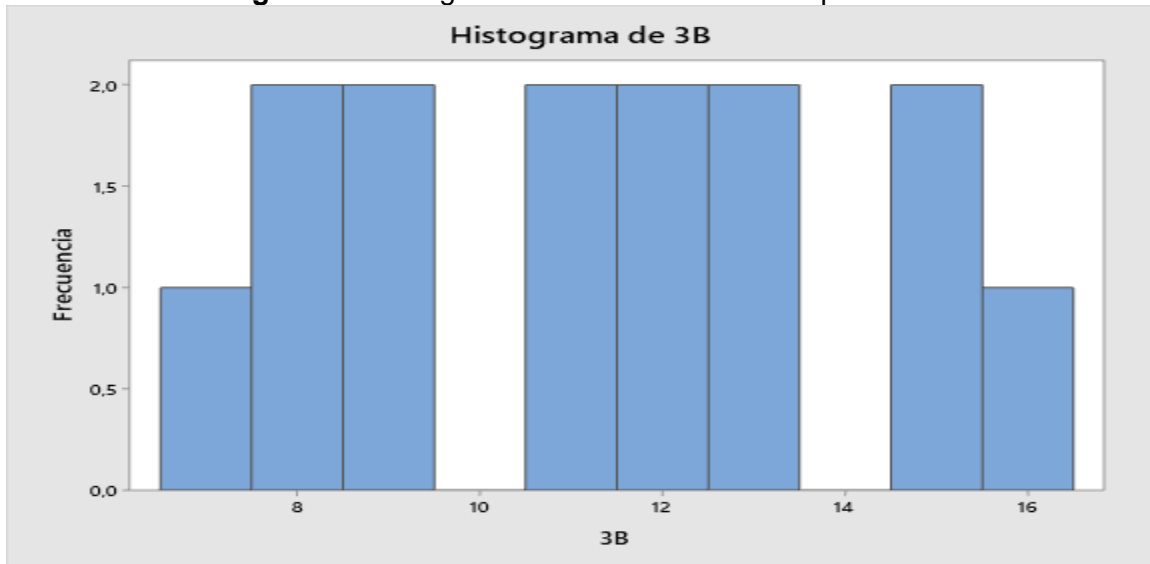
Figura 38. Histograma frecuencia 1800 RPM punto 3A



Fuente: Autores.

CONCLUSIÓN: El rango de número en el que más se encontraron mediciones para el punto 3A, fue en el valor de 12 rms.

Figura 39. Histograma frecuencia 1800 RPM punto 3B



Fuente: Autores.

CONCLUSIÓN: El rango de número en el que más se encontraron mediciones para el punto 3B, fue en los valores de 8,9,11,12,13 y 15 rms.

4.5.2. GRÁFICAS DE PROBABILIDAD AVM 1800 RPM

Las gráficas de probabilidad mostradas a continuación permiten conocer la tendencia de las mediciones presentes en cada punto y su probable continuación de comportamiento.

CONCEPTOS ESTADÍSTICOS GRÁFICAS DE PROBABILIDAD.

Media: Valor promedio mediciones

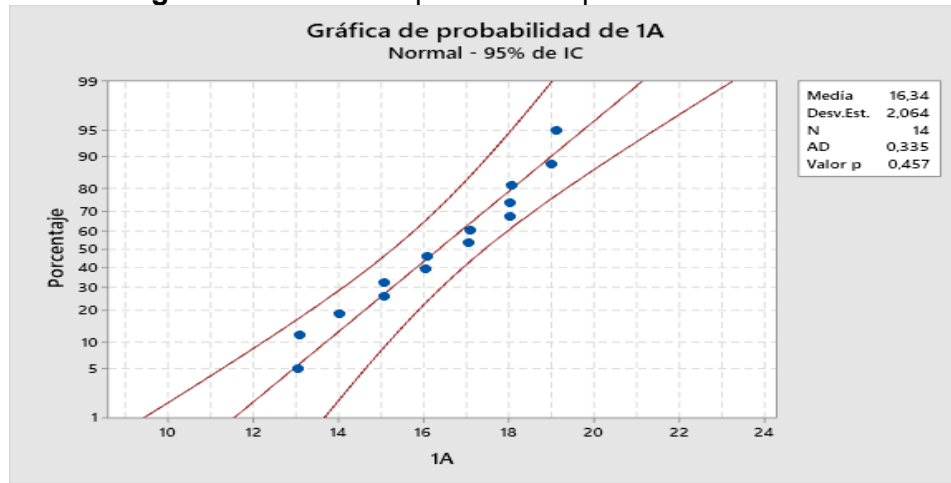
Desv. Est: Variación o dispersión de los datos obtenidos.

N: Valores presentes

AD: El estadístico de Anderson-Darling (AD) mide qué tan bien siguen los datos una distribución en particular.

Valor de P: Probabilidad correspondiente al estadístico de ser posible bajo la hipótesis nula.

Figura 40. Gráfica de probabilidad punto 1A 1800 RPM



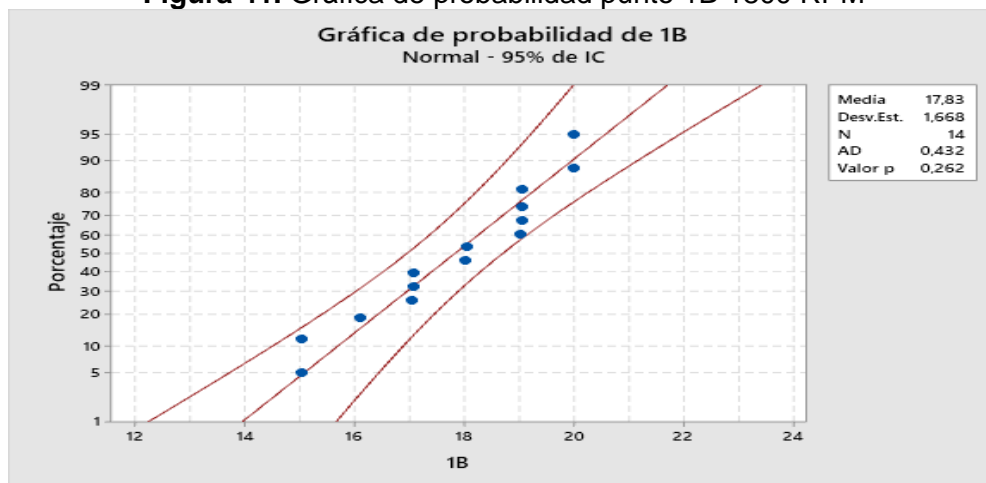
Fuente: Autores.

CONCLUSIÓN:

P-Value

El valor de p es 0.457 que es mayor a un nivel de significancia de 0.05, con lo cual no se puede concluir que los datos NO siguen una distribución normal, y los datos según la gráfica de probabilidad normal siguen la línea ajustada adecuadamente, por lo cual se podría indicar que los datos parecen ajustarse a una distribución normal.

Figura 41. Gráfica de probabilidad punto 1B 1800 RPM



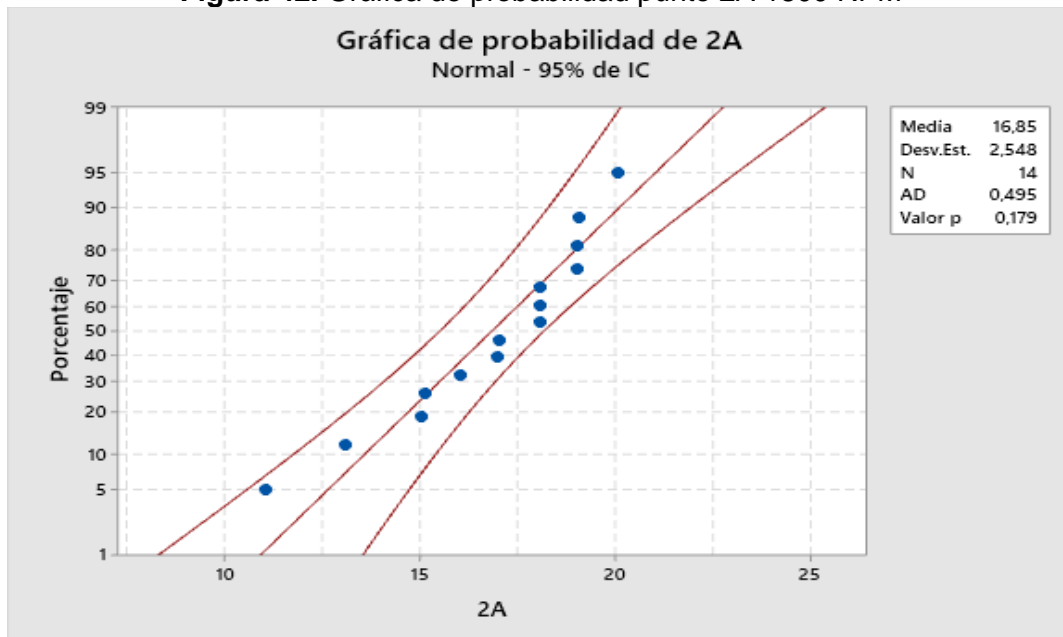
Fuente: Autores.

CONCLUSIÓN:

P-Value

El valor de p es 0.262 que es mayor a un nivel de significancia de 0.05, con lo cual no se puede concluir que los datos NO siguen una distribución normal, y los datos según la gráfica de probabilidad normal siguen la línea ajustada adecuadamente, por lo cual se podría indicar que los datos parecen ajustarse a una distribución normal.

Figura 42. Gráfica de probabilidad punto 2A 1800 RPM



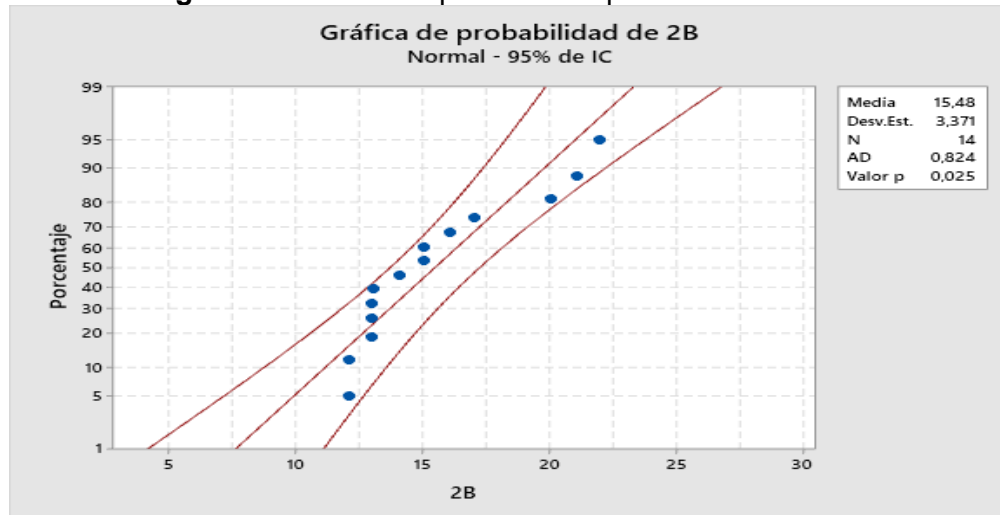
Fuente: Autores.

CONCLUSIÓN:

P-Value

El valor de p es 0.179 que es mayor a un nivel de significancia de 0.05, con lo cual no se puede concluir que los datos NO siguen una distribución normal, y los datos según la gráfica de probabilidad normal siguen la línea ajustada adecuadamente, por lo cual se podría indicar que los datos parecen ajustarse a una distribución normal.

Figura 43. Gráfica de probabilidad punto 2B 1800 RPM

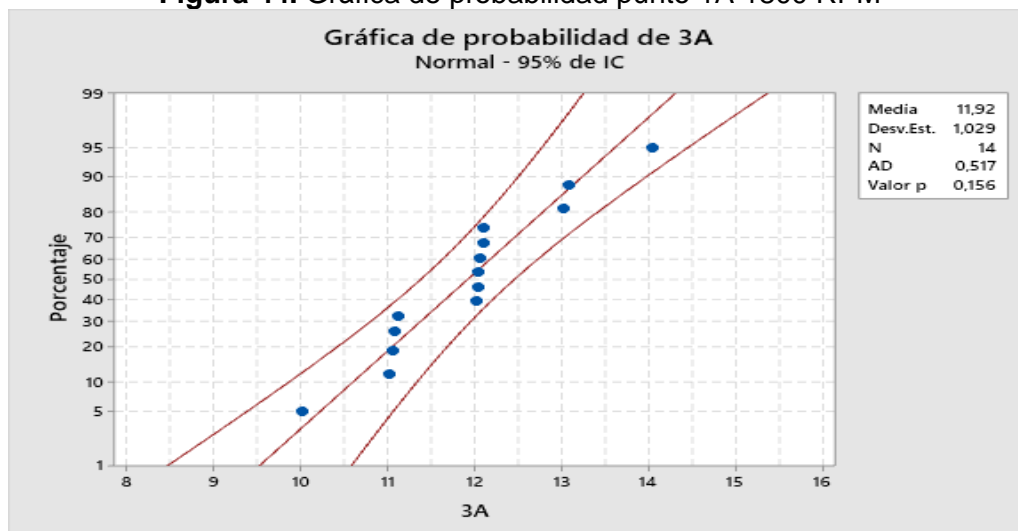


CONCLUSIÓN:

P-Value

El valor de p es 0.025 que es menor a un nivel de significancia de 0.05, con lo cual se puede concluir que los datos SI siguen una distribución normal, y los datos según la gráfica de probabilidad normal siguen la línea ajustada adecuadamente, por lo cual se podría indicar que los datos parecen ajustarse a una distribución normal.

Figura 44. Gráfica de probabilidad punto 1A 1800 RPM



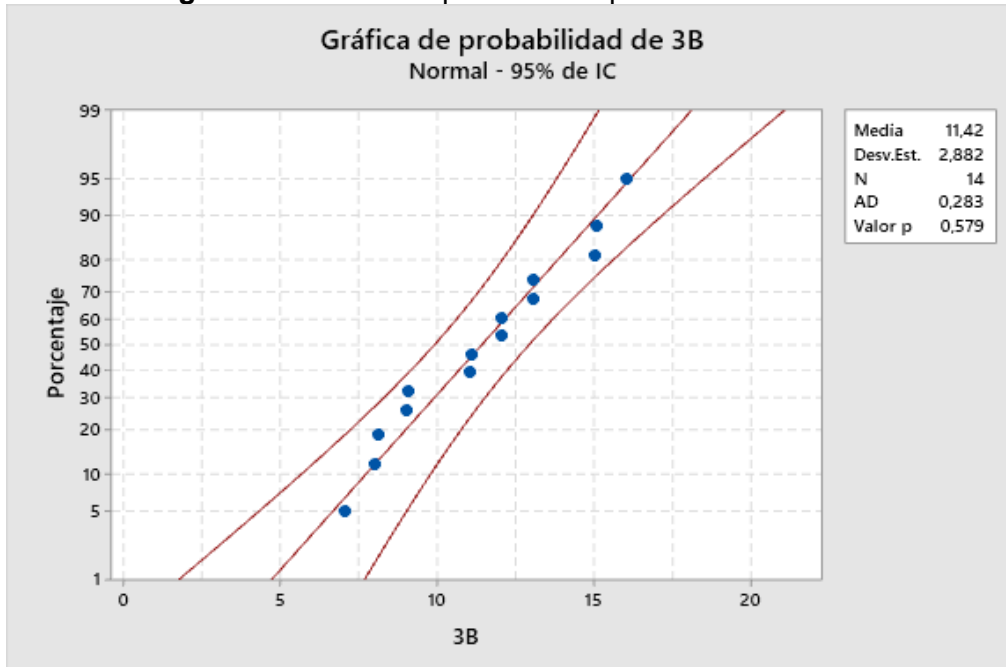
Fuente: Autores.

CONCLUSIÓN:

P-Value

El valor de p es 0.156 que es mayor a un nivel de significancia de 0.05, con lo cual no se puede concluir que los datos NO siguen una distribución normal, y los datos según la gráfica de probabilidad normal siguen la línea ajustada adecuadamente, por lo cual se podría indicar que los datos parecen ajustarse a una distribución normal.

Figura 45. Gráfica de probabilidad punto 3B 1800 RPM



Fuente: Autores.

CONCLUSIÓN:

P-Value

El valor de p es 0.579 que es mayor a un nivel de significancia de 0.05, con lo cual no se puede concluir que los datos NO siguen una distribución normal, y los datos según la gráfica de probabilidad normal siguen la línea ajustada adecuadamente, por lo cual se podría indicar que los datos parecen ajustarse a una distribución normal.

Tabla 27. Valores END AVM RMS 3600 RPM

PUNTOS DE MEDICION	MEDICION RMS (mm/s) 3600 RPM									
	1A	12.3	8.8	11.8	14.7	16.2	12.7	17.3	15.2	16.9
1B	17.1	12.8	16.2	16.7	16.9	20.3	21.5	23.8	24.1	22.40
2A	20.1	18.9	17.6	19.3	18.8	20.1	21.1	21.5	22.3	23.4
2B	19.0	18.4	14.5	23.7	19.4	16.2	17.8	23.7	20.6	20.9
3A	21.2	26.8	14.49	14.9	15.8	16.7	22.3	26.9	29.2	22.7
3B	26.4	24.8	25.8	25	23.3	24.1	27.3	25.7	27.6	27

Fuente: Autores.

La figura 46 da a conocer los datos estadísticos encontrados de acuerdo a los puntos evaluados y las mediciones tomadas

Figura 46. Datos estadísticos con respecto a la medición de vibraciones a 1800 RPM
Estadísticos descriptivos: 1A; 1B; 2A; 2B; 3A; 3B

Estadísticas

Variable	N	N*	Media	Error estándar de la media	Desv.Est.	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo
1A	10	0	13,800	0,855	2,703	8,800	12,025	13,700	16,375	17,300
1B	10	0	19,14	1,18	3,75	12,80	16,57	18,70	22,75	24,10
2A	10	0	20,310	0,560	1,772	17,600	18,875	20,100	21,700	23,400
2B	10	0	19,420	0,935	2,956	14,500	17,400	19,200	21,600	23,700
3A	10	0	21,10	1,72	5,43	14,49	15,58	21,75	26,83	29,20
3B	10	0	25,666	0,432	1,366	23,300	24,625	25,750	27,065	27,300

Fuente: Autores.

CONCEPTOS ESTADÍSTICOS FIGURA 46:

Variable: Puntos de medición

N: Numero de datos tomado por punto de medición

Media: Promedio de los datos obtenidos.

Desv. Est.: Variación o dispersión de los datos obtenidos.

Mínimo: Valor mínimo obtenido en las mediciones

Q1: (Cuartil 25%)

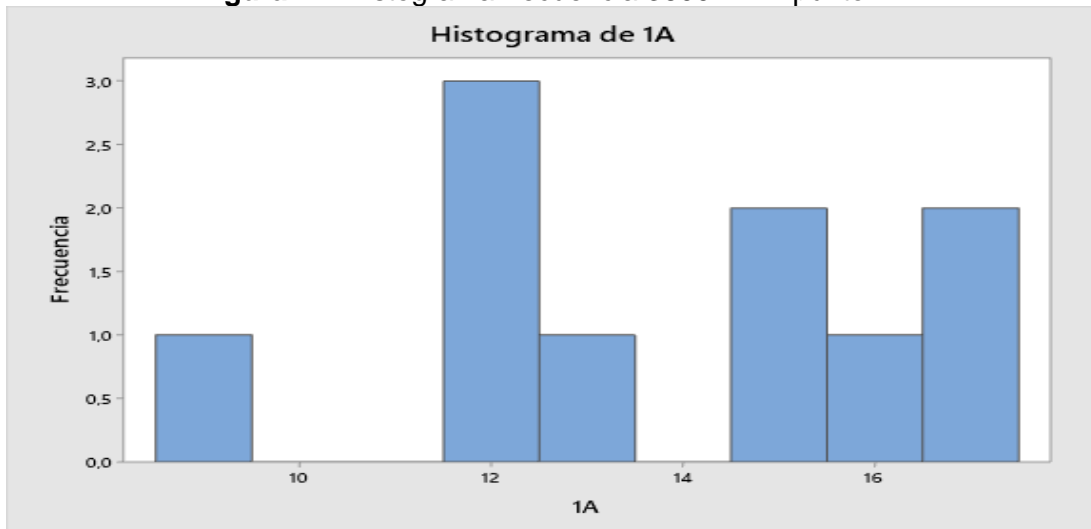
Mediana: el valor de la variable de posición central en un conjunto de datos ordenados.

