

**EVALUACIÓN DEL ESTADO MECÁNICO Y DE CORROSIÓN DE UN
RECIPIENTE A PRESIÓN QUE ALMACENA GASES LICUADOS DE
PETRÓLEO E HIDROCARBUROS BAJO LA NORMA API 510.**

WILLIAM MAURICIO TORRES PRADA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FÍSICO-QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE MATERIALES
BUCARAMANGA
2013**

**EVALUACIÓN DEL ESTADO MECÁNICO Y DE CORROSIÓN DE UN
RECIPIENTE A PRESIÓN QUE ALMACENA GASES LICUADOS DE
PETRÓLEO E HIDROCARBUROS BAJO LA NORMA API 510.**

WILLIAM MAURICIO TORRES PRADA

Trabajo de Práctica Empresarial como requisito
Para optar al título de Ingeniero Metalúrgico

TUTOR

German Ricardo Vergara González
Ingeniero Metalúrgico
Inspector Nivel II UT

COTUTOR

Iván Uribe Pérez
Ingeniero metalúrgico
MsC. en Ciencias Aplicadas.

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FÍSICO-QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE MATERIALES
BUCARAMANGA
2013**

DEDICATORIA

A Dios por su amor.

A mi familia por creer en mí.

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa:

Agradezco a Dios este trabajo que contiene todos los momentos y experiencias que transcurrieron en mi vida como estudiante de la Universidad Industrial de Santander y que me formaron como persona, ahora todo es más claro. Gracias mi Dios por tanto amor.

Agradezco a mi familia, mi mamá y mis hermanos, por mantener su creencia firme en mis capacidades y por ese maravilloso e incondicional apoyo que motivaron a culminar este proceso, así mismo a mis tíos por ser tan especiales conmigo. Dios los bendiga siempre a todos.

Agradezco a todos los profesores de la Escuela de Ingeniería Metalúrgica de la Universidad Industrial de Santander por el tiempo invertido, la orientación y la formación académica proporcionada. Muchas Gracias.

Agradezco a Corporación CIMA por la oportunidad de conocer y aprender lo relacionado con el campo laboral y el desempeño de los ingenieros metalúrgicos en el área de integridad de equipos. Gracias al Ing. Jairo Olaya y todo su equipo de trabajo en Cartagena.

Agradezco a mis directores de tesis, el Ingeniero German Vergara y el profesor Iván Uribe por su colaboración y orientación.

Agradezco a Andrea Pabón por enseñarme la verdad, el apoyo y la orientación en muchos momentos de este tiempo que transcurre y que concluye hoy. Cuídate mucho.

Agradezco a Marco Ching por su apoyo e incondicionalidad durante todo este tiempo, BAQ no es lo mismo y la pizza sabe diferente. Gracias por todo, que Dios te bendiga siempre.

Agradezco a Edward Herrera por estar desde niño ahí, siempre en el lugar correcto, gracias por ser compañía en la distancia.

Agradezco a mis compañeros de estudio y de manera especial a Liliana Camacho por la compañía, las conversaciones y los tintos.

Agradezco a la ciudad de Cartagena, Colombia por permitirme vivir y aprender, por enseñarme a luchar y mantener siempre la esperanza, a Cartagena siempre muchas gracias, no olvidare tú cielo.

Y a todas esas personas que pasaron por mi vida en este tiempo y que dejaron su huella, hoy les digo gracias por todo y que Dios los bendiga con su amor y les cumpla todos los deseos de su corazón.

CONTENIDO

	<i>pág.</i>
INTRODUCCIÓN	18
1. OBJETIVOS	19
1.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
2. MARCO TEÓRICO	20
2.1. RECIPIENTE A PRESIÓN	20
2.2. GAS LICUADO DE PETRÓLEO (GLP)	20
2.3. API 510	21
2.3.1. PRACTICA DE INSPECCIÓN	21
2.3.2. EVALUACIÓN DE LA CORROSIÓN Y DEL ESPESOR MÍNIMO ACTUAL	23
2.3.3. INSPECCIÓN DE LOS RECIPIENTES A PRESIÓN	23
2.3.4. CALCULO DE VIDA REMANENTE Y VELOCIDAD DE CORROSION	24
2.3.5. CALCULO DE LA MÁXIMA PRESIÓN DE OPERACIÓN (MAWP)	25
2.4. STANDARD API 571	25
2.5. ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS	26
2.5.1. INSPECCIÓN VISUAL (IV)	26
2.5.2. PARTICULAS MAGNETICAS (MT)	27
2.5.3. LIQUIDOS PENETRANTES (LP)	27
2.5.4. CAMPOS MAGNETICOS EQUILIBRADOS (BFET)	28
3. METODOLOGÍA DEL PROYECTO	30
3.1. ETAPA No 1: CONSULTA BIBLIOGRÁFICA	31
3.2. ETAPA No 2: PROGRAMA DE INSPECCIÓN	33
3.3. ETAPA No 3: INFORME FINAL	33
4. ALCANCE	34
5. PRÁCTICA SEGURA	34
6. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL EQUIPO	35
6.1. INFORMACIÓN GENERAL	35
6.2. INFORMACIÓN DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN	36
6.3. MATERIALES DE DISEÑO	36
6.4. HISTÓRICOS DE OPERACIÓN INADECUADA	36