Q3: (Cuartil 75%)

Máximo: Valor máximo obtenido en las mediciones

4.5.3. HISTOGRAMA DE ACUERDO AL RANGO DE MEDICIONES TOMADAS EN CADA PUNTO 3600 RPM

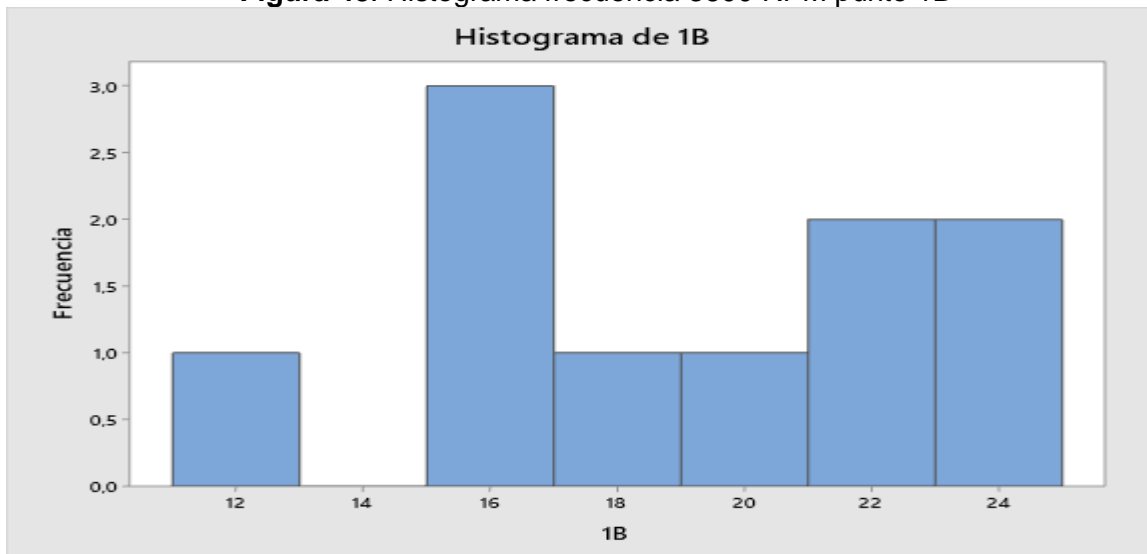
Figura 47. Histograma frecuencia 3600 RPM punto 1A



Fuente: Autores.

CONCLUSIÓN: El rango de número en el que más se encontraron mediciones para el punto 1A, fue en el valor de 12 rms.

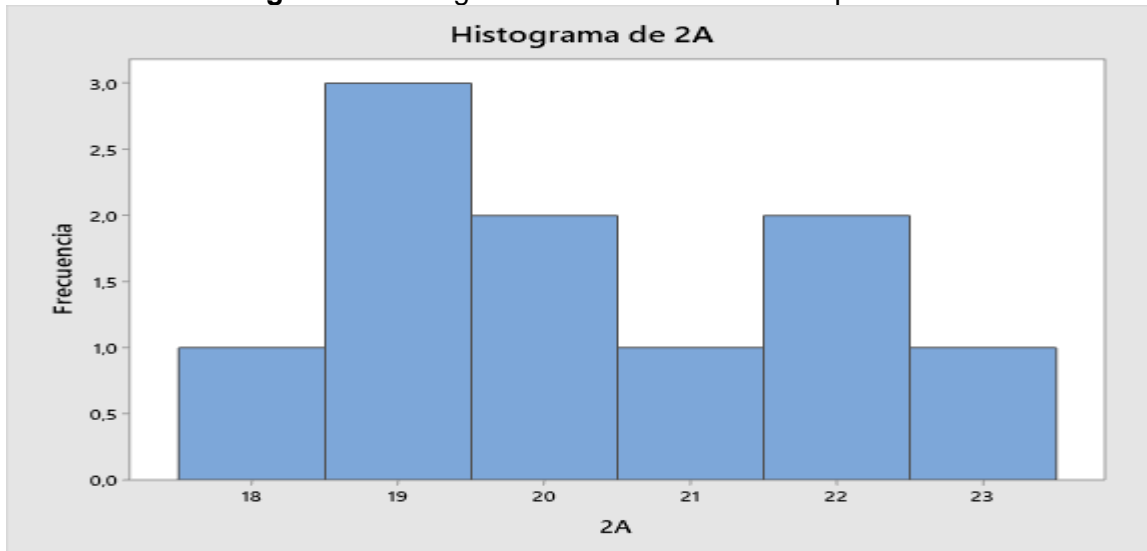
Figura 48. Histograma frecuencia 3600 RPM punto 1B



Fuente: Autores.

CONCLUSIÓN: El rango de número en el que más se encontraron mediciones para el punto 1B, fue en el valor de 16 rms.

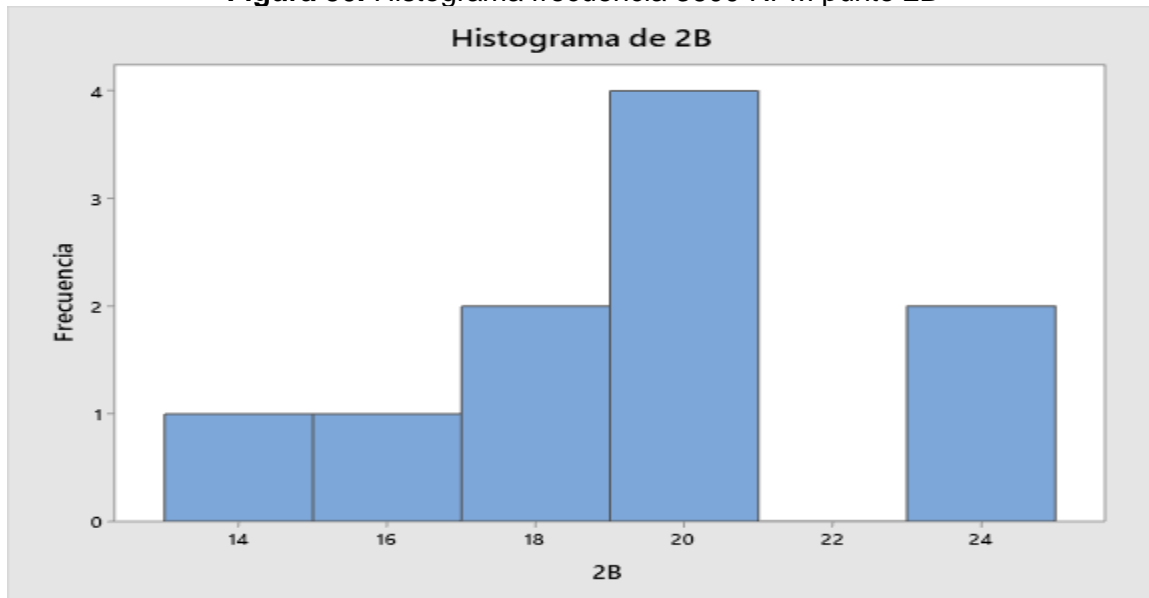
Figura 49. Histograma frecuencia 3600 RPM punto 2A



Fuente: Autores.

CONCLUSIÓN: El rango de número en el que más se encontraron mediciones para el punto 2A, fue en el valor de 19 rms.

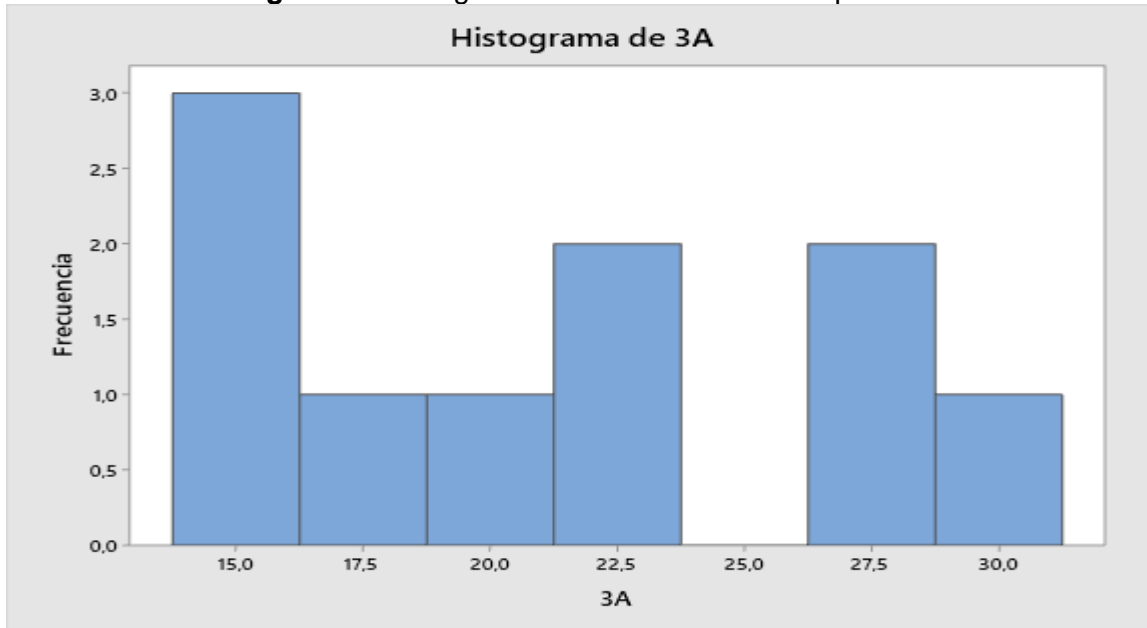
Figura 50. Histograma frecuencia 3600 RPM punto 2B



Fuente: Autores.

CONCLUSIÓN: El rango de número en el que más se encontraron mediciones para el punto 2B, fue en el valor de 20 rms.

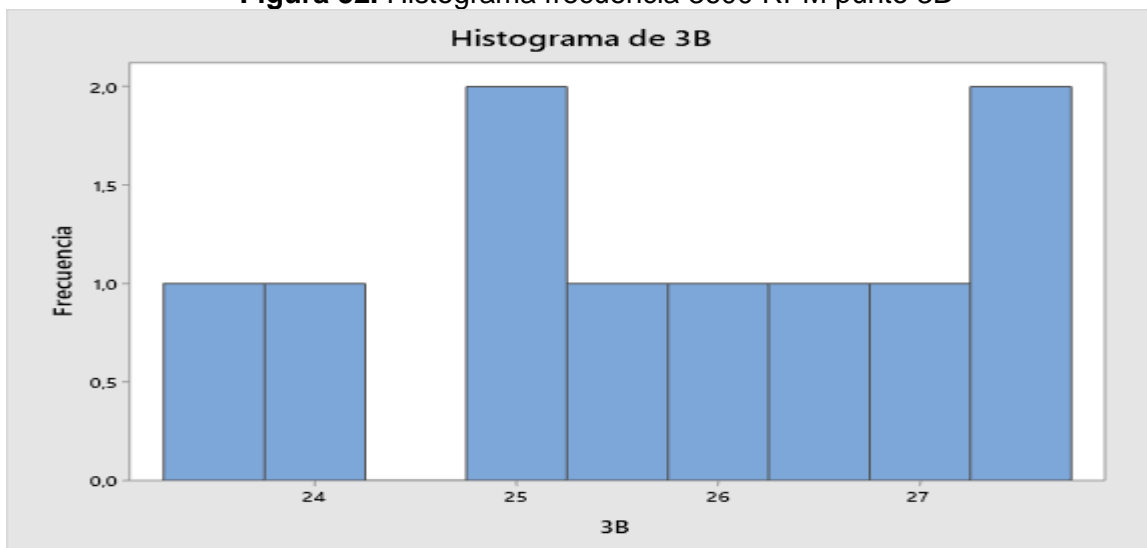
Figura 51. Histograma frecuencia 3600 RPM punto 3A



Fuente: Autores.

CONCLUSIÓN: El rango de número en el que más se encontraron mediciones para el punto 3A, fue en el valor de 15 ms.

Figura 52. Histograma frecuencia 3600 RPM punto 3B



Fuente: Autores.

CONCLUSIÓN: El rango de número en el que más se encontraron mediciones para el punto 3B, fue en el valor de 25 y 28 ms.

4.5.4. GRÁFICAS DE PROBABILIDAD AVM 3600 RPM

Las gráficas de probabilidad mostradas a continuación permiten conocer la tendencia de las mediciones presentes en cada punto y su probable continuación de comportamiento.

CONCEPTOS ESTADÍSTICOS GRÁFICAS DE PROBABILIDAD.

Media: Valor promedio mediciones

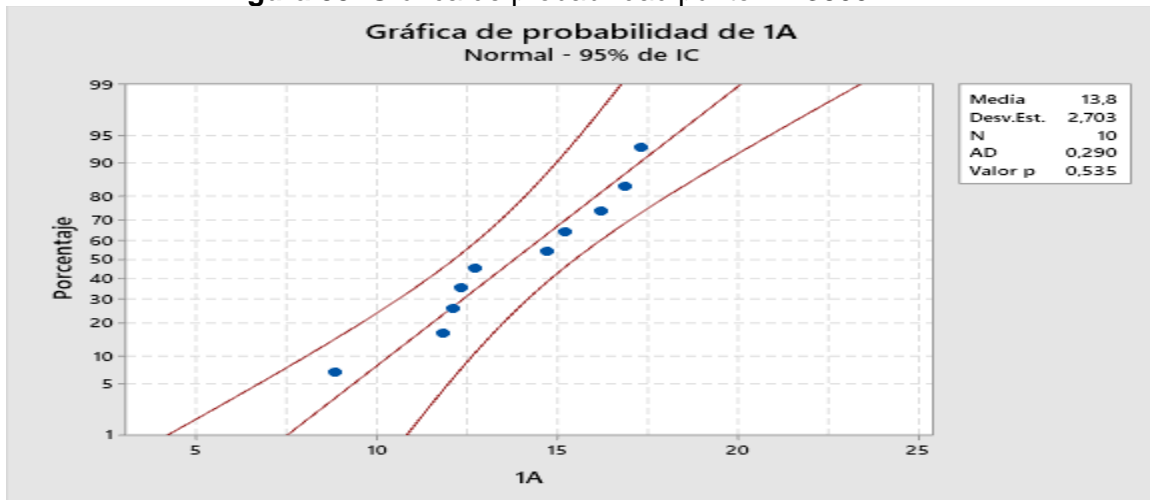
Desv. Est: Variación o dispersión de los datos obtenidos.

N: Valores presentes

AD: El estadístico de Anderson-Darling (AD) mide qué tan bien siguen los datos una distribución en particular.

Valor de P: Probabilidad correspondiente al estadístico de ser posible bajo la hipótesis nula.

Figura 53. Gráfica de probabilidad punto 1A 3600 RPM



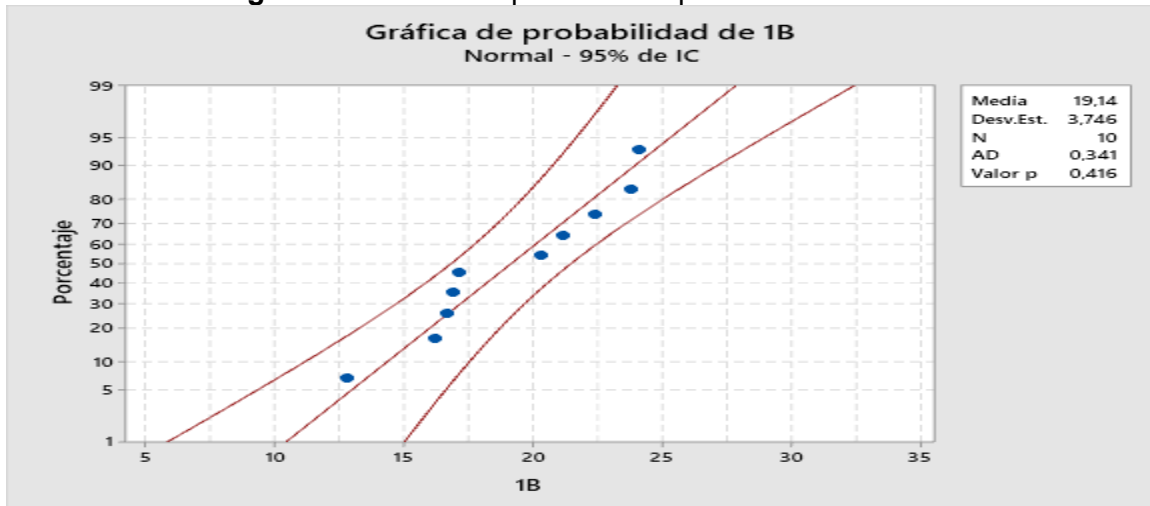
Fuente: Autores.

CONCLUSIÓN:

P-Value

El valor de p es 0.535 que es mayor a un nivel de significancia de 0.05, con lo cual no se puede concluir que los datos NO siguen una distribución normal, y los datos según la gráfica de probabilidad normal siguen la línea ajustada adecuadamente, por lo cual se podría indicar que los datos parecen ajustarse a una distribución normal.

Figura 54. Gráfica de probabilidad punto 1B 3600 RPM



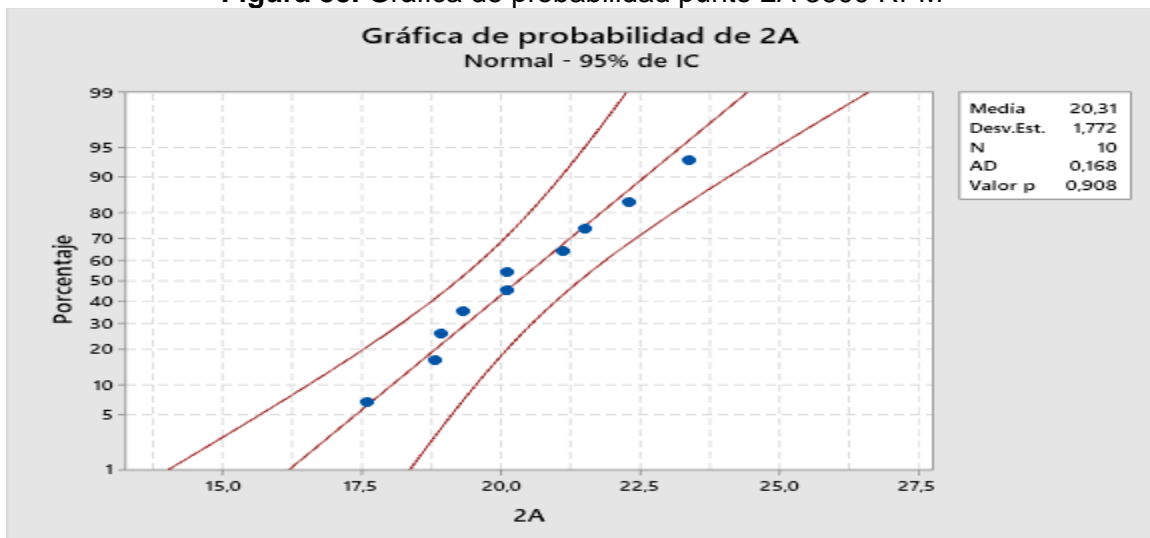
Fuente: Autores.

CONCLUSIÓN:

P-Value

El valor de p es 0.416 que es mayor a un nivel de significancia de 0.05, con lo cual no se puede concluir que los datos NO siguen una distribución normal, y los datos según la gráfica de probabilidad normal siguen la línea ajustada adecuadamente, por lo cual se podría indicar que los datos parecen ajustarse a una distribución normal.

Figura 55. Gráfica de probabilidad punto 2A 3600 RPM



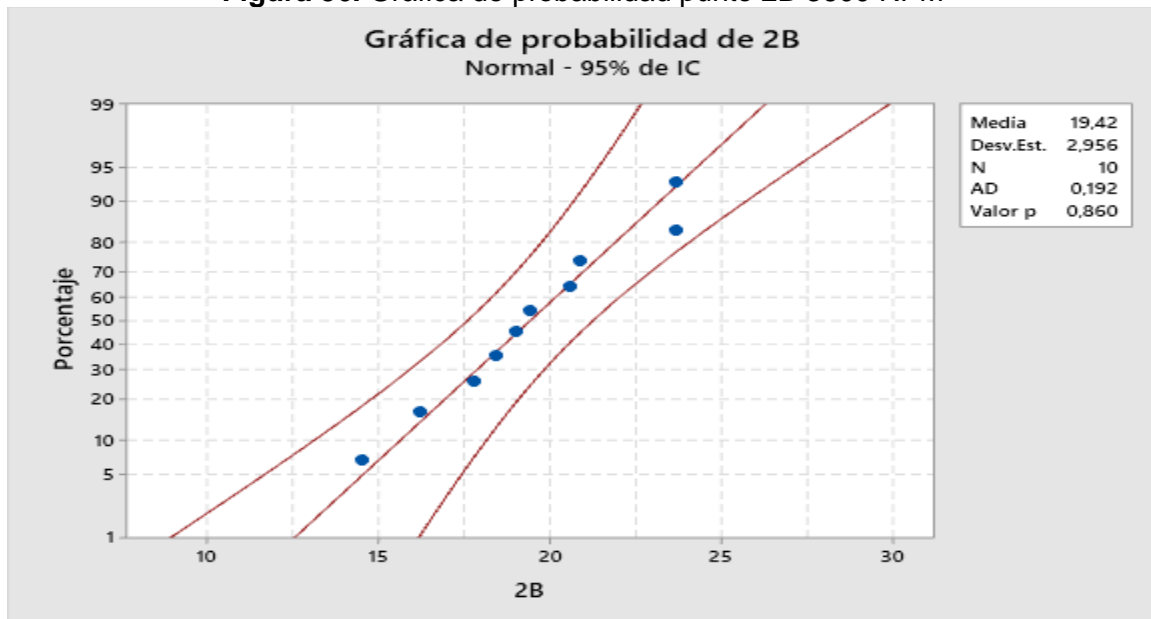
Fuente: Autores.

CONCLUSIÓN:

P-Value

El valor de p es 0.908 que es mayor a un nivel de significancia de 0.05, con lo cual no se puede concluir que los datos NO siguen una distribución normal, y los datos según la gráfica de probabilidad normal siguen la línea ajustada adecuadamente, por lo cual se podría indicar que los datos parecen ajustarse a una distribución normal.

Figura 56. Gráfica de probabilidad punto 2B 3600 RPM



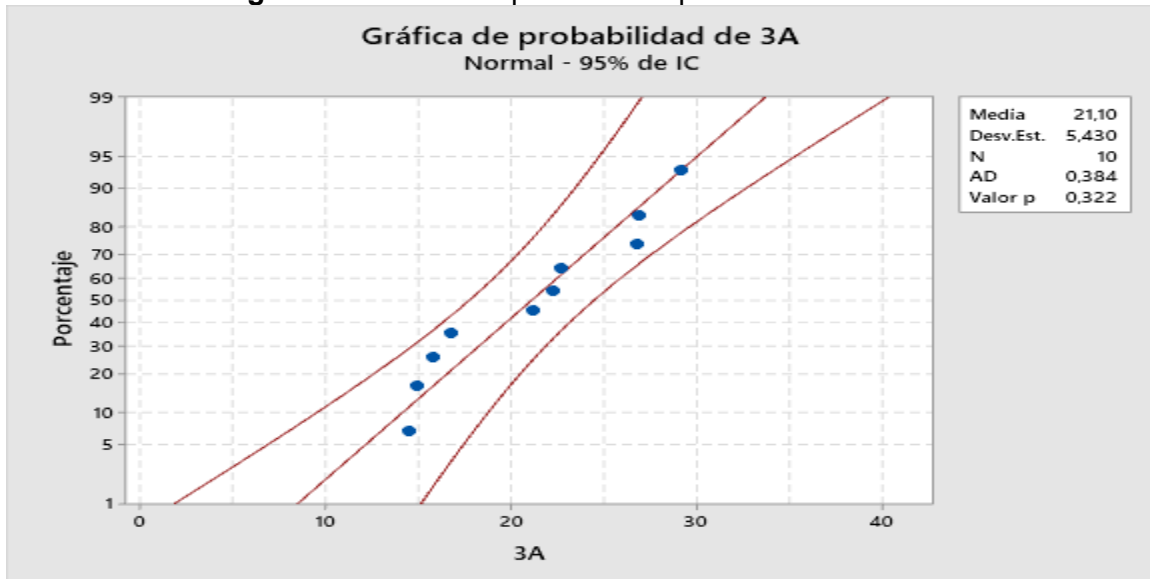
Fuente: Autores.

CONCLUSIÓN:

P-Value

El valor de p es 0.860 que es mayor a un nivel de significancia de 0.05, con lo cual no se puede concluir que los datos NO siguen una distribución normal, y los datos según la gráfica de probabilidad normal siguen la línea ajustada adecuadamente, por lo cual se podría indicar que los datos parecen ajustarse a una distribución normal.

Figura 57. Gráfica de probabilidad punto 3A 3600 RPM



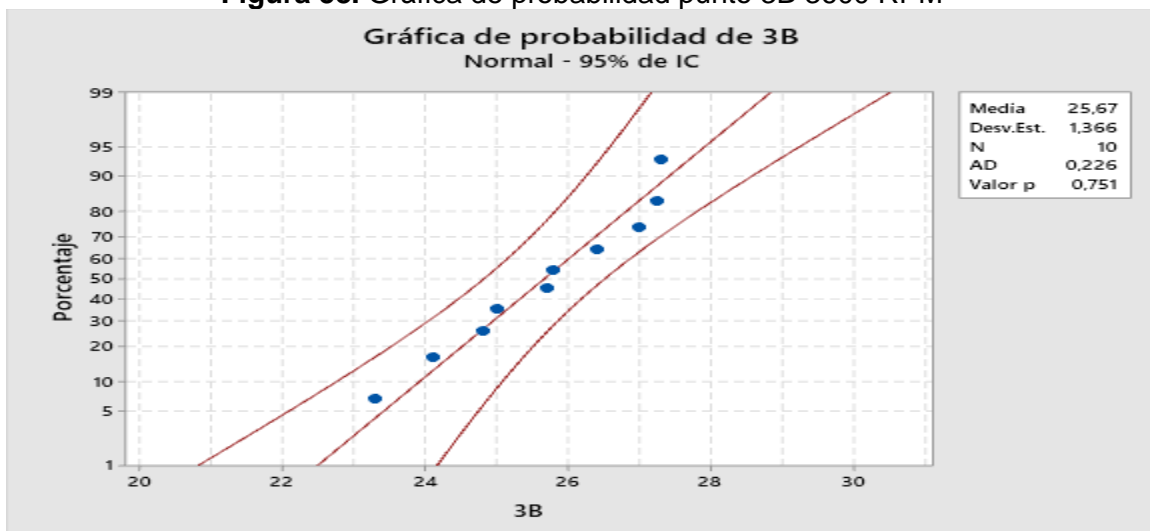
Fuente: Autores.

CONCLUSIÓN:

P-Value

El valor de p es 0.322 que es mayor a un nivel de significancia de 0.05, con lo cual no se puede concluir que los datos NO siguen una distribución normal, y los datos según la gráfica de probabilidad normal siguen la línea ajustada adecuadamente, por lo cual se podría indicar que los datos parecen ajustarse a una distribución normal.

Figura 58. Gráfica de probabilidad punto 3B 3600 RPM



Fuente: Autores.

CONCLUSIÓN:**P-Value**

El valor de p es 0.751 que es mayor a un nivel de significancia de 0.05, con lo cual no se puede concluir que los datos NO siguen una distribución normal, y los datos según la gráfica de probabilidad normal siguen la línea ajustada adecuadamente, por lo cual se podría indicar que los datos parecen ajustarse a una distribución normal.

5. CONCLUSIONES

- Mediante la aplicación de la norma AWS D1.1 Capítulo 6 sección C los tipos de defectos que fueron encontrados en las uniones de soldadura tanto en Líquidos penetrantes como en Partículas Magnéticas son poros, salpicaduras, socavaduras, sobremontas, pero también de manera notable fisuras y grietas.
- Se seleccionó la normativa respectiva para la realización de cada uno de los ensayos, basándose en recopilación de información de pruebas que fueron realizadas en condiciones similares también a una estructura de uniones soldadas como un chasis y en la que se encontró que aplicándolos podían visualizarse resultados con mayor exactitud.
- La limpieza previa a la superficie a ensayar influirá de manera importante el posterior resultado obtenido tanto en el ensayo de Líquidos Penetrantes como en Partículas Magnéticas, una limpieza que no haya sido bien realizada generará resultados erróneos y dificultad en la lectura al momento de realizar los ensayos.
- El posicionamiento del yugo magnético al momento de realizar el ensayo de partículas magnéticas con respecto a la discontinuidad que se desea evaluar es de vital importancia para obtener una buena lectura, así mismo que no se presente ningún tipo de humedad cerca de la estructura donde se realizaran los ensayos.
- Las vibraciones mecánicas superan los niveles estipulados de vibración permitidos por la norma ISO 2372, generando así que sean inaceptables por el riesgo que representan de daños como la desunión de los puntos de soldadura por los altos valores obtenidos en las mediciones poniendo en riesgo a la persona que lo conduzca.

6. RECOMENDACIONES

- Para la realización de los Ensayos No Destructivos de Líquidos Penetrantes y Partículas Magnéticas el rango de temperatura para su realización es de entre 15°C y 40°C, pero para mejor desarrollo de los mismos se recomienda que se realicen en un ambiente que no exceda la temperatura de 22°C.
- Respetar la distancia de mínimo 30 centímetros en el momento de aplicar el líquido penetrante, para evitar concentración excesiva en la soldadura que dificultarán la visualización de la discontinuidad y desperdicio del tinte.
- Conectar el yugo magnético a la toma de corriente eléctrica únicamente en el momento en el que vaya a realizarse el Ensayo de Partículas Magnéticas, y no permitir el manejo de personas ajenas del mismo pues puede producirse una descarga eléctrica por mala manipulación.
- La limpieza de pintura en las uniones soldadas deberá realizarse tanto con grata como con tiner buscando limpiar por completo cada una de los nodos de manera completa.
- Tener presente el uso del equipo de seguridad (tapabocas, guantes, gafas) al momento de aplicar cualquiera de los tintes (limpiador, penetrante, solvente) debido a que poseen composiciones químicas fuertes que pueden afectar al organismo.
- Es importante tener en cuenta el material que posee la superficie en la que se realizarán los ensayos ya que los tiempos en cada ensayo pueden variar dependiendo del tipo de material de la estructura.
- Cualquiera de los tintes que sea aplicado debe hacerse en forma de barrido y no concentrado en un solo punto.

- Para el análisis de vibraciones deben escogerse puntos de la estructura de los chasis cercanos al lugar donde esté ubicado el motor para realizar las mediciones.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

8. Bibliografía

- Amazon*. (27 de Septiembre de 2019). Obtenido de <https://www.amazon.es/inteligente-Analizador-aceleraci%C3%B3n-desplazamiento-maquinaria/dp/B07YGKZY7T>
- Bien, V. m. (29 de noviembre de 2018). Obtenido de Mide Bien: <https://midebien.com/ques-una-prueba-de-vibracion-y-que-equipos-se-requieren-para-llevarla-a-cabo/>
- Cybertesis. (s.f.). http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/2098/1/quiros_re.pdf.
- FERREPRO. (7 de Septiembre de 2016). *FERREPRO La Industria Metal-Mecánica*. Obtenido de <http://ferrepro.mx/control-de-calidad-inspecciones-con-ensayos-no-destructivos-end/>
- Garay, J. (2016). *Taller J.BORDAGARAY*. Obtenido de <https://www.tallerjbordagaray.com/#contacto>
- Holley, I. L. (1880). *ociedad Americana de Ingenieros Mecánicos*. www.asme.org.
- innova, I. (2019). *Division logistica*. Obtenido de <http://web.itainnova.es/elogistica/instalaciones-laboratorios/laboratorio-de-transporte/mesa-de-vibracion-multi-axial-mast/>
- IPERCAL*. (s.f.). Obtenido de <http://iperca.com.pe/inspeccion/>
- ipunto. (29 de Febrero de 2016). *ipunto ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS*. Obtenido de <http://ipend.es/importancia-de-los-ensayos-no-destructivos>
- MAGNAFLUX. (s.f.). *MAGNAFLUX.COM*. Obtenido de <https://magnaflux.mx/Productos/Inspeccion-por-Particulas-Magneticas/Equipo/Y-7.htm>
- metalografia. (29 de enero de 2015). *universidad de pereira*. Obtenido de <http://blog.utp.edu.co/metalografia/12-7-bibliografia/>
- METFUSION*. (10 de Agosto de 2013). Obtenido de <https://metfusion.wordpress.com/2013/08/10/imperfecciones-en-soldadura-tipos-de-discontinuidades/>
- montañez, C. (Domingo de Septiembre de 2012). *Sena Blogs ensayo liquidos penetrantes*. Obtenido de http://ensayoliquidospentrantes.blogspot.com/2012/09/ensayo-no-destructivo-por-tintas_23.html#ppiotcnicalp
- SERPROIMEC*. (2017). Obtenido de <http://serproimec.com/e-n-d/>
- Urbina, S. R. (20 de 11 de 2016). *Técnica de partículas magnéticas: caso del laboratorio del CAMAN*. Obtenido de <https://www.publicacionesfac.com/index.php/cienciaypoderaereo/article/view/435/612>
- Verdú, J. M. (28 de Mayo de 2014). *SlideShare*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/balzasbravas/diapositivas-apuntes-cuestiones-de-ensayos-no-destructivos>
- villarejo, P. S. (4 de marzo de 2019). *Ok Diario*. Obtenido de <https://okdiario.com/ciencia/que-campo-magnetico-2611513>
- Ycaza, X. (10 de Agosto de 2013). *METFUSION*. Obtenido de <https://metfusion.wordpress.com/2013/08/10/defectos-en-la-soldadura-causas-y-soluciones/>

9. ANEXOS

Anexo A. Norma ASTM 165-95

Anexo B. Norma ASTM E1417-99

Anexo C. Norma ASTM E 709-95

Anexo D. Ficha técnica Yugo Parker DA-400 Contour Probe

Anexo E. Norma E 1876-01

Anexo F. Ficha técnica Vibrometro AR63B

Anexo G. Norma AWS D1.1 Sección 6 Parte C

Anexo A. Norma ASTM 165-5



Denominación: E 165 – 95

Norma nacional americana

Método de prueba estándar para el examen de líquido penetrante¹

El presente estándar está publicado bajo la denominación fija E 165; el número que sigue inmediatamente a dicha denominación indica el año de adopción original o, en el caso de revisión, el año de la última revisión. Un número entre paréntesis indica el año de la última reaprobación. El superíndice épsilon (ϵ) indica un cambio editorial desde la última revisión o reaprobación.

1. Objetivo

1.1 El presente método² abarca procedimientos para la examinación penetrante de materiales. Existen métodos de prueba no destructivos para detectar discontinuidades que se abren en las superficies como grietas, vetas, tumultos, cierres fríos, laminaciones, goteos directos o falta de fusión y son aplicables a lo largo del proceso, al final y el examen de mantenimiento. Se pueden usar efectivamente en la examinación de materiales no porosos, metálicos, ferrosos y no ferrosos, no metálicos como cerámicas barnizadas o plenamente densificadas, ciertos plásticos no porosos y vidrio.

1.2 Este método también proporciona una referencia:

1.2.1 Por la cual un proceso de examinación de líquido penetrante, recomendado o requerido por organizaciones individuales, puede revisarse para determinar su aplicabilidad y qué tan completo es.

1.2.2 Para el uso en la preparación de especificaciones de proceso relacionadas con la examinación de líquido penetrante de materiales y partes. Se recomienda indudablemente el acuerdo entre el usuario y el proveedor con respecto a las técnicas específicas.

1.2.3 Para el uso en la organización de los medios y el personal de la examinación de líquido penetrante.

1.3 Este método de prueba no indica ni sugiere criterios de evaluación de las indicaciones obtenidas. Debe señalarse, sin embargo, que una vez que se hayan producido las indicaciones, tiene que interpretarse o clasificarse y después sí evaluarse. Para lograrlo, se necesitaría o un código o especificación separados, o bien, un acuerdo para definir el tipo, el tamaño, la ubicación y la dirección de indicaciones consideradas como aceptables y aquellas consideradas como inaceptables.

1.4 Los valores determinados en unidades de pulgada-libra se considerarán el estándar. Las unidades del SI se tendrán solo como información

1.5 Este estándar no pretende direccionar todo lo concerniente a la seguridad, si acaso, se asocia con su uso. Es responsabilidad del usuario de la norma establecer la apropiada seguridad y las prácticas de salud así como determinar la aplicabilidad de las limitaciones reglamentarias antes de usarla. Para declaraciones de riesgo específicas, ver las notas 5, 12 y 20.

¹ Este método de prueba se encuentra bajo la jurisdicción del Comité E-7 ASTM para Ensayos no Destructivos y es responsabilidad directa del Subcomité E07.03 para Métodos de Líquido Penetrante y Partícula Magnética. Edición actual aprobada el 15 de enero de 1995. Publicado en marzo de 1995. Publicado originalmente como E165-60 T. Última edición previa E165-94

² Para las aplicaciones del Código ASMN de Calderas y Vasijas a Presión ver el Método de Prueba Recomendado SE-165 relacionado en el Código.

2. Documentos referenciados

2.1 Estándares ASTM:

Método de prueba D 129 para sulfuro en productos de petróleo (método de bomba general)³

Método de prueba D 516 para sulfato de hierro en agua⁴

Método de prueba D 808 para cloro en productos de petróleo nuevo y usado (método de bomba)⁵

Especificación D 1193 para el agua del reactivo⁶

Método de prueba D 1552 para sulfuro en productos de petróleo (método de alta temperatura)³

Método de prueba D 4327 para aniones en agua por cromatografía de hierro suprimido químicamente⁷

Fotografías de referencia E 433 para inspección de líquido penetrante²

Práctica E 543 para evaluar organizaciones que realizan ensayos no destructivos²

Método de prueba E 1208 para examinación de líquido penetrante fluorescente usando el proceso posemulsificación lipofílica²

Método de prueba E 1209 para examinación de líquido penetrante fluorescente usando el proceso lavable con agua²

Método de prueba E 1210 para examinación de líquido penetrante fluorescente usando el proceso posemulsificación hidrófila²

Método de prueba E 1219 para examinación de líquido penetrante fluorescente usando el proceso de solvente removedor²

Método de prueba E 1220 para la examinación penetrante visible usando el proceso de solvente removible²

Terminología E 1316 para ensayos no destructivos²

Método de prueba E 1418 para la examinación penetrante visible usando el proceso de agua lavable²

2.2 Documento ASNT:

Práctica recomendada SNT-TC-1A para calificación y certificación de personal de ensayos no destructivos²

2.3 Estándar militar:

Calificación y certificación de personal de ensayos no destructivos MIL-STD-410²

³ Libro anual de Estándares ASTM, vol. 05.01.

⁴ Libro anual de Estándares ASTM, vol. 11.01.

⁵ Libro anual de Estándares ASTM, vol. 03.03.

⁶ Disponible en la Sociedad Americana para ensayos no destructivos, Ruta Airlingate, Columbus, OH 43228-0518

⁷ Disponible en Standardization Documents Order Desk, Bldg. 4 Sección D, 700 Avenida Robbins, Filadelfia, PA 19111-5094, Atm: NPODS.



2.4 Estándar APHA:

Método 429 para la examinación de agua y residuos de agua¹

3. Terminología

3.1 Las definiciones relacionadas con la examinación penetrante de líquido, que aparece también en la terminología E1316, pueden aplicarse a los términos usados en el presente estándar.

4. Resumen del método de examinación

4.1 Un líquido penetrante, que puede ser un material visible o fluorescente se aplica uniformemente sobre la superficie a examinar y que permite entrar en discontinuidades abiertas. Después de un tiempo prolongado adecuado, se remueve el exceso de penetrante de la superficie. Un revelador se aplica para bosquejar el penetrante atrapado fuera de la discontinuidad y determinar así el revelador. La superficie examinada luego se examina para determinar la presencia o ausencia de indicaciones.

NOTA 1— Se puede omitir por acuerdo entre el comprador y el proveedor.

NOTA 2—Precaución: La examinación de penetrante fluorescente no debe seguir una examinación penetrante visible a no ser que el procedimiento haya sido calificada de acuerdo con 10.2 ya que la tinta visible puede causar deterioro u opacidad de la tinta fluorescente.

4.2 Los parámetros de proceso, tales como prelavado de superficie, tiempo de penetración y métodos de remoción de exceso de penetrante se determinan a través de los materiales específicos usados, la naturaleza de la pieza expuesta a examinación (tamaño, forma, condición de la superficie, aleación) y el tipo de discontinuidades esperadas.

5. Significancia y uso

5.1 Los métodos de examinación de líquido penetrante indican la presencia, ubicación y, para una extensión delimitada, la naturaleza y magnitud de las discontinuidades detectadas. Cada uno de los métodos se ha designado para usos específicos, tales como los ítems de servicio crítico, el volumen de las piezas, la portabilidad o áreas localizadas de examinación. El método seleccionado dependerá de los requerimientos del servicio.

6. Clasificación de penetraciones y métodos

6.1 Los métodos de examinación de penetrantes y sus tipos se clasifican como aparecen en la tabla 1.

6.2 La examinación de penetrante fluorescente utiliza penetrantes que brillan fuertemente cuando son estimulados por luz negra (ver 8.9.1.2). La sensibilidad de los penetrantes fluorescentes depende de sus habilidades para mantenerse en discontinuidades de diferentes tamaños durante el proceso, luego, de la capacidad de salir del cubrimiento del revelador y de producir indicaciones que brillarán. Las indicaciones fluorescentes muchas veces son más brillantes que su entorno cuando se ven a través de iluminación por luz negra.

6.3 La examinación penetrante visible usa un penetrante que puede verse con luz visible. Dicho penetrante generalmente es rojo, de mancha que las indicaciones producen un contraste definitivo con el fondo blanco del revelador. El proceso de penetrante visible no requiere el uso de luz negra; sin embargo, las indicaciones de este tipo de penetrante pueden verse con una adecuada luz blanca (ver 8.9.2.1).

¹ Disponible en la Asociación de Salud Pública Americana, Oficina de publicación, decimoquinta calle 1015, NW, Washington DC 20005

TABLA 1 Clasificación de tipos y métodos de examinación penetrante

Tipo I – Examinación penetrante fluorescente
Método A – Lavable con agua (ver método de examinación E 1209)
Método B – Posemulsificable, lipofílico (ver método de examinación E 1208)
Método C – Removible con solvente (ver método de examinación E 1219)
Método D – Posemulsificable, hidrófilo (ver método de examinación E 1210)
Tipo II – Examinación penetrante visible
Método A – Lavable con agua (ver método de examinación E 1418)
Método C – Removible con solvente (ver método de examinación E 1220)

7. Tipos de materiales

7.1 Los materiales para examinación penetrante de líquido (ver notas 3-5) consisten en penetrantes fluorescentes y visibles, emulsificantes de base de aceite y de agua; de acción rápida y lenta), removedores solventes y reveladores. Una familia de materiales para la examinación penetrante de líquido consiste en el penetrante aplicable y el emulsificante o removedor, como lo recomienda el manufacturero. No se recomienda la mezcla de materiales de diferentes manufactureros.

NOTA 3— Consultar 9.1 para requerimientos especiales de contenidos de sulfuro, halógenos y metales alcalinos.

NOTA 4— Precaución: Mientras los materiales penetrantes aprobados no afecten adversamente los materiales metálicos comunes, algunos plásticos o cauchos se pueden inflar o manchar con ciertos penetrantes.

NOTA 5— Advertencia: Estos materiales pueden ser inflamables o emitir vapores peligrosos y tóxicos. Se debe tener en cuenta todas las instrucciones y precauciones del manufacturero.

7.2 Penetrantes:

7.2.1 Los penetrantes posemulsificables están hechos para ser insolubles en agua y no se pueden remover con solo agua. Están hechos para removerse de la superficie usando un emulsificador aparte. El emulsificador, debidamente aplicado y con un tiempo apropiado de emulsificación, se combina con el exceso de penetrante en la superficie para formar una mezcla que se puede enjuagar con agua, quitándose de la superficie y dejándola limpia de restos fluorescentes. Un tiempo apropiado de emulsificación se puede establecer experimentalmente y evitar la sobremulsificación, disminuyendo el número de indicaciones.

7.2.2 Los penetrantes lavables con agua están hechos para removerse de la pieza examinada de una superficie directamente con agua, después de un tiempo apropiado de aplicación. Debido a que el emulsificante es un penetrante lavable con agua "adaptado", es extremadamente importante realizar un control de proceso apropiado al remover los excesos de penetrantes en las superficies para evitar un sobrecabundante lavado. Este tipo de penetrantes se pueden lavar fuera de las discontinuidades si el paso del enjuague es muy largo o muy fuerte. Algunos penetrantes son menos resistentes para sobreclarar que otros.

7.2.3 Los penetrantes removibles con solvente están hechos de mancha que los excesos de penetrante en una superficie puedan removerse a través de una limpieza hasta que la mayoría de penetrante se haya removido. Los rastros remanentes se pueden remover con solvente (ver 8.6.4.1). Para minimizar la eliminación de penetrante de las discontinuidades, se debe vigilar para evitar el uso excesivo de solvente. Está prohibido atacar la superficie con solvente para remover el exceso de penetrante.

7.3 Emulsificantes:

7.3.1 Los emulsificantes lipofílicos son líquidos absorbentes de grasas usados para emulsificar el exceso de penetrantes aceitosos



en la superficie de la, dejándola fácil de lavar. La tasa de difusión establece el tiempo de emulsificación. Hay unos de rápido y, otros, de efecto lento, dependiendo de su viscosidad y composición química, así como las asperezas del área a examinar (ver 8.6.2).

7.3.2 *Los emulsificantes hidrófilos* son líquidos absorbentes de agua usados para emulsificar el exceso de penetrantes fluorescentes aceitosos en la superficie de la pieza, dejándola fácil de lavar (ver 8.6.3). Son a base de agua (removedores tipo detergente) y se utilizan como concentrados para diluirse con agua y usarse en chorro o spray. Para la concentración, uso y mantenimiento se tendrán en cuenta las recomendaciones del fabricante.

7.3.2.1 Los emulsificantes hidrófilos desplazan películas de penetrante excesivas de la superficie por medio de la acción del detergente. La fuerza del spray, de la agitación mecánica o por aire del agua en un tanque de chorro abierto da una acción de restregue mientras el detergente remueve la película de penetrante de la superficie. El tiempo de emulsificación variará dependiendo de la concentración, que puede monitorearse con el uso preciso de un refractómetro.

7.4 *Los removedores solventes* funcionan con la disolución del penetrante, posibilitando dejar la superficie limpia y sin excesos de penetrante como se ha descrito.

7.5 *Reveladores* — La revelación de las indicaciones de penetrante es el proceso mediante el cual el penetrante se saca de discontinuidades abiertas por la acción del secado del revelador aplicado, de forma que aumente la visibilidad de las indicaciones.

7.5.1 *Los reveladores de polvo seco* se usan como suplemento (esto es, polvo que no se endurece ni fluye) de acuerdo con el numeral 8.8.2. Se debe tener cuidado para no contaminar el revelador con penetrante fluorescente y manchas de este que pueden aparecer como indicaciones.

7.5.2 *Los reveladores acuosos* se suministran normalmente como partículas de polvo seco tanto para los suspendidos como los disueltos (solubles) en agua. La concentración, el uso y el mantenimiento se harán de acuerdo con las recomendaciones del fabricante (ver 8.8.3).

NOTA 6—**Precaución:** Los reveladores acuosos pueden causar la invalidación de indicaciones si no se aplican ni controlan adecuadamente. El procedimiento se calificará de acuerdo con el numeral 10.2.

7.5.3 *Los reveladores húmedos no acuosos* se suministran como suspensiones de partículas de revelador en un portador solvente no acuoso listo para su uso como suplemento. Estos reveladores forman un revestimiento en la superficie de la pieza cuando está seca, que sirve como medio revelador (ver 8.8.4).

NOTA 7—**Precaución:** Este revelador debe aplicarse solo en spray.

7.5.4 *Los reveladores de película líquida* son soluciones o suspensiones coloidales de resinas o polímeros en un portador adecuado. Estos reveladores forman un revestimiento transparente o translúcido en la superficie de la pieza. Algunos de estos reveladores pueden quitarse y tenerse como muestra (ver 8.8.5).

8. Procedimiento

8.1 Las siguientes pautas del proceso general aplican (ver figs. 1-3) para métodos de examinación de penetrantes visibles y fluorescentes (ver fig. 4).

8.2 *Límites de temperatura* — La temperatura de los materiales

penetrantes y de la superficie de la pieza para ser procesados debe oscilar entre los 50 y 100°F (10 y 38°C). Cuando no sea práctico cumplir con dicho rango de temperatura, califíquese el procedimiento como se describe en 10.2 a temperatura reglamentaria y como esté acordado por las partes contractuales.

8.3 *Condiciones de superficie previas a la examinación de penetrante*— Los resultados satisfactorios usualmente se obtienen en superficies soldadas, revestidas, fundidas, forjadas (o cerámicas en condiciones densificadas). Los penetrantes sensibles se enjuagan generalmente con menos facilidad y por lo tanto son menos adecuados para superficies rugosas. Solo cuando haya residuos sueltos en la superficie, podrán removerse con un limpiador de hilachas de ropa. Sin embargo, el prelavado de metales para remover los residuos de proceso, como aceites, grafito, cal, materiales aislados, coberuras, entre otros, podrá hacerse para limpiar solventes, degradar vapor o en procesos de remoción química. Después de condicionar las superficies moliendo, mecanizando, puliendo o grabando se usará un lavado por disparo, arena, arenisca o inyección de vapor para remover la cobertura sobrante y cuando el atrapado de penetrante en las irregularidades de la superficie puedan enmascarar las indicaciones de discontinuidades inaceptables o bien, interfieran en la efectividad de la examinación. En caso de metales sin especificaciones, se usará el grabado cuando exista evidencia de que una limpieza previa, tratamientos de superficies o un uso de un servicio han producido una condición en la superficie que degrade la efectividad de la examinación de penetrante (ver A.1.1.1.8 para precauciones.)

NOTA 8— Cuando el comprador y el proveedor acuerden el lavado con arena a presión sin el consecuente grabado, se aceptará un método de limpieza.

NOTA 9— **Precaución:** El lavado por arena o disparo que posiblemente pueda cerrar discontinuidades y extremar el cuidado se puede usar sin operaciones de grabado o de maquinaria para evitar discontinuidades de enmascaramiento.

NOTA 10— En cerámicas estructurales o electrónicas, no se recomienda la preparación de la superficie por molida, lavado con arena y grabado para la examinación de penetrante debido a su potencial de daño

8.4 Remoción de contaminantes en superficie

8.4.1 *Prelavado*— El éxito de cualquier procedimiento de examinación de penetrante depende en gran medida de la superficie circundante y de que la discontinuidad esté sin contaminantes (sólidos o líquidos) que interfieran en el proceso de penetración. Todas las piezas o áreas a examinar se deben limpiar y secar antes de aplicarse el penetrante. Si solo falta una pieza o una sección, como una soldadura, incluyendo la zona afectada térmicamente, todos los contaminantes se removerán de dicha área como está definido por las partes contratantes. "Limpiar" sirve para que la superficie no tenga óxido, tumultos, fluidos o salpicaduras sedimentados, grasa, pintura, películas aceitosas, y otros, que puedan interferir en el proceso de penetración. Cada contaminante puede bloquear la entrada del penetrante a las discontinuidades (ver anexo sobre limpieza de piezas y materiales).

NOTA 11— **Precaución:** Los residuos de los procesos de limpieza, como alcalinos fuertes, soluciones de decapado y cromatos, en particular, pueden reaccionar mal con el penetrante y reducir su sensibilidad y rendimiento.

8.4.2 *Secado después de la limpieza* — La superficie de las piezas debe estar completamente seca después de la limpieza, pues cualquier residuo líquido impedirá la entrada del penetrante. El secado puede lograrse con el calentamiento de las piezas en hornos



E 165

9.2 *Examinación de evaluación de temperatura*— Cuando la examinación de penetrante se usa en piezas que deben mantenerse a altas temperaturas durante el examen, pueden requerirse materiales especiales y técnicas de proceso. Como la examinación necesita una calificación de acuerdo a 10.2 deben tenerse en cuenta las recomendaciones del fabricante.

10. Calificación y recalificación

10.1 *Calificación de personal*— Cuando

Cuando se exija por acuerdo de usuario/proveedor, todo el personal de examinación deberá ser calificado/certificado de acuerdo con un procedimiento escrito conforme a la edición aplicable de la práctica recomendada SNT-TC-1A o MIL-STD 410.

10.2 *Calificación de procedimiento*— La calificación de procedimientos usando tiempos o condiciones diferentes de los especificados o para nuevos materiales se puede hacer usando cualquiera de los diferentes métodos y se pueden acordar por las partes contratantes. Se usa una pieza examinada que contenga

una o más discontinuidades del tamaño más pequeño. Esta pieza puede contener discontinuidades reales o simuladas, dando su mostrario de características de las discontinuidades encontradas en la examinación del producto.

10.3 *Calificación de la agencia de ensayos no destructivos*— Si una agencia de ensayos no destructivos como las descritas en *Práctica E543* se usa para hacer la examinación, la agencia deberá conocer los requerimientos de *Práctica E543*.

10.4 *La recalificación* puede requerirse cuando un cambio u una sustitución de haga en el tipo de materiales de penetrante o en el procedimiento (ver 10.2)

11. Palabras claves.

11.1 Examen de líquido penetrante fluorescente; emulsificación hidrófila; emulsificación lipófila; examen de penetrante líquido; examen no destructivo; removedor solvente; examen penetrante de líquido visible; métodos de lavado con agua.

ANEXOS

(Información obligatoria)

A1. LIMPIEZA DE PARTES Y MATERIALES

A1.1 Elección del método de limpieza

A1.1.1 La elección de un adecuado método de limpieza se basa en factores como (1) el tipo de contaminante para remover si ningún método quita todos los contaminantes por igual; (2) el efecto del método en las piezas; (3) la practicidad del método de limpieza para la pieza (por ejemplo, una pieza grande no puede ponerse en un limpiador desengrasante pequeño o ultrasónico); y (4) los requerimientos específicos de limpieza del comprador. Se recomiendan los siguientes métodos de limpieza:

A1.1.1.1 *Limpieza con detergente*— Los limpiadores detergentes no son inflamables al contener componentes solubles en agua, especialmente surfactantes seleccionados para humedecer, penetrar y emulsificar, así como saponificar varios tipos de mancha, películas grasosas y aceitosas, fluidos mecánicos y de corte; componentes dibujados sin pigmentar, etc. Los limpiadores detergentes pueden ser alcalinos, neutros o ácidos por naturaleza, pero no deben ser corrosivos para el ítem a examinar. Las propiedades de la limpieza de las soluciones detergentes facilitan la remoción completa de manchas y contaminación de la superficie y áreas de prevención, así se preparan para absorber el penetrante. El tiempo de limpieza debe estar entre los 10min y los 15 min entre los 170° y 200°F (de 77° a 93°C) con agitación moderada, usando concentraciones (generalmente de 6oz/gal 8 oz/gal o de 45kg/m³ a 60 kg/m³ recomendadas por el fabricante o los componentes de limpieza.

A1.1.1.2 *Limpiador solvente*— Hay una variedad de limpiadores solventes que se pueden utilizar efectivamente para remover aceites como grasas y películas oleosas, ceras y silicona, pinturas y, en general, materias orgánicas. Dichos solventes no deben tener residuos, especialmente al ser usados como solventes de limpiadores manuales o como tanques de

inmersión para desengrasar. No se recomiendan para remover óxido o tumultos, puntos o salpicaduras de soldadura y, en general, manchas inorgánicas. **Precaución:** Algunos limpiadores solventes son inflamables y pueden ser tóxicos. Se debe tener en cuenta todas las instrucciones de los fabricantes y las notas de precaución.

A1.1.1.3 *Desengrase a vapor*— El desengrase a vapor es el método preferido para remover aceite o manchas de tipo grasoso tanto de las superficies como de las discontinuidades abiertas. No removerá manchas de tipo inorgánico (suciedad, corrosión, sales, etc), ni manchas resinosas (coberturas de plástico, barniz, pintura, etc) Debido al corto tiempo de contacto, el desengrasado no puede limpiar completamente las discontinuidades profundas, por lo tanto, se recomienda un disolvente posterior a la inmersión.

A1.1.1.4 *Limpieza alcalina:*

(a) Los limpiadores alcalinos no son soluciones inflamables de agua que contienen detergentes seleccionados especialmente para la humectación, penetración, emulsificación y saponificación de los diferentes tipos de manchas. Las soluciones alcalinas calientes se usan también para remover óxido y tumultos que puedan cubrir discontinuidades de la superficie. Los componentes de los limpiadores alcalinos se pueden usar de acuerdo con las recomendaciones de los fabricantes. **Precaución:** A las piezas limpiadas por este proceso, se les deben enjuagar completamente el limpiador y secar a fondo con calor antes de proceso de inspección de penetrante (la temperatura de la pieza al momento de la aplicación del penetrante no debe exceder los 125°F (52°C).

(b) La limpieza a vapor es una modificación del método de limpieza alcalina en tanque caliente, que puede usarse en la preparación de piezas grandes y abultadas. Esto no removerá manchas inorgánicas ni muchas orgánicas, pero muchas no

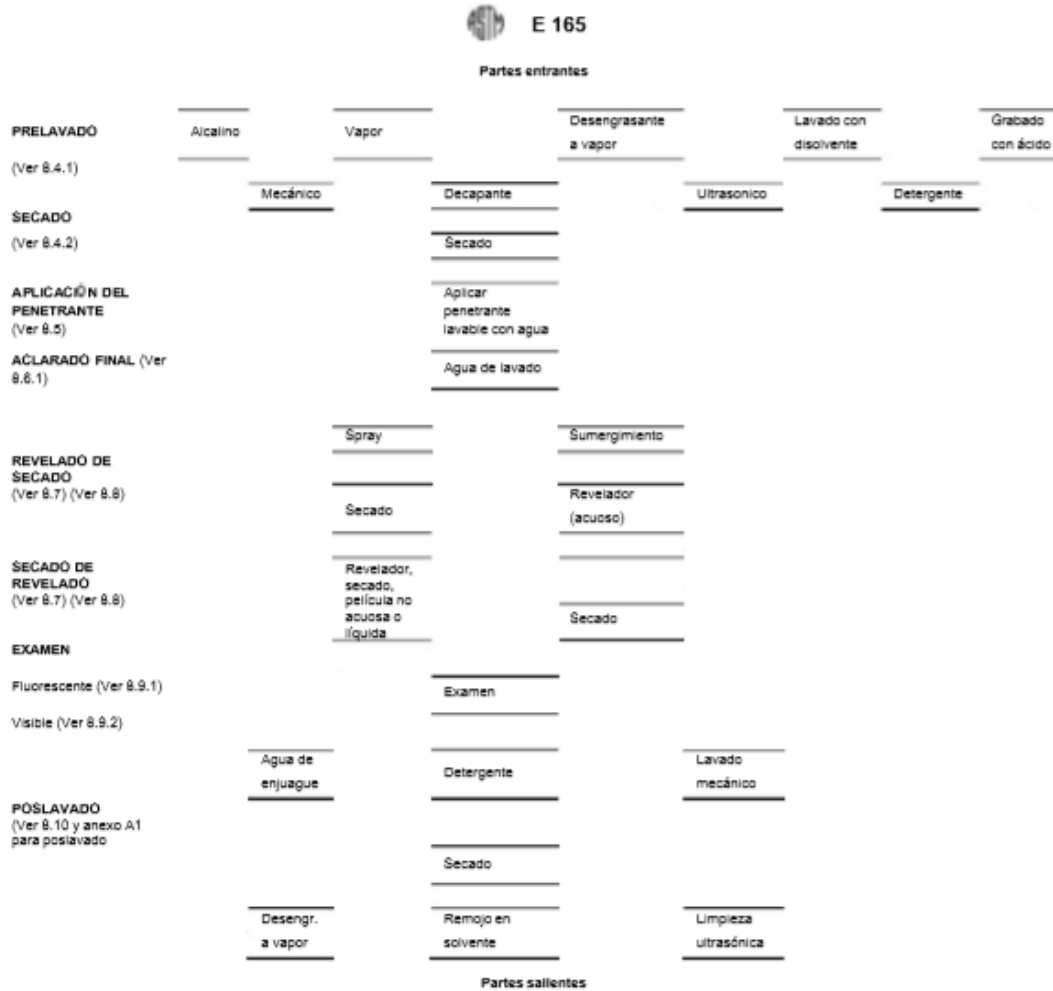


FIG. 1 Diagrama del procedimiento general para examinación penetrante usando el proceso de lavado con agua (Método de prueba E 1209 para fluorescente y método de prueba E 1220 para luz visible.)

8.5 *Aplicación del penetrante*— Después de que las piezas se hayan limpiado, secado y estén en el rango de temperatura especificado, se aplica el penetrante en la superficie a examinar, de manera que cubra la pieza entera o área completamente.

8.5.1 *Modos de aplicación*— Hay varios modos de aplicación efectiva del penetrante, como inmersión, cepillado, inundación, o con spray. Las piezas pequeñas a menudo se colocan en cestas adecuadas y se sumergen en un tanque de penetrante. En las piezas más grandes y en aquellas con geometría compleja, el penetrante se puede aplicar efectivamente por cepillado o spray. Tanto las pistolas de spray convencionales como las electrostáticas son eficaces para aplicar penetrantes líquidos en las superficies de las piezas. La aplicación por spray electrostático puede eliminar exceso de penetrante en la pieza,

minimizar salpicaduras y reducir la cantidad de penetrante al entrar en las aberturas que pudieran servir como reservorios y causar problemas severos de derrame durante la examinación. Los sprays en aerosol son convenientemente portátiles y adecuados para la aplicación local

NOTE 12—*Precaución*: No todos los materiales penetrantes son adecuados para aplicación en spray electrostático, se deben hacer pruebas previas.

NOTE 13—*Advertencia*: Con aplicaciones en spray, es importante que haya una ventilación adecuada. Esto se logra generalmente usando una cabina de spray bien diseñada y un sistema de escape.

8.5.2 *Tiempo de actuación del penetrante*— Después de la aplicación, hay que drenarse de la pieza el exceso de penetrante



E 165

Material	Forma	Tipo de discontinuidad	Tiempo de acción ^a (minutos)	
			Penetrante ^b	Revelador ^c
Aluminio, magnesio, acero, latón y bronce, titanio y aleaciones de alta temperatura	Fundiciones y soldaduras	Sellado en frío, porosidad, falta de fusión, grietas (todas las formas)	5	10
	Materiales producidos—extrusiones, forjados, platos	Honduras, grietas (todas las formas)	10	10
Herramientas de punta de carburo		Falta de fusión, porosidad, grietas	5	10
Plástico	todas las formas	grietas	5	10
Vidrio	todas las formas	grietas	5	10
Cerámica	todas las formas	grietas, porosidad	5	10

^aPara un rango de temperatura de 50° a 100°F (de 10° a 38°C) para penetrantes fluorescentes y de 50° a 125°F (de 10° a 52°C) para penetrantes visibles.
^bEl tiempo máximo de acción del penetrante de acuerdo con 8.5.2
^cTiempo de revelado tan pronto como la capa del revelador húmedo haya cubierto la superficie de las piezas (mínimo recomendado). El tiempo máximo de revelado de acuerdo con 8.6.8.

prescrito.

8.6.3 Emulsificación hidrófila:

8.6.3.1 *Enjuague previo*— Inmediatamente después del tiempo de penetración requerida, se recomienda que las partes se enjuaguen con agua antes de la emulsificación (8.6.3.3). Este paso permite eliminar el exceso de líquido penetrante de la superficie de las piezas antes de la emulsificación con el fin de minimizar el grado de contaminación del penetrante en el baño de emulsionante hidrófilo, extendiendo así su vida. Además, el enjuague previo de piezas penetradas reduce la posible contaminación de penetrante oleosa en el enjuague final de este proceso. Esto se logra mediante la recopilación de las piezas enjuagadas previamente en un tanque de retención, separando el penetrante del agua.

8.6.3.2 *Controles de enjuague previo*— Un enjuague previo efectivo se logra a través de un lavado por spray de agua ya sea manual o automática de las piezas como sigue:

(a) El agua debe permanecer sin contaminantes que pudieran obstruir la boquilla del spray o dejar residuos en las piezas.

...(b) Mantener la temperatura del agua en un rango entre 50° y 100°F (de 10° a 38°C).

(c) El tiempo de enjuague previo debe ser en el menor tiempo posible (al menos 60s como máximo) para dar un residuo consistente de penetrante en las piezas. El tiempo de lavado debe ser el especificado para la pieza o material determinado.

(e) Remover el agua empozada en cavidades usando el aire del lugar filtrado a una presión de al menos 25 psi (175 kPa) o un dispositivo de la succión para sacar el agua retenida en las áreas.

8.6.3.3 *Aplicación del emulsificante*— Después del tiempo de penetración requerido y siguiendo al enjuague previo, debe emulsionarse el penetrante de la superficie residual en la(s) pieza(s) sumergiéndola(s) en un baño del emulsificante hidrófilo (8.6.3.4) o rociándola(s) con el emulsificante (8.6.3.5) y así facilitar la remoción con agua de los residuos de penetrante en la superficie durante la etapa final de lavado (8.6.3.6).

8.6.3.4 *Inmersión*— Para la aplicación de la inmersión, las piezas se sumergen completamente en el baño de emulsificador. El emulsificante hidrófilo debe agitarse suavemente a lo largo del ciclo del contacto.

(a) La concentración del baño debe ser la recomendada por el fabricante. La mayoría de los emulsificantes hidrófilos se usan dentro del rango del 20% al 33% en el agua. La concentración mínima en las aplicaciones de la inmersión es del 20%.

(b) Las temperaturas del baño deben mantenerse entre los 50° y 100°F (de 10° a 38°C).

(c) El tiempo de contacto de inmersión debe mantenerse al tiempo mínimo consistente con un fondo aceptable y no debe exceder los 120s o el tiempo máximo estipulado por la pieza o la especificación material.

(d) El tiempo de drenaje del emulsificante empieza inmediatamente después retirarse las piezas del tanque y continua hasta que las partes se laven en la etapa final de lavado (8.6.3.6). Este tiempo drenaje debe durar un mínimo para evitar una sobreemulsificación y no debe exceder los 90s.

8.6.3.5 *Aplicación en spray*— Para la aplicación en spray que sigue al enjuague previo, las partes se emulsifican con la aplicación en spray de un emulsificante. Todas las superficies de la pieza deben ser equitativa y uniformemente rociadas para emulsificar el penetrante residual las superficies para facilitar el lavado con agua posterior.

(a) La concentración del emulsificante para la aplicación en spray debe ser de acuerdo con las recomendaciones del fabricante, pero no debe exceder el 5%.

(b) La temperatura debe mantenerse entre los 50° y 100°F (de 10° a 38°C).

(c) La presión del spray debe ser de 25 psi (175 kPa) máximo para aire y de 40 psi (280 kPa) máximo para agua.

(d) El tiempo de contacto debe mantenerse al consecuente mínimo con un fondo aceptable y no debe exceder los 120s o el tiempo máximo estipulados por la especificación de la pieza o material.

8.6.3.6 *Enjuague posterior de piezas emulsionadas con hidrófilo*—Un enjuague posterior eficaz de penetrante emulsificado se puede lograr a través de una inmersión manual, semiautomática o automática; de un equipo de spray o, bien, una combinación de algunos de ellos.

8.6.3.7 *Enjuague posterior de inmersión*— Las piezas se sumergen completamente en el baño de agua con aire o agitación mecánica.

(a) La temperatura del agua debe ser relativamente constante y debe mantenerse entre los 50° y los 100°F (de 10° a 38°C).

(b) El tiempo máximo de inmersión no debe exceder los 120s a menos que se determine otra cosa la especificación de la pieza o material. **Precaución:** Un enjuague ligero puede ser necesario después de la inmersión.

8.6.3.8 *Enjuague posterior por spray*— Posterior a la emulsificación, las partes pueden enjuagarse agua en spray como sigue:

Anexo B. Norma ASTM E 1417-99



Designation: E 1417 – 99

An American National Standard

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS
100 Barr Harbor Dr., West Conshohocken, PA 19428
Reprinted from the Annual Book of ASTM Standards. Copyright ASTM

Standard Practice for Liquid Penetrant Examination¹

This standard is issued under the fixed designation E 1417; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1. Scope

1.1 This practice establishes the minimum requirements for conducting liquid penetrant examination of nonporous metal, and nonmetal components.

1.2 The penetrant examination processes described in this practice are applicable to in-process, final, and maintenance (in-service) inspections. These processes are applicable for the detection of discontinuities, such as lack of fusion, corrosion, cracks, laps, cold shuts, and porosity, that are open or connected to the surface of the component under examination.

1.3 Caution must be exercised in the usage of elevated temperature with components manufactured from thermoplastic materials. Also, some cleaners, penetrants, and developers can have a deleterious effect on nonmetallic materials such as plastics. Prior to examination, tests should be conducted to ensure that none of the cleaning or inspection materials are harmful to the components to be examined.

1.4 The values stated in inch-pound units are regarded as standard. The SI units given in parentheses are for information only.

1.5 All areas of this practice may be open to agreement between the cognizant engineering organization and the supplier, or specific direction from the cognizant engineering organization.

1.6 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.* Specific precautionary statements are given in Notes 2 and 3.

2. Referenced Documents

2.1 The following documents form a part of this practice to the extent specified herein:

2.2 *ASTM Standards:*

D 95 Test Method for Water in Petroleum Products and Bituminous Materials by Distillation²

D 2512 Test Method for Compatibility of Materials with

Liquid Oxygen (Impact Sensitivity Threshold and Pass-Fail Technique)³

E 165 Test Method for Liquid Penetrant Examination⁴

E 543 Practice for Evaluating Agencies that Perform Non-destructive Testing⁴

E 1135 Test Method for Comparing the Brightness of Fluorescent Penetrants⁴

E 1316 Terminology for Nondestructive Examinations⁴

2.3 *ASNT Document*

ANSI/ASNT-CP-189 Standard for Qualification and Certification of Nondestructive Testing Personnel⁵

SNT-TC-1A Recommended Practice for Personnel Qualification and Certification in Nondestructive Testing⁶

2.4 *Military Standards:*⁶

MIL-I-25135 Inspection Materials, Penetrant⁷

QPL 25135 Qualified Products of, Inspection Materials, Penetrant⁷

MIL-STD-410 Nondestructive Testing Personnel Qualification and Certification⁷

MIL-STD-792 Identification Marking Requirements for Special Purpose Components⁷

MIL-STD-1907 Liquid Penetrant and Magnetic Particle, Soundness Requirements for Materials, Parts, and Weldments⁷

MIL-STD-2175 Castings Classification and Inspection of⁷

QPL-AMS-2644 Qualified Products List, Inspection Material, Penetrant⁷

MIL-STD-6866 Inspection, Penetrant Method of⁷

MIL-STD-45662 Calibration System Requirements⁷

2.5 *ANSI/ISO/AIA Standards:*⁸

ANSI/NCSL Z540-1 General Requirement for Calibration Laboratories and Measuring Test Equipment

ISO 10012-1 Quality Assurance Requirements for Measuring Test Equipment

NAS 410 Certification and Qualification of Nondestructive Test Personnel

¹ Annual Book of ASTM Standards, Vol 15.03.


² Annual Book of ASTM Standards, Vol 03.03.

³ Available from American Society for Nondestructive Testing, 1711 Arlington Plaza, P.O. Box 28518, Columbus, OH 43228-0518.

⁴ Copies of specifications, standards, drawings, and publications required by manufacturers in connection with specific acquisition functions should be obtained from the contracting activity or as directed by the contracting officer.

⁵ Available from Standardization Documents Order Desk, Bldg. 4 Section D, 700 Robbins Ave., Philadelphia, PA 19111-5094, Attn: NPODS.

⁶ Available from American National Standards Institute, 11 West 42nd Street, 13th Floor, New York, NY 10036.

 **E 1417**

2.6 *SAE Standard*.⁹

AMS 2644 Inspection Material, Penetrant

2.7 *DoD Contracts*—Unless otherwise specified, the issues of the documents that are DoD adopted are those listed in the issue of the DoDISS (Department of Defense Index of Specifications and Standards) cited in the solicitation.

2.8 *Order of Precedence*—In the event of conflict between the text of this practice and the references cited herein, the text of this practice takes precedence.

3. Terminology

3.1 *Definitions*:

3.1.1 The terminology relating to liquid penetrant examination that appears in Terminology E 1316 shall apply to the terms used in this practice.

3.2 *Definitions of Terms Specific to This Standard*:

3.2.1 *aerospace*—any component that will be installed on a system that flies.

3.2.2 *cognizant engineering organization*—the company, agency, or other authority responsible for the design or after delivery, end use of the system or component for which liquid penetrant examination is required; in addition to design personnel, this may include personnel from material, and process engineering, stress analysis, NDT or quality groups and others, as appropriate.

3.2.3 *component*—the part(s) or element(s) of a system described, assembled, or processed to the extent specified by the drawing.

3.2.4 *final examination*—the final examination performed for the acceptance of the item. Any change to the item's surface such as machining, grinding, welding, heat treatment, or etching by subsequent manufacturing operation, may render the previous examination invalid, requiring reexamination of all affected surfaces, unless otherwise approved in the contract.

3.2.5 *in-process*—that which occurs during manufacturing before a component is in final form.

3.2.6 *in-service*—refers to components that are in use or storage for their intended function.

3.2.7 *linear indication*—penetrant indications with at least a three to one length to width ratio.

3.2.8 *reprocess*—repeat, after cleaning, the application and appropriate processing of penetrant, emulsifier (as required), and developer (as required).

3.2.9 *rounded indication*—penetrant indication whose length to width ratio is less than three-to-one.

3.2.10 *supplier*—the organization contracted to supply the material, parts, or assembly.

3.2.11 *turbine engine critical components*—any component on turbine engine designated by the manufacturer as "critical."

4. Significance and Use

4.1 This practice establishes the basic parameters for controlling the application of the liquid penetrant method. This

⁹ Available from Society of Automotive Engineers, 400 Commonwealth Drive, Warrendale, PA 15096.

practice is written so it can be specified on the engineering drawing, specification, or contract. It is not a detailed how-to procedure to be used by the inspector and, therefore, must be supplemented by a detailed procedure that conforms to the requirements of this practice. Test Method E 165 contains information to help develop detailed how-to requirements.

5. Classification

5.1 Penetrant examination processes and materials are classified in accordance with the material classification contained in MIL-I-25135 or AMS 2644. Penetrant systems covered by this practice shall be of the following types, methods, and sensitivity levels:

5.1.1 *Type*:

5.1.1.1 *Type I*—Fluorescent dye.

5.1.1.2 *Type II*—Visible dye.

5.1.2 *Method*:

5.1.2.1 *Method A*—Water washable.

5.1.2.2 *Method B*—Post-emulsifiable, lipophilic.

5.1.2.3 *Method C*—Solvent-removable.

5.1.2.4 *Method D*—Post-emulsifiable, hydrophilic.

5.1.3 *Sensitivity*—(These levels apply to Type I penetrant systems only. Type II penetrant systems have only a single sensitivity and it is not represented by any of the levels listed as follows):

5.1.3.1 *Sensitivity Level 1/5*—Very low.

5.1.3.2 *Sensitivity Level 1*—Low.

5.1.3.3 *Sensitivity Level 2*—Medium.

5.1.3.4 *Sensitivity Level 3*—High.

5.1.3.5 *Sensitivity Level 4*—Ultrahigh.

5.2 Developers shall be of the following forms:

5.2.1 *Form a*—Dry powder.

5.2.2 *Form b*—Water-soluble.

5.2.3 *Form c*—Water-suspendable.

5.2.4 *Form d*—Nonaqueous for Type I fluorescent penetrant.

5.2.5 *Form e*—Nonaqueous for Type II visible dye.

5.2.6 *Form f*—Specific application.

5.3 Solvent removers shall be of the following classes:

5.3.1 *Class 1*—Halogenated.

5.3.2 *Class 2*—Nonhalogenated.

5.3.3 *Class 3*—Specific application.

6. General Practices

6.1 *Responsibility for Examination*—Unless otherwise specified in the contract or purchase order, the cognizant engineering organization is responsible for the performance of all examination requirements as specified herein. The cognizant engineering organization shall specify more stringent requirements than the minimum specified in this practice when necessary to ensure that a component meets its functional and reliability requirements. Except as otherwise specified, the supplier may utilize his own facilities or any other facilities suitable for the performance of the examination requirements specified herein. The purchaser reserves the right to perform any of the examinations set forth in this practice where such examinations are deemed necessary to ensure that supplies and services conform to prescribed requirements.

 E 1417

6.2 *Specifying*—When examination is required in accordance with this practice the orders, contracts, or other appropriate documents shall specify the criteria by which the acceptability of components is to be evaluated. An example of such criteria is in MIL-STD-1907; however, other criteria may be utilized. Engineering drawings or other applicable documents shall indicate the acceptance criteria for the entire component; zoning may be used. Examination on a sampling basis shall not be allowed unless specifically permitted by the contract.

6.3 *Personnel Qualification*—Personnel performing examinations to this practice shall be qualified and certified in accordance with ASNT Personnel Qualification SNT-TC-1A, ANSI/ASNT CP-189, NAS 410, or MIL-STD-410 for military purposes, or as specified in the contract or purchase order.

6.4 *Agency Qualification*—The agency performing this practice may be evaluated in accordance with Practice E 543.

6.5 *Materials:*

6.5.1 *Qualified Materials*—Only materials listed or approved for listing on QPL-25135 or QPL-AMS 2644 (reference MIL-I-25135 or AMS 2644) shall be utilized for penetrant examination. Materials not conforming to the requirements of MIL-I-25135 or AMS 2644 may be used only when a waiver is obtained from the cognizant engineering organization.

6.5.2 *Liquid Oxygen (LOX) Compatible Materials*—Penetrant materials tested in accordance with Test Method D 2512 and passing at 70 ft-lbf (95 J) or higher, shall be used on LOX wetted surfaces that cannot be thoroughly post-cleaned. Use of these materials shall be in accordance with the material supplier instructions and shall require approval of the cognizant engineering organization when such materials do not meet the requirements of MIL-I-25135 or AMS-2644.

6.6 *Equipment and Facilities*—Processing equipment used in the penetrant examination process shall be constructed and arranged to permit a uniform and controlled operation. The equipment shall meet all applicable national and local safety requirements as well as the requirements specified herein.

6.6.1 *Viewing Areas*—Areas where parts are reviewed shall be kept clean at all times. For visible dye examination, Type II, the lighting system shall provide at least 100 fc (1000 lx) of visible light when measured at the examination surface. For stationary fluorescent dye examination, Type I, the ambient visible light background shall not exceed 2 fc (20 lx) at the examination surface. The black lights shall provide a minimum of 1000 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ at the examination surface. Black lights shall meet the requirements of 7.8.5.1. Viewing areas for portable fluorescent dye examination shall utilize dark canvas, photographer's black cloth, or other methods to reduce the visible light background to the lowest possible level during examination and black light intensity shall meet the above requirements.

6.6.2 *Drying Oven*—When components are oven dried, the dryer must be a forced-air recirculating type. In automated systems, where parts are dried by radiant heat and forced air, the travel speed of the system shall be such as to preclude overdrying of parts. The forced air does not have to be recirculating but must preclude contamination of the parts. The temperature shall be controlled with a calibrated device ca-

pable of maintaining the oven temperature at $\pm 15^\circ\text{F}$ of the temperature for which it is set. The oven shall not exceed 160°F (71°C). The temperature indicator shall be accurate to $\pm 10^\circ\text{F}$ of the actual oven temperature.

6.7 *Written Procedures*—All liquid penetrant examination procedures are similar for many components, a master written procedure may be utilized that covers the details common to a variety of components. As a minimum, the following information is required either in individual procedures, or a master procedure, or a combination thereof:

6.7.1 Details of the precleaning and etching process, including the materials used and specification or other document controlling the examination process, the drying parameters and the processing times. If these operations are performed by other than examination personnel, details concerning the operations may be specified in other documents but must be referenced in the procedure(s). Reference Test Method E 165 for detailed cleaning methods and instructions.

6.7.2 Classification of the penetrant examination materials required in accordance with Section 5 and MIL-I-25135 or AMS-2644.

6.7.3 Complete processing parameters for the penetrant examination materials including concentrations, application methods, dwell times, drying times, temperatures, and controls to prevent excessive drying of penetrant or overheating of component, as appropriate. Reference Test Method E 165 for additional details.

6.7.4 Complete examination/evaluation requirements including light intensities (both examination and ambient), the accept/reject criteria and the method and location of marking. Reference Test Method E 165 for additional details.

6.7.5 Identification of the components or areas within a component to be examined in accordance with the procedure.

6.7.6 Complete postcleaning procedures. If postcleaning is performed by other than examination personnel, details concerning this operation may be specified in other documents, but must be referenced in the procedure. Reference Test Method E 165 for additional details.

6.8 *Examination Sequence*—Final penetrant examination shall be performed after completion of all operations that could cause surface-connected discontinuities or operations that could expose discontinuities not previously open to the surface. Such operations include, but are not limited to, grinding, welding, straightening, machining, and heat treating.

6.8.1 *Surface Treatment*—Final penetrant examination may be performed prior to treatments that can smear the surface but not by themselves cause surface discontinuities. Such treatments include, but are not limited to, vapor blasting, deburring, sanding, buffing, sandblasting, lapping, or peening. Performance of final penetrant examination after such surface treatments requires that etching be included in the precleaning operation unless otherwise agreed on between the cognizant engineering organization and the NDT facility.

NOTE: 1—Final penetrant examination should always precede peening.

6.8.2 *Surface Coatings*—All coatings and other surface conditions, such as, paint, plating, corrosion, etc. shall be removed from the area to be examined prior to penetrant examination. The penetrant examination shall precede any

E 1417

surface finish, such as anodize, except for inservice parts that may be examined without removing the anodize.

6.9 *Material and Process Limitations*—Not all penetrant sensitivity levels, materials, and process methods are applicable to all examination requirements. The sensitivity level shall be adequate for the intended purpose of the examination. Unless there is an approval for deviation given by the cognizant engineering organization, the following selections are mandatory or forbidden, as indicated:

6.9.1 Forms *a* and *b* (dry powder and water soluble) developers shall not be used with Type II (visible dye) penetrant systems. This is not intended to prohibit the use of a Form *f* developer that has been qualified with a particular Type II system in accordance with MIL-1-25135 or AMS-2644.

6.9.2 Type II penetrant examination shall not be used for final acceptance examination of aerospace products. In addition, Type II penetrant examination shall not be used prior to a Type I penetrant examination of the same surface. This is not intended to eliminate the use of in-process Type II inspections where subsequent fabrication/forming operations remove the surfaces inspected.

6.9.3 The maintenance or overhaul examination of turbine engine critical components shall be done only with Type I, Methods C or D (solvent removable or post emulsified, hydrophilic) processes and either sensitivity Levels 3 or 4 penetrant materials.

6.10 *Records*—The results of all penetrant examinations shall be recorded. All recorded results shall be identified, filed, and made available to the cognizant engineering organization upon request. Records shall provide for traceability to the specific part or lot inspected. As a minimum the records shall include: a reference to the specific procedures used; location, classification, and disposition of relevant indications; the inspector's inspection stamp, electronic ID or signature; and the date of examination. Records shall be kept for a minimum of three years or as otherwise specified in the purchase order or contract.

7. Specific Practices (Fig. 1)

7.1 *Surface Preparation*—All surfaces to be examined shall be clean, dry, and free of soils, oil, grease, paint and other coatings (except as allowed by 6.8.2), corrosion products, scale, smeared metal, welding flux, chemical residues, or any other material that could prevent the penetrant from entering discontinuities, suppress dye performance, or produce unacceptable background. Cleaning methods, including etching, selected for a particular component shall be consistent with the contaminants to be removed and shall not be detrimental to the component or its intended function.

7.1.1 Solvent cleaning, that includes vapor degreasing, solvent soak, ultrasonic cleaning, or aqueous-based cleaning solutions shall be used for the removal of oils, greases, waxes and as the final cleaning step prior to penetrant examination unless etching is required.

7.1.2 Chemical cleaning shall be used for the removal of paints, varnishes, scale, carbon, or other contaminants that are not removable by solvent cleaning methods.

Note: 2—**Precaution:** Caution should be exercised when using chemi-

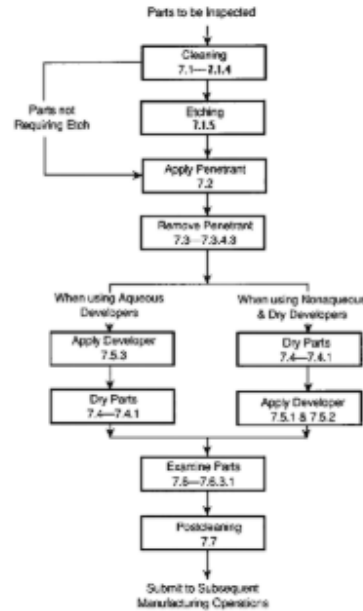


FIG. 1 Process Flow Chart

icals because they may irritate the eyes or skin.


7.1.3 Mechanical cleaning shall be used for the removal of soils and other contaminants that cannot be removed by solvent or chemical cleaning methods.

7.1.4 Grit blasting without etching may be an acceptable cleaning method if it can be demonstrated that a sufficiently fine abrasive (150 grit or finer) will not cause peening and can be removed by a detergent or alkaline cleaner.

7.1.5 Etching, unless otherwise specified, shall be performed when evidence exists that previous cleaning, surface treatments, or service usage has produced a surface condition that degrades the effectiveness of penetrant examination. Etching processes shall be developed and controlled to prevent damage to the component under test. Etching is not required for those features such as close tolerance holes, close tolerance surfaces, faying surfaces, etc., where the function of the component or assembly would be degraded. Etching is not required for intermediate examination when the surface(s) are not retained in the final part/component configuration or when the final penetrant examination is preceded by etching.

7.2 *Penetrant Application*—Unless otherwise specified, the entire surface of the component shall be covered with penetrant. Large components may be examined in sections. Penetrant shall be applied by spraying, dipping, brushing, or other method to provide coverage as required. The component, penetrant, and ambient temperatures shall all be in the range from 40 to 125°F (4 to 52°C) unless otherwise specified.

7.2.1 *Penetrant Dwell Time*—The dwell time, unless otherwise specified, shall be a minimum of 10 min. For temperatures

 E 1417

between 40 and 50°F (4.4 and 10°C), dwell time shall be a minimum of 20 min. Rotate or otherwise move components, if required, during dwell to prevent pooling of the penetrant. For dwell times greater than 2 h, the penetrant shall be reapplied as required to prevent drying. The component shall be immersed in penetrant, if that is the application method, for no longer than half the total dwell time.

7.3 Penetrant Removal:

7.3.1 Method A Process—Water-washable penetrants shall be removed with a manual or automated water spray, or a manual wipe, or an air agitated immersion wash.

7.3.1.1 Manual Spray—Water pressure adequate to remove the penetrant shall be used but shall not exceed 40 psi (275 kPa). Water temperature shall be between 50 to 100°F (10 to 38°C). When hydro-air nozzles are used the air pressure shall not exceed 25 psi (172 kPa). A coarse spray shall be used with a minimum distance of 12 in. (30 cm), when possible between the spray nozzle and the part. Washing shall be conducted under appropriate illumination. Caution shall be exercised to ensure that over-washing does not occur. If over-washing occurs, the component(s) shall be thoroughly dried and reprocessed. After rinsing, drain water from the component and utilize repositioning, suction, blotting with clean absorbent materials, or filtered shop air at less than 25 psi (172 kPa) to prevent pooling in cavities, recesses, and pockets.

Note 3—Caution: Over-removal of the surface penetrant shall require that the component be cleaned and reprocessed. A good indicator of over-wash or over-removal of the surface penetrant is evidenced by the total lack of residue that may occur on all or a specific area of the part, see Test Method E 165.

7.3.1.2 Automated Spray—For automated spray systems, the wash parameters shall be such that the requirements of this practice are met. Water temperature shall be maintained between 50 to 100°F (10 to 38°C).

7.3.1.3 Manual Wipe—Excess penetrant shall be removed with a clean, dry, lint-free cloth or absorbent toweling. The remainder of the surface penetrant shall then be removed with a water-dampened cloth or towel. The surface shall not be flushed with water and the cloth or towel shall not be saturated with water. The component shall be examined under appropriate illumination to ensure adequate removal of the surface penetrant. The surface shall be dried by blotting with a clean, dry towel or cloth, or by evaporation.

7.3.1.4 Immersion—Immersion wash may be utilized if the water is air agitated and good circulation is maintained throughout the wash operation. Water temperature shall be maintained between 50 and 100°F (10 and 38°C).

7.3.2 Method B Process—Lipophilic post-emulsifiable penetrant shall be removed by air agitated water immersion or with a water spray or hydro-air spray rinse after application of an emulsifier and an appropriate emulsifier dwell time. Water pressure and temperature and air pressure shall meet the requirements specified for Method A.

7.3.2.1 Lipophilic emulsifiers shall be applied by immersion or flowing. Lipophilic emulsifiers shall not be applied by spray or brush and shall not be agitated while on the surface of the component. Maximum dwell times, unless otherwise specified, shall be 3 min for Type I systems and 30 s for Type II systems,

or as recommended by the manufacturer. Actual dwell times shall be the minimum necessary to produce an acceptable background on the component.

7.3.2.2 Rinsing—After the appropriate emulsifier dwell time, emulsification shall be stopped by immersion or water spray. For spray removal of the penetrant/emulsifier mixture, the parameters of 7.3.1 apply. Dwell time in an agitated immersion rinse, if used, shall be the minimum required to remove the emulsified penetrant. Examine the components under appropriate illumination after rinsing. Clean and reprocess those components with excessive background. After rinsing, drain water from the component and utilize repositioning, suction, blotting with clean absorbent materials or filtered shop air at less than 25 psi (172 kPa) to prevent pooling. Caution shall be exercised to ensure that the air nozzle is held at a sufficient distance from the part to ensure that the developing indication is not smeared by the air blast. If over-emulsification is observed, the component must be cleaned and reprocessed.

7.3.3 Method C Process—Solvent-removable penetrants are removed by first wiping the excess penetrant with a clean, lint-free, dry cloth or absorbent toweling. The remainder of the surface penetrant is then removed with a solvent-dampened lint-free cloth or towel. The surface of the component shall not be flushed with solvent and the cloth or towel shall not be saturated with solvent. The component and cloth or toweling shall be observed under appropriate illumination to ensure adequate removal of the surface penetrant. Over-removal of the surface penetrant shall require the component to be cleaned and reprocessed. The surface shall be dried by blotting with a lint-free, dry cloth or towel, or by evaporation. Method C can also be used for water-washable penetrants using water or solvent for removal of excess penetrant.

7.3.4 Method D Process—Hydrophilic post emulsifiable penetrant shall be removed with a water prerinse, application of the hydrophilic emulsifier and then a postrinse.

7.3.4.1 Rinse—The water prerinse shall be applied for the minimum amount of time required to achieve removal of the bulk surface penetrant. The rinse parameters of 7.3.1 shall apply.

7.3.4.2 Hydrophilic emulsifier shall be applied by immersion, flowing, foaming, or spray. For immersion applications, the concentration, percent volume, shall be no higher than specified by the penetrant system supplier and shall not exceed that for which the system was qualified. For immersion applications, the emulsifier or part may be mildly agitated. Dwell time shall be the minimum required for adequate surface penetrant removal, but unless otherwise approved by the cognizant engineering organization, shall not exceed 2 min. For spray applications, the concentration shall not exceed 5 %.

7.3.4.3 Postrinse—After the application and dwell of the hydrophilic emulsifier, the component being examined shall be rinsed with water. The spray rinse parameters of 7.3.1 shall apply for the hydrophilic emulsifier. Evidence of over-removal shall require the part to be cleaned and reprocessed. Excessive background may be removed by additional (touchup) application of the hydrophilic emulsifier provided its maximum allowable dwell time is not exceeded. Additional rinsing of the

Anexo C. Norma ASTM E 709-95

ASTM Designación: E 709 - 95

Guía Standard para Examen con Partículas Magnetizables¹

Esta norma se emite bajo la designación fija E 709; el número que sigue inmediatamente a la designación indica el año de la adopción original o, en el caso de una revisión, el año de la última revisión. Un número entre paréntesis indica el año de la última re-aprobación. Una epsilon en forma de subíndice (ϵ) indica un cambio editorial desde la última revisión o re-aprobación.

Esta norma ha sido aprobada para usar por las agencias del Departamento de Defensa. Consult the DoD Index of Specifications and Standards para el año específico de emisión que ha sido adaptado por el Departamento de Defensa.

1. Alcance

1.1 Esta guía² describe técnicas para el examen con partículas magnetizables tanto secas como húmedas, un método no destructivo para detectar grietas y demás discontinuidades en o cerca de la superficie en materiales ferromagnéticos. El examen con partículas magnetizables se puede aplicar a materias primas, materiales semiterminados (lingotes, fundiciones y forjados), material terminado y soldaduras, independientemente del tratamiento térmico o de la ausencia del mismo. Resulta útil para el examen en mantenimiento preventivo.

1.1.1 Esta guía se pensó para usar como referencia ayudando en la preparación de especificaciones/normas, procedimientos y técnicas.

1.2 Esta guía es también una referencia que se puede usar:

1.2.1 Para establecer los medios por los que el examen con partículas magnetizables, procedimientos recomendados o requeridos por organizaciones individuales pueden ser revisados para evaluar su aplicabilidad e integridad.

1.2.2 Para ayudar en la organización de las instalaciones y personal implicado en el examen con partículas magnetizables.

1.2.3 Para ayudar en la preparación de procedimientos que tratan el examen de materiales y piezas. Esta guía describe las técnicas de examen con partículas magnetizables que se recomiendan para una gran variedad de medidas y formas de materiales ferromagnéticos y una amplia gama de requerimientos de examen. Como hay muchas diferencias aceptables tanto en los procedimientos como en las técnicas, los requerimientos explícitos deben ser cubiertos por un procedimiento escrito (ver Sección 21).

1.3 Esta guía no indica, sugiere ni especifica normas de aceptación para las partes/piezas examinadas por estas técnicas. Debe señalarse, sin embargo, que después de haberse producido las indicaciones, se deben interpretar o clasificar y luego evaluar. Para esto debe haber un código separado, especificación o acuerdo específico para definir el tipo, medida, ubicación, grado de alineación y espaciamiento, concentración del área, y orientación de las indicaciones que son inaceptables en una parte específica versus las que no es necesario eliminar antes de aceptar la parte. Se deben especificar las condiciones donde no se permite el retrabajo o la reparación.

1.4 Esta guía describe el uso de las siguientes técnicas del método de partículas magnetizables.

1.4.1 Polvo magnetizable seco (ver 8.3),

1.4.2 Partículas magnetizables húmedas (ver 8.4),

¹ Esta guía está bajo la jurisdicción del Comité ASTM E-7 para Ensayos No Destructivos y es responsabilidad directa del Subcomité E07.03 en Ensayos con Partículas Magnetizables y Trazas Penetrantes.

Edición corriente aprobada en Marzo 15, 1995. Publicada en Mayo 1995. Originalmente publicada como E 709-80. Última edición previa E 709-94.

² Para Calderas y Aplicaciones del Código de Recipientes a Presión y Calderas ASME ver la Guía SE-709 relacionada en la Sección II de dicho Código.

4. Resumen de la Guía

4.1 *Principios* - El método de partículas magnetizables se basa en el principio de que las líneas del campo magnético, en presencia de material ferromagnético, se distorsionarán ante un cambio en la continuidad del material, como ser un cambio dimensional agudo o una discontinuidad. Si la discontinuidad es abierta o cerrada a la superficie de un material magnetizado, las líneas del flujo se distorsionarán en la superficie, condición denominada "flujo disperso". Cuando las partículas magnetizables finas se distribuyen sobre el área de la discontinuidad mientras existe el flujo disperso, serán mantenidas en el lugar y la acumulación de partículas será visible bajo condiciones lumínicas apropiadas. Al tiempo que existen variables en el método de partículas magnetizables, todas dependen de este principio, que las partículas magnetizables serán retenidas en las localizaciones del flujo disperso.

4.2 *Método* - Si bien esta práctica permite y describe muchas variables en equipos, materiales y procedimientos, hay tres etapas esenciales en el método:

4.2.1 La parte debe estar magnetizada.

4.2.2 Las partículas magnetizables del tipo diseñado en el contrato/orden de compra/especificación deben aplicarse mientras la parte está magnetizada.

4.2.3 Cualquier acumulación de partículas magnetizables debe ser **observada, interpretada y evaluada.**

4.3 *Magnetización:*

4.3.1 *Formas de Magnetización* - Un material ferromagnético se puede magnetizar haciendo circular una corriente eléctrica por el material o colocando el material en el interior de un campo magnético originado por una fuente externa. Toda la masa o una parte de la misma se puede magnetizar según lo impongan las dimensiones y capacidad del equipo o la necesidad. Según se subrayó previamente, la discontinuidad debe interrumpir el paso normal de las líneas del campo magnético. Si una discontinuidad está abierta a la superficie, el flujo disperso estará en el máximo para dicha discontinuidad particular. Cuando esa misma discontinuidad está debajo de la superficie, se perderá la evidencia del flujo disperso en la superficie. En efecto, las discontinuidades deben estar abiertas a la superficie, para crear suficiente flujo disperso como para acumular las partículas magnetizables.

4.3.2 *Dirección del Campo* - Si una discontinuidad está orientada paralela a las líneas del campo magnético, puede ser esencialmente indetectable. En consecuencia como las discontinuidades pueden presentarse con cualquier orientación, puede ser necesario magnetizar la parte o área de interés dos veces o más secuencialmente en distintas direcciones por el mismo método o una combinación de métodos (ver Sección 13) para inducir las líneas del campo magnético en una dirección adecuada para realizar un examen apropiado.

4.3.3 *Intensidad del Campo* - El campo magnético debe tener suficiente intensidad como para indicar aquellas discontinuidades que sean inaceptables, si bien no debe ser tan intenso como para que se acumule localmente un exceso de partículas enmascarando así las indicaciones relevantes (ver Sección 14.).

4.4 *Tipos de Partículas Magnetizables y su Uso* - Hay disponibles varios tipos de partículas magnetizables para usar en el examen con partículas magnetizables. Se las consigue como polvos secos (fluorescentes y no fluorescentes) listas para usar tal como se las provee (ver 8.3), concentrados de polvo (fluorescentes y no fluorescentes) para su dispersión en agua o para preparar suspensiones en destilados livianos de petróleo (ver 8.4), pastas/pinturas magnetizables (ver 8.4.7), y dispersiones de polímeros magnetizables (ver 8.4.8).

4.5 *Evaluación de las Indicaciones* - Cuando el material a ser examinado ha sido convenientemente magnetizado, se han aplicado adecuadamente las partículas magnetizables y se ha eliminado convenientemente el exceso de partículas, se producirá una acumulación de partículas magnetizables en los puntos de dispersión del flujo. Estas acumulaciones muestran la distorsión del campo magnético y se las denomina **indicaciones**. Sin perturbar las partículas, las indicaciones deben examinarse, clasificarse, interpretarse qué las causó, deben compararse con las normas de aceptación y tomar una decisión respecto a la disposición del material que contiene la indicación.

4.6 *Indicaciones Típicas de las Partículas Magnetizables:*

4.6.1 *Discontinuidades Superficiales* - Las discontinuidades superficiales, con pocas excepciones, producen patrones marcados y característicos (ver Anexo A).

4.6.2 *Discontinuidades Casi Superficiales* - Las discontinuidades casi superficiales producen indicaciones menos características que las que están abiertas a la superficie. Los patrones son difusos y no tan definidos, y las partículas se mantienen menos apretadas (ver Anexo A).

5. Significado y Uso

5.1 El método de examen no destructivo con partículas magnetizables **indica la presencia de**

discontinuidades superficiales y casi superficiales en materiales que se pueden magnetizar (ferromagnéticos). Este método se puede usar para examinar partes/componentes de producción o estructuras y para aplicaciones en el campo donde la portabilidad de los equipos y acceso al área a ser examinada son factores de peso. La capacidad del método para hallar pequeñas discontinuidades puede mejorarse usando partículas fluorescentes en suspensión en un vehículo adecuado e introduciendo un campo magnético de intensidad adecuada con una orientación lo más cerca posible a los 90° con respecto a la dirección de las discontinuidades sospechadas (ver 4.3.2). Al suavizar la superficie se mejora la movilidad de las partículas magnetizables bajo la influencia del campo magnético para acumularlas sobre la superficie donde se produce el flujo disperso.

6. Equipos

6.1 *Tipos* - Se dispone de varios tipos de equipos para magnetizar partes y componentes ferromagnéticos. Con excepción de un imán permanente, todos los equipos requieren una fuente de energía capaz de entregar los niveles de corriente requeridos para producir el campo magnético. La corriente usada dictamina la dimensión de los cables y la capacidad de los relés, contactos de conmutación, medidores y rectificador si la fuente de energía es corriente alterna.



Fig. 1 Método del Yugo para Magnetizar la Parte

6.2 *Portabilidad* - La portabilidad, que incluye la aptitud para transportar manualmente el equipo, se obtiene de los yugos. Sus dimensiones limitan su capacidad para proveer campos magnéticos que se pueden obtener de equipos con corrientes más potentes. El equipo móvil para propósitos generales que se puede montar sobre un camión generalmente está diseñado para usar con puntas de prueba en los extremos de dos cables o con sólo los cables que se conectan a la pieza que se está examinando, se enroscan por una abertura de la misma o se envuelven alrededor de la misma. La movilidad está limitada por el cable, sus dimensiones y el medio ambiente. El examen bajo el agua o en plataformas petroleras y plataformas marinas para producción de petróleo son ejemplos de un medio ambiente hostil.

6.3 *Yugos* - Los yugos generalmente son electroimanes en forma de C que inducen un campo magnético entre los polos (patas) y se usan para magnetización local (Fig. 1). Muchos de los yugos portátiles tienen patas articuladas (polos) que se pueden ajustar para contactar superficies irregulares o dos superficies que se unen en un ángulo.

6.3.1 *Imanes Permanentes* - Hay disponibles imanes permanentes pero su uso puede verse restringido para muchas aplicaciones. Los imanes permanentes pueden perder su capacidad para generar un campo magnético al ser parcialmente desmagnetizados por un campo de flujo más fuerte, por sufrir daños, o caídas. Además, no está presente la movilidad de las partículas, originada por pulsaciones de CA y corriente rectificadas de media onda en yugos electromagnéticos. Las partículas, limaduras de acero, virutas, y laminilla adheridas a los polos pueden originar un problema de orden interno (housekeeping).

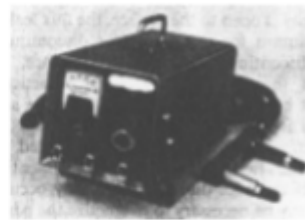
6.4 *Puntas de Prueba* - Las puntas de prueba se usan para la magnetización local, ver Fig. 2. Las puntas que contactan la pieza deben ser preferentemente de aluminio, cobre entrelazado, o una almohadilla de cobre y no de cobre macizo. Con puntas de cobre macizo, la formación accidental de arco mientras la punta de prueba se coloca o retira puede provocar la penetración de cobre en la superficie lo que puede resultar en daños metalúrgicos (ablandamiento, endurecimiento, agrietamiento, etc.). Ver 12.3.1(a). Las tensiones del circuito abierto no deben superar los 25V.

6.4.1 *Llave de Control Remoto* - Se debe proveer una llave de control remoto, que puede estar incorporada en las manijas de las puntas, para permitir que la corriente sea conectada después de que las puntas hayan sido colocadas convenientemente y desconectarla antes de retirar las puntas para minimizar la formación de arco (quemaduras por arco). (Ver 12.3.1.1(a)).

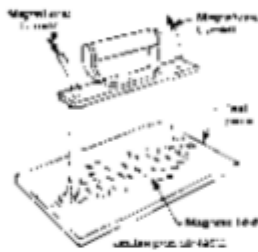
6.5 **Luz Negra** - La luz negra debe ser capaz de desarrollar las longitudes de onda requeridas de 330 a 390 nm con una intensidad en la superficie examinada que satisfaga 7.1.2. Deben predominar las longitudes de onda de 365 nm o cercanas. Los filtros adecuados deben eliminar la luz visible extraña emitida por las luces negras (líneas violeta o azul 405 y 435 nm Hg y línea amarillo verdosa de 577 nm Hg). Algunas lámparas de luz negra de alta intensidad pueden emitir cantidades inaceptables de luz amarillo verdosa que pueden hacer que se tornen invisibles las indicaciones fluorescentes. Una variación en la tensión de línea superior al $\pm 10\%$ puede originar un cambio en la potencia de salida de la luz negra con la consecuente inconsistencia de la performance. Cuando haya evidencia de cambios de tensión superiores al 10% se debe usar un transformador de tensión constante.



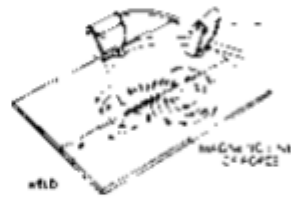
(a) Magnetización con Punta



(b) Puntas de Cobre Trenzado



(c) Magnetización de Contactos de Punta Simple



(d) Contactos con Punta Doble

Fig. 2 Magnetización de Área Localizada Usando Técnica de Punta de Prueba

6.6 *Verificación del Equipo* - Ver Sección 20.

7. Área de Examen

7.1 *Intensidad de la Luz para el Examen* - Las indicaciones magnéticas encontradas usando partículas no fluorescentes se examinan bajo luz visible. Las indicaciones encontradas usando partículas fluorescentes se deben examinar bajo luz negra (ultravioleta). Esto requiere un área oscurecida y contar con un control para la intensidad de la luz visible.

7.1.1 *Intensidad de la Luz Visible* - La intensidad de la luz visible en la superficie de la parte/pieza de trabajo bajo examen debe tener como mínimo 100 foot candles (1000 lux). La intensidad de la luz visible ambiente en el área oscurecida donde se realiza el examen de partículas magnetizables fluorescentes no debe superar los 2 foot candles (20 lux).

7.1.1.1 *Inspecciones en el Campo* - Para algunas inspecciones de campo que usan partículas no fluorescentes se puede usar baja intensidad, de hasta 50 foot candles (500 lux), cuando se acuerda con la agencia contratante.

7.1.2 *Luz Negra (Ultravioleta):*

7.1.2.1 *Intensidad de la Luz Negra* - La intensidad de la luz negra en la superficie examinada no debe ser menor de 1000 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ cuando se mide con un medidor de luz negra apropiado.

7.1.2.2 *Calentamiento de la Luz Negra* - Permitir que la luz negra se caliente durante un mínimo de 5 min. antes de usarla o medir la intensidad de la luz ultravioleta emitida.

7.1.3 *Adaptación del Ojo al Área Oscura* - Se recomienda que el inspector esté en el área oscurecida durante no menos de 3 min. antes de examinar las partes utilizando la luz negra de modo que sus

ojos se adapten a la visión nocturna. **Precaución** - Mientras se realiza el examen no deben usarse anteojos fotocromáticos o con coloración permanente.

7.2 *Housekeeping (Orden Interno)* - El área de examen debe mantenerse libre de desechos que interfieran. Si hay involucrados materiales fluorescentes, el área además debe mantenerse libre de objetos fluorescentes no relacionados con la parte/pieza que se esté examinando.

8. Materiales para Partículas Magnetizables

8.1 *Tipos de Partículas* - Las partículas usadas en las técnicas de examen de partículas magnetizables secas o húmedas son materiales ferromagnéticos finamente divididos que han sido tratados para impartir un color (fluorescente y no fluorescentes) con el objeto de hacerlos altamente visibles (contraste) contra el fondo de la superficie que se esté examinado. Las partículas están diseñadas para usar como polvo seco que fluya libremente o para formar una suspensión a una concentración dada en un medio líquido adecuado.

8.2 *Características de las Partículas* - Las partículas magnetizables deben tener una alta permeabilidad para facilitar la magnetización y atracción hacia la discontinuidad y baja retentividad de modo que no sean atraídas (aglomeración magnética) entre sí. Se requiere controlar el tamaño y forma de las partículas para obtener resultados estables. Las partículas deben ser no tóxicas, estar libres de óxido, grasa, pintura, suciedad y demás materiales nocivos que pudieran interferir con su uso; ver 20.5 y 20.6. Tanto las partículas secas como las húmedas se consideran seguras cuando se usan de acuerdo con las instrucciones del fabricante. Generalmente enfrentan un peligro potencial muy bajo con respecto a la inflamabilidad y toxicidad.

8.3 *Partículas Secas* - Los polvos magnetizables secos se diseñaron para usar en el estado en que son provistos y se aplican por vaporización o espolvoreados directamente sobre la superficie de la pieza que se está examinando. Generalmente se usan sobre una base que recolecta los sobrantes si bien las partículas se pueden recoger y volver a usar. Sin embargo, para mantener el tamaño de las partículas y controlar la posible contaminación, ésta no es una práctica normal. Los polvos secos también se pueden usar bajo condiciones ambientales extremas. No son afectados por el frío; por lo tanto el examen se puede realizar a temperaturas que podrían espesar o congelar los baños húmedos. También son resistentes al calor; algunos polvos se pueden usar a temperaturas de hasta 315°C (60°F). Algunos recubrimientos orgánicos coloreados aplicados a las partículas secas para mejorar el contraste pierden su color a temperaturas de este tipo, por lo que el contraste pierde efectividad. Las partículas secas fluorescentes no se pueden usar a temperaturas tan altas; habría que ponerse en contacto con el fabricante para obtener información sobre los límites de temperatura o realizar ensayos.

8.3.1 *Ventajas* - La técnica con partículas magnetizables secas generalmente es superior a la técnica húmeda para detectar discontinuidades casi superficiales: (a) para objetos grandes cuando se usa equipo portátil para magnetización local; (b) se obtiene una mayor movilidad de las partículas para defectos relativamente profundos con corriente rectificada de media onda como fuente de magnetización; (c) fáciles de remover.

8.3.2 *Desventajas* - La técnica con partículas magnetizables secas: (a) no se puede usar en áreas confinadas sin aparatos respiratorios de seguridad adecuados; (b) La Probabilidad de Detección (POD, por Probability of Detection) es apreciablemente menor que con la técnica húmeda para discontinuidades superficiales finas; (c) difícil de usar en posiciones magnetizantes en niveles elevados; (d) no existe evidencia de cobertura completa de la superficie de la parte como con la técnica húmeda; (e) se puede esperar menor producción con la técnica seca versus la técnica húmeda; y (f) es difícil de adaptar a cualquier tipo de sistema automático.

8.3.3 *Colores No Fluorescentes* - Si bien el polvo de partículas magnetizables secas puede tener casi cualquier color, los colores empleados con mayor frecuencia son el gris claro, negro, rojo o amarillo. La elección generalmente se basa en el máximo contraste con la superficie a ser examinada. El examen se hace bajo luz visible.

8.3.4 *Fluorescentes* - Existen también las partículas magnetizables secas fluorescentes, pero su uso no está generalizado, principalmente debido a su mayor costo y limitaciones en su aplicación. Requieren una fuente de luz negra y un área de trabajo oscurecida. Estos requerimientos generalmente no son accesibles en lugares como ser en el campo donde resultan particularmente adecuados los exámenes con partículas magnetizables secas.

8.4 *Sistemas de Partículas Húmedas* - Las partículas magnetizables húmedas están diseñadas para formar una suspensión en un vehículo tal como el agua o destilados livianos de petróleo a una concentración dada para aplicar a la superficie de ensayo por flujo, vaporizado o vertido. Se comercializan en concentrados tanto fluorescentes como no fluorescentes. En algunos casos el fabricante provee las partículas premezcladas

Anexo D. Ficha Técnica Yugo Parker DA400



PARKER
Magnetic Particle Inspection Instruments

Product Data Sheet

DA400

AC/DC Contour Probe

The DA400 Contour Probe is a rugged high performance instrument designed for Magnetic Particle inspection to accepted Nondestructive testing standards.

Parker Contour Probes are designed with flexible legs that allow the field to be "focused" at a precise area of inspection. Electronic circuitry contained within the reinforced glass-filled nylon housing permits selection of a strong constant AC field, or high intensity half wave rectified (DC) field.

Plastic carry cases (PL-Case & C-Case) and Test Kits (PL-A Kit & A Kit) are available. Standard test kits include 1 lb. each of Red & Gray powder, PB1 powder blower, and carrying case.

Features

- High-impact, Glass-filled nylon housing
- AC & Half Wave Rectified (DC)
- One year repair/Replacement Guarantee
- Exceeds ASTM lifting standards
- Available with CE certification

Standards Compliance

- ASME Section V, Article 7
- ASTM E709
- ASTM E1444
- EN ISO 9934-3 (230V Only)



May 2018

Applications

Defect location: Surface or subsurface

Ideal for:

- Field Testing
- Spot Inspections
- In-service Inspections
- Demanding Environments
- Welding Inspections

Defect Examples:

- Inclusions
- Seams
- Shrink cracks
- Tears
- Laps
- Welding slags
- Grinding cracks
- Quenching cracks
- Fatigue cracks

Page 1 of 2



Product Data Sheet

Product Properties

Weight	9 lbs. (4.1 kg)
Leg Span	0 – 12 in (0 – 304.8 mm)
Cord Length	10 ft. (3.048 m)
Duty Cycle	50%
Electrical Requirements	115VAC – 50/60 Hz : 6 Amps 230VAC – 50/60 Hz : 3 Amps

Use Recommendations

NDT Method	Magnetic Particle Testing
Recommended Accessories	Weight Lift Test Bar – TB10 Yoke Light – Y400

Part Numbers

DA400 – 115VAC

DA400S – 230VAC

Anexo E. Norma ASTM 1876-01



Designation: E 1876 – 01

Standard Test Method for Dynamic Young's Modulus, Shear Modulus, and Poisson's Ratio by Impulse Excitation of Vibration¹

This standard is issued under the fixed designation E 1876; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1. Scope

1.1 This test method covers determination of the dynamic elastic properties of elastic materials at ambient temperatures. Specimens of these materials possess specific mechanical resonant frequencies that are determined by the elastic modulus, mass, and geometry of the test specimen. The dynamic elastic properties of a material can therefore be computed if the geometry, mass, and mechanical resonant frequencies of a suitable (rectangular or cylindrical geometry) test specimen of that material can be measured. Dynamic Young's modulus is determined using the resonant frequency in either the flexural or longitudinal mode of vibration. The dynamic shear modulus, or modulus of rigidity, is found using torsional resonant vibrations. Dynamic Young's modulus and dynamic shear modulus are used to compute Poisson's ratio.

1.2 Although not specifically described herein, this test method can also be performed at cryogenic and high temperatures with suitable equipment modifications and appropriate modifications to the calculations to compensate for thermal expansion.

1.3 There are material specific ASTM standards that cover the determination of resonance frequencies and elastic properties of specific materials by sonic resonance or by impulse excitation of vibration. Test Methods C 215, C 623, C 747, C 848, C 1198, and C 1259 may differ from this test method in several areas (for example; sample size, dimensional tolerances, sample preparation). The testing of these materials shall be done in compliance with these material specific standards. Where possible, the procedures, sample specifications and calculations are consistent with these test methods.

1.4 The values stated in SI units are to be regarded as the standard.

1.5 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the*

responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

- C 215 Test Method for Fundamental Transverse, Longitudinal, and Torsional Frequencies of Concrete Specimens²
- C 372 Test Method for Linear Thermal Expansion of Porcelain Enamel and Glaze Frits and Fired Ceramic Whiteware Products by the Dilatometer Method³
- C 623 Test Method for Young's Modulus, Shear Modulus, and Poisson's Ratio for Glass and Glass-Ceramics by Resonance³
- C 747 Test Method for Moduli of Elasticity and Fundamental Frequencies of Carbon and Graphite Materials by Sonic Resonance⁴
- C 848 Test Method for Young's Modulus, Shear Modulus, and Poisson's Ratio for Ceramic Whitewares by Resonance³
- C 1161 Test Method for Flexural Strength of Advanced Ceramics at Ambient Temperature⁴
- C 1198 Test Method for Dynamic Young's Modulus, Shear Modulus, and Poisson's Ratio for Advanced Ceramics by Sonic Resonance⁴
- C 1259 Test Method for Young's Modulus, Shear Modulus and Poisson's Ratio for Advanced Ceramics by Impulse Excitation of Vibration⁴
- E 6 Terminology Relating to Methods of Mechanical Testing⁵
- E 177 Practice for Use of the Terms Precision and Bias in ASTM Test Methods⁶

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee E28 on Mechanical Testing and is the direct responsibility of Subcommittee E28.03 on Elastic Properties.

Current edition approved Oct. 10, 2001. Published March 2002. Last previous edition E 1876-97.

² Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02.

³ Annual Book of ASTM Standards, Vol 15.02.

⁴ Annual Book of ASTM Standards, Vol 15.01.

⁵ Annual Book of ASTM Standards, Vol 03.01.

⁶ Annual Book of ASTM Standards, Vol 14.02.



E 1876

3. Terminology

3.1 *Definitions*—The definitions of terms relating to mechanical testing appearing in Terminology E 6 should be considered as applying to the terms used in this test method.

3.1.1 *dynamic mechanical measurement, n*—a technique in which either the modulus or damping, or both, of a substance under oscillatory applied force or displacement is measured as a function of temperature, frequency, or time, or combination thereof.

3.1.2 *elastic limit* [FL⁻²], *n*—the greatest stress that a material is capable of sustaining without permanent strain remaining upon complete release of the stress. **E 6**

3.1.3 *elastic modulus* [FL⁻²], *n*—the ratio of stress to strain below the proportional limit. **E 6**

3.1.4 *Poisson's ratio* (μ) [nd], *n*—the absolute value of the ratio of transverse strain to the corresponding axial strain resulting from uniformly distributed axial stress below the proportional limit of the material.

3.1.4.1 *Discussion*—In isotropic materials, Young's Modulus (E), shear modulus (G), and Poisson's ratio (μ) are related by the following equation:

$$\mu = (E/2G) - 1 \quad (1)$$

E 6

3.1.5 *proportional limit* [FL⁻²], *n*—the greatest stress that a material is capable of sustaining without deviation from proportionality of stress to strain (Hooke's law). **E 6**

3.1.6 *shear modulus* (G) [FL⁻²], *n*—the elastic modulus in shear or torsion. Also called modulus of rigidity or torsional modulus. **E 6**

3.1.7 *Young's modulus* (E) [FL⁻²], *n*—the elastic modulus in tension or compression. **E 6**

3.2 *Definitions of Terms Specific to This Standard:*

3.2.1 *antinodes, n*—two or more locations that have local maximum displacements, called antinodes, in an unconstrained slender rod or bar in resonance. For the fundamental flexure resonance, the antinodes are located at the two ends and the center of the specimen.

3.2.2 *elastic, adj*—the property of a material such that an application of stress within the elastic limit of that material making up the body being stressed will cause an instantaneous and uniform deformation, which will be eliminated upon removal of the stress, with the body returning instantly to its original size and shape without energy loss. Most elastic materials conform to this definition well enough to make this resonance test valid.

3.2.3 *flexural vibrations, n*—the vibrations that occur when the oscillations in a slender rod or bar are in a plane normal to the length dimension.

3.2.4 *homogeneous, adj*—the condition of a specimen such that the composition and density are uniform, so that any smaller specimen taken from the original is representative of the whole. Practically, as long as the geometrical dimensions of the test specimen are large with respect to the size of individual grains, crystals, components, pores, or microcracks, the body can be considered homogeneous.

3.2.5 *in-plane flexure, n*—for rectangular parallelepiped geometries, a flexure mode in which the direction of displacement is in the major plane of the test specimen.

3.2.6 *isotropic, adj*—the condition of a specimen such that the values of the elastic properties are the same in all directions in the material. Materials are considered isotropic on a macroscopic scale, if they are homogeneous and there is a random distribution and orientation of phases, crystallites, components, pores, or microcracks.

3.2.7 *nodes, n*—a slender rod or bar in resonance containing one or more locations having a constant zero displacement. For the fundamental flexural resonance of such a rod or bar, the nodes are located at 0.224 L from each end, where L is the length of the specimen.

3.2.8 *out-of-plane flexure, n*—for rectangular parallelepiped geometries, a flexure mode in which the direction of displacement is perpendicular to the major plane of the test specimen.

3.2.9 *resonant frequency, n*—naturally occurring frequencies of a body driven into flexural, torsional, or longitudinal vibration that are determined by the elastic modulus, mass, and dimensions of the body. The lowest resonant frequency in a given vibrational mode is the fundamental resonant frequency of that mode.

3.2.10 *slender rod or bar, n*—in dynamic elastic property testing, a specimen whose ratio of length to minimum cross-sectional dimension is at least 5 and preferably in the range from 20 to 25.

3.2.11 *torsional vibrations, n*—the vibrations that occur when the oscillations in each cross-sectional plane of a slender rod or bar are such that the plane twists around the length dimension axis.

3.2.12 *longitudinal vibrations, n*—the vibrations that occur when the oscillations in a slender rod or bar are parallel to the length of the rod or bar.

4. Summary of Test Method

4.1 This test method measures the fundamental resonant frequency of test specimens of suitable geometry by exciting them mechanically by a singular elastic strike with an impulse tool. A transducer (for example, contact accelerometer or non-contacting microphone) senses the resulting mechanical vibrations of the specimen and transforms them into electric signals. Specimen supports, impulse locations, and signal pick-up points are selected to induce and measure specific modes of the transient vibrations. The signals are analyzed, and the fundamental resonant frequency is isolated and measured by the signal analyzer, which provides a numerical reading that is (or is proportional to) either the frequency or the period of the specimen vibration. The appropriate fundamental resonant frequencies, dimensions, and mass of the specimen are used to calculate dynamic Young's modulus, dynamic shear modulus, and Poisson's ratio.

Anexo F. Ficha Técnica Vibrometro AR63B

INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN

LARRIQUE

MEDIDOR DE VIBRACIONES SMART SENSOR AR63B



Medidor de vibraciones SMART SENSOR, modelo AR63B.

- Medición de velocidad, aceleración y desplazamiento permitiendo un rápido chequeo de desbalanceo, desalineación, lubricación, estado de rodamiento y engranajes.
- Amplia gama de frecuencia de 10 Hz a 1 KHz.
- Visualización de valor numérico y barra gráfica.
- Sensor Acelerómetro externo con 1 m de cable.
- Memoria máximo.
- Selección de unidades.
- Apagado automático.



LARRIQUE RULEMANES®

Galicia 1204 esq. Cuareim - Tel.: + (598) 2902 1773 :: www.larrique.com :: larrique@larrique.com.uy

Anexo G. Norma AWS D 1.1

SECCIÓN 6. INSPECCIÓN

PARTES B & C

AWS D1.1/D1.1M:2010

código, la reparación del trabajo deberá ser realizada bajo responsabilidad del Contratista.

Parte C Criterios de Aceptación

6.7 Alcance

Los Criterios de Aceptación para la inspección visual y NDT de las conexiones tubulares y conexiones no tubulares estáticas y cíclicas; son descritas en la parte C. El alcance de la examinación y los criterios de aceptación deberán ser especificados en los documentos del contrato en la información provista al licitador.

6.8 Aprobación del Ingeniero para Criterios de Aceptación Alternos

La premisa fundamental del código, es proporcionar estipulaciones generales que apliquen a la mayoría de las situaciones. Los criterios de aceptación para la soldadura de producción que sean distintos a aquellos descritos en el código, pueden ser utilizados para alguna aplicación en particular; previendo que sean documentados de forma adecuada por la persona que los propone y aprobados por el Ingeniero. Esta aceptación de criterios alternos, puede ser basada en la evaluación de ser adecuados para el servicio utilizando experiencia previa, evidencia experimental o análisis de ingeniería, considerando el tipo de material, los efectos de la carga de servicio y los factores del ambiente.

6.9 Inspección Visual

Todas las soldaduras deben de ser inspeccionadas y aceptadas visualmente, si se cumplen con los criterios de la tabla 6.1.

6.10 PT y MT

Además de la inspección visual, las soldaduras que son sujetas a MT y PT, deben ser evaluadas en base a los requerimientos aplicables para la inspección visual. El ensayo deberá ser realizada en conformidad a 6.14.4 o 6.14.5, cual sea que aplique.

6.11 NDT

Exceptuando los proporcionados en 6.18, todos los métodos NDT incluyendo los requerimientos y calificaciones del equipo, calificaciones del personal, y métodos operacionales, deberán estar en conformidad con la sección 6 de Inspección. Los criterios de aceptación deberán ser descritos en esta sección. Las soldaduras sujetas a NDT deberán ser encontradas aceptables por inspección visual en conformidad con 6.9.

Para las soldaduras sujetas a NDT en conformidad con 6.10, 6.11, 6.12.1 y 6.13.3, el ensayo puede iniciar de forma inmediata después de que las soldaduras completadas hayan enfriado a temperatura ambiente. Los criterios de aceptación para aceros ASTM A 514, A 517 y A 709 grado 100 y 100W deben estar basados en NDT realizado en un tiempo no menor a 48 horas después de la finalización de las soldaduras.

6.11.1 Requerimientos para Conexiones Tubulares.

Para soldaduras a tope de canal CJP, soldadas por un lado sin refuerzo, toda la longitud de todas las soldaduras de producción tubular completadas, deberán ser examinadas ya sea por RT o UT. Los criterios de aceptación deberán estar en conformidad con 6.12.1 o 6.13.3 según aplique.

6.12 RT

Las soldaduras mostradas por RT que no cumplan con los requerimientos de la parte C, o criterios alternos de aceptación por 6.8, deberán ser reparadas en conformidad a 5.26. Las discontinuidades distintas a las fisuras deberán ser evaluadas en función a si son alargadas o redondeadas. Independiente del tipo de discontinuidad, una discontinuidad alargada deberá ser definida como aquella cuya longitud exceda tres veces su ancho. Una discontinuidad redondeada, deberá ser definida como aquella cuya longitud sea tres veces su ancho o menos y pueda ser redonda o irregular y que pudiese tener colas.

6.12.1 Criterios de Aceptación de Discontinuidades para Conexiones No Tubulares Cargadas Estáticamente y para Conexiones Tubulares Cargadas Estática o Cíclicamente. Las soldaduras sujetas a RT, además de la inspección visual, no deberán tener fisuras y deberán ser inaceptables si el RT muestra cualquier discontinuidad que exceda las siguientes limitaciones. Las limitaciones dadas por la figura 6.1 para tamaño de soldadura (E) de 1-1/8 pulg. [30 mm] deberán aplicar para todos los tamaños de soldadura mayores de 1-1/8 pulg. [30 mm].

(1) Las discontinuidades alargadas que excedan el tamaño máximo de la figura 6.1.

AWS D1.1/D1.1M:2010

PARTES C & D

SECCIÓN 6. INSPECCIÓN

clase R o clase X, o ambas, pueden ser incorporadas por referencia. La amplitud basada en los criterios de aceptación como se proporciona por el 6.13.1, puede también ser utilizada para las soldaduras de canal en juntas a tope en tubos de 24 pulg. [600 mm] de diámetro y más, siempre que se sigan todas las provisiones relevantes de la sección 6 parte F. Sin embargo, estos criterios de amplitud no deberán ser aplicados a conexiones tubulares T-, Y- y K-.

6.13.3.1 Clase R. (Aplicable Cuando el UT es Utilizado como una Alternativa para RT). Todas las indicaciones teniendo una mitad (6 dB) o menos amplitud que el nivel estándar de sensibilidad (con la debida relación para 6.27.6) deberán ser descartadas. Las indicaciones que excedan el nivel para descartar, deberán ser evaluadas como sigue:

(1) Reflectores esféricos aleatorios aislados, con un mínimo de separación de 1 pulg. [25 mm] hasta el nivel de sensibilidad estándar deberán ser aceptados. Los reflectores más largos deberán ser evaluados como reflectores lineales.

(2) Reflectores esféricos alineados, deberán ser evaluados como reflectores lineales.

(3) Reflectores esféricos agrupados teniendo una densidad mayor a una por pulgada cuadrada [645 milímetros cuadrados] con indicaciones por encima de los niveles para descartar (área normal proyectada a la dirección del esfuerzo aplicado, promediada sobre una longitud de soldadura de 6 pulg. [150 mm]) deberá ser rechazada.

(4) Reflectores lineales o planares cuyas longitudes (extensiones) excedan los límites de la figura 6.4 deberán ser rechazados. De forma adicional, los reflectores de raíz no deberán exceder los límites de la clase X.

6.13.3.2 Clase X (Basado en Experiencia, Criterios de Adecuación al Servicio Aplicables a Conexiones T-, Y-, K-, en Estructuras Redundantes con Soldaduras Resistentes al Impacto). Todas las indicaciones con la mitad (6 dB) o menor amplitud que el nivel de sensibilidad estándar (con respecto a 6.27.6) deberán ser descartadas. Las indicaciones que excedan el nivel para descartar deberán ser evaluadas como se muestra a continuación:

(1) Los reflectores esféricos deberán ser como los descritos en la clase R, a excepción de que cualquier indicación dentro de los límites lineales o planares deberán ser aceptables.

(2) Los reflectores lineales o planares deberán ser evaluados por medio de la técnica del límite del haz, y aquellos cuyas dimensiones excedan los límites de la

figura 6.5 deberán ser rechazados. El área de raíz deberá ser definida como aquella que se encuentra dentro de 1/4 pulg. [6 mm] o $t_w/4$, cual sea mayor, de la raíz del soldadura teórica, como se muestra en la figura 3.8.

Parte D Procedimientos NDT

6.14 Los Procedimientos

Los procedimientos NDT descritos en este código, han sido utilizados por varios años y proporciona una seguridad razonable de la integridad de la soldadura; sin embargo, pareciera que algunos usuarios del código consideran, de forma incorrecta, cada método capaz de detectar todas las discontinuidades inaceptables. Los usuarios del código deberán estar familiarizados con todas las limitaciones de los métodos NDT a ser utilizados, particularmente la inhabilidad para detectar y caracterizar las discontinuidades planares con orientaciones específicas. (Las limitaciones y el uso complementario de cada método son explicadas en la edición más reciente de AWS B1.10, *Guide for Nondestructive Examination of Welds*).

6.14.1 RT. Cuando se utiliza RT, el procedimiento y la técnica deberán estar en conformidad con la parte E de esta sección.

6.14.2 Sistemas de Radiación de Imagen. Cuando la evaluación se realiza utilizando sistemas de radiación de imagen, los procedimientos y técnicas deberán estar en conformidad con la parte G de esta sección.

6.14.3 UT. Cuando se utiliza UT, el procedimiento y la técnica deberán estar en conformidad con la parte F de esta sección.

6.14.4 MT. Cuando se utiliza MT, el procedimiento y la técnica deberán estar en conformidad con ASTM E 709, y los estándares de aceptación deberán ser en conformidad con la sección 6, parte C, de este código, cual sea que aplique.

6.14.5 PT. Para detectar discontinuidades que están abiertas a la superficie, PT puede ser utilizado. Los métodos estándar establecidos en ASTM E 165 deberán ser utilizados para la inspección PT, y los estándares de aceptación deberán estar en conformidad con la sección 6, parte C, de este código, cual sea que aplique.

6.14.6 Calificación del Personal

6.14.6.1 Requerimientos ASNT. El personal que realiza NDT distinto al visual, deberá estar calificado en

SECCIÓN 6. INSPECCIÓN

AWS D1.1/01.1M:2010

Tabla 6.1
Criterios de Aceptación para Inspección Visual (ver 6.9)

Grado de la Discontinuidad y Criterio de la Inspección	Conexiones No-Tubulares Cargadas Estáticamente	Conexiones No-Tubulares Cargadas Cíclicamente	Conexiones Tubulares (Todas las Cargas)								
(1) Prohibición de Grietas Cualquier grieta deberá ser inaceptable, sin importar el tamaño o ubicación.	X	X	X								
(2) Fusión de la Soldadura/Metal Base Deberá haber fusión completa entre las capas adyacentes del metal de soldadura y entre el metal de soldadura y el metal base.	X	X	X								
(3) Cráter en la Sección Transversal Todos los cráteres deberán ser llenados para proporcionar el tamaño de soldadura especificado, excepto para los extremos de las soldaduras de filete intermitente fuera de su longitud efectiva.	X	X	X								
(4) Perfiles de la Soldadura Los perfiles de la soldadura deberán ser de acuerdo con el 5.24.	X	X	X								
(5) Tiempo de Inspección La Inspección Visual de las soldaduras en todos los aceros pueden iniciar inmediatamente después de que las soldaduras terminadas se hayan enfriado a temperatura ambiente. Los criterios de aceptación para aceros ASTM A 514, A 517 y A 709 grado 100 y 100 W, deberá estar basado en la inspección visual realizada en no menos de 48 horas después de la terminación de soldadura.	X	X	X								
(6) Soldaduras de Poco Tamaño (inferiores) El tamaño de una soldadura de filete en cualquier soldadura continua, puede tener menos del tamaño (L) poco nominal especificado sin corrección de las siguientes cantidades (U): <table style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td style="text-align: center;">L, tamaño de soldadura nominal especificada, pulg. [mm]</td> <td style="text-align: center;">U, disminución permitida de L, pulg. [mm]</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">≤ 3/16 [5]</td> <td style="text-align: center;">≤ 1/16 [2]</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1/4 [6]</td> <td style="text-align: center;">≤ 3/32 [2.5]</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">≥ 5/16 [8]</td> <td style="text-align: center;">≤ 1/8 [3]</td> </tr> </table> En todos los casos, la parte de la soldadura de poco tamaño no deberá exceder el 10% de la longitud de la soldadura. En soldaduras alma-ala de vigas, la reducción deberá ser prohibido en los extremos de una longitud igual a dos veces el ancho del ala.	L, tamaño de soldadura nominal especificada, pulg. [mm]	U, disminución permitida de L, pulg. [mm]	≤ 3/16 [5]	≤ 1/16 [2]	1/4 [6]	≤ 3/32 [2.5]	≥ 5/16 [8]	≤ 1/8 [3]	X	X	X
L, tamaño de soldadura nominal especificada, pulg. [mm]	U, disminución permitida de L, pulg. [mm]										
≤ 3/16 [5]	≤ 1/16 [2]										
1/4 [6]	≤ 3/32 [2.5]										
≥ 5/16 [8]	≤ 1/8 [3]										
(7) Socavado (A) Para el material menor de 1 pulg. [25 mm] de espesor, el socavado no deberá exceder 1/32 pulg. [1 mm], con la siguiente excepción: el socavado no deberá exceder 1/16 pulg. [2 mm] para cualquier longitud acumulada de hasta 2 pulg. [50 mm] en cualquier longitud de 12 pulg. [200 mm]. Para material igual a o mayor de 1 pulg. [25 mm] de espesor, el socavado no deberá exceder 1/16 pulg. [2 mm] para cualquier longitud de soldadura	X										
(B) En miembros principales, el socavado deberá ser de no más de 0.01 pulg. [0.25 mm] de profundidad cuando la soldadura es transversal al esfuerzo de tracción bajo cualquier condición de diseño de carga. El socavado deberá ser no más de 1/32 pulg. [1 mm] de profundidad para todos los otros casos.		X	X								

(Continuado)

AWS D1.1/D1.1M:2010

SECCIÓN 6. INSPECCIÓN

Tabla 6.1 (Continuación)
Criterios de Aceptación para Inspección Visual (ver 6.9)

Grado de la Discontinuidad y Criterio de la Inspección	Conexiones No-Tubulares Cargadas Estáticamente	Conexiones No-Tubulares Cargadas Cíclicamente	Conexiones Tubulares (Todas las Cargas)
(8) Porosidad (A) Las soldaduras de canal de penetración completa CJP en juntas a tope transversal en dirección al esfuerzo de tracción calculado no deberán tener porosidad tubular visible. Para todas las otras soldaduras de canal y soldaduras de filete, la suma de porosidad tubular visible de 1/32 pulg. [1 mm] o mayor en diámetro, no deberá exceder 3/8 pulg. [10 mm] en cualquier pulgada lineal de la soldadura y no deberá exceder 3/4 pulg. [20 mm] en cualquier longitud de soldadura de 12 pulg. [300 mm].	X		
(B) La frecuencia de la porosidad tubular en soldaduras de filete no deberá exceder de 1 por cada 4 pulg. [100 mm] de la longitud de la soldadura y el diámetro máximo no deberá exceder 3/32 pulg. [2.5 mm]. Excepción: para soldaduras de filete conectando refuerzos al alma, la suma de los diámetros de la porosidad tubular no debe exceder 3/8 pulg. [10 mm] en cualquier pulgada lineal de la soldadura y no deberá exceder 3/4 pulg. [20 mm] en cualquier longitud de soldadura de 12 pulg. [300 mm].		X	X
(C) Las soldaduras de canal de penetración completa CJP en juntas a tope transversal a la dirección del esfuerzo de tracción calculado no deberán tener porosidad tubular. Para todas las otras soldaduras de canal, la frecuencia de la porosidad tubular no deberá exceder de 1 en 4 pulg. [100 mm] de longitud y el diámetro máximo no deberá exceder de 3/32 pulg. [2.5 mm].		X	X

Nota: Una "X" indica la aplicación para el tipo de conexión; el área sombreada indica la no-aplicabilidad.