6.5. HISTÓRICOS DE MANTENIMIENTO, REPARACIÓN, ALTERACIÓN E INSPECCIÓN	37
7. PROGRAMA DE INSPECCIÓN	37
8. PROCEDIMIENTOS DE INSPECCIÓN	37
8.1. IDENTIFICACION DE LOS COMPONENTES DE LA BALA	38
8.2. INSPECCIÓN POR ULTRASONIDO SCAN A Y B	40
8.2.1. UBICACIÓN DE CML'S	40
8.2.2. MEDICIÓN DE ESPESORES EN CABEZALES (CAPS)	40
8.2.3. MEDICIÓN DE ESPESORES EN CUERPO	41
8.2.4. MEDICIÓN DE ESPESORES EN BOQUILLAS	43
8.3. INSPECCIÓN VISUAL EN EL RECIPIENTE	43
8.4. INSPECCIÓN EN LA ESTRUCTURA DE LOS SOPORTES	44
8.5. INSPECCIÓN POR CAMPOS MAGNETICOS EQUILIBRADOS (BFET)	45
8.6. INSPECCIÓN DEL RECUBRIMIENTO	46
9. CRITERIOS DE ACEPTACIÓN Y RECHAZO	47
9.1. CRITERIOS PARA EVALUACIÓN DE ESPESORES DE RETIRO	47
10. DIAGNOSTICO	49
10.1. RECONOCIMIENTO	49
10.2. INSPECCIÓN VISUAL	50
10.2.1. PLATAFORMAS Y PASARELAS	50
10.2.2. BASES EN ACERO	52
10.2.3. SOPORTES EN ACERO	55
10.2.4. TORNILLOS DE ANCLAJE	62
10.3. INSPECCIÓN DE LAS LÁMINAS DEL CUERPO	63
10.3.1. SUPERFICIE EXTERNA	63
10.3.2. SUPERFICIE INTERNA	63
10.4. INSPECCIÓN DE LAS LÁMINAS DE LOS CABEZALES	65
10.4.1. SUPERFICIE EXTERNA	65
10.4.2. SUPERFICIE INTERNA	66
10.5. INTERNOS DE LA CISTERNA	68
10.6. MANHOLE Y BOQUILLAS	69
10.7. DISPOSITIVO DE ALIVIO DE PRESIÓN	71
10.8. SISTEMA DE RECUBRIMIENTO	72

10.8.1.	RECUBRIMIENTO EXTERNO	72
10.8.2.	RECUBRIMIENTO INTERNO	77
10.9.	EVALUACIÓN DE ESPESORES DE CUERPO Y LOS CABEZALES POR UT	79
10.9.1.	EVALUACIÓN DE LOS ESPESORES DEL CUERPO	79
10.9.2.	EVALUACIÓN DE LOS ESPESORES EN LOS CABEZALES	81
10.9.3.	CALCULO DE LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN Y VIDA REMANENTE	82
10.9.4.	CALCULO DEL MAWP	83
10.9.5.	EVALUACION DEL ESFUERZO ADMISIBLE (S) UTILIZADO	84
11.	CONCLUSIONES	86
12.	RECOMENDACIONES	88
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	90
	ANEXOS	92

LISTA DE TABLAS

	<i>pág.</i>
Tabla 1: Información general.	36
Tabla 2: Información de diseño y construcción.	36
Tabla 3: Materiales de diseño.	36
Tabla 4: Histórico de operación inadecuada.	36
Tabla 5: Históricos de mantenimiento, reparación, alteración e inspección.	37
Tabla 6: Programa de inspección.	37
Tabla 7 Procedimientos escritos de Inspección.	38
Tabla 8: Espesores obtenidos por UT en los cuellos de las boquillas de la bala B-TK-001.	71
Tabla 9: Espesores promedio del recubrimiento.	76
Tabla 10: Resultados de la evaluación de los espesores por UT.	79
Tabla 11: Determinación de velocidad de corrosión y vida residual.	82
Tabla 12: Programa de recomendaciones	88
Tabla 13: Intervalos de inspección	88

LISTA DE FIGURAS

	<i>pág.</i>
Figura 1: Diagrama del fenómeno físico del BFET.	28
Figura 2: Resultados arrojados por el equipo HAWKEYE 2000.	30
Figura 3: Resultados arrojados por el equipo HAWKEYE 2000	38
Figura 4: Esquema de inspección UT en los cabezales	41
Figura 5: Esquema de ubicación de los CML´S y ejes de medición en el cuerpo de la bala.	42
Figura 6: Esquema de ubicación de los espesores tomados en el cuello de las boquillas.	43
Figura 7: Esquema de ubicación de los soportes en la bala B-TK-001.	44
Figura 8: Esquema de los soportes.	44
Figura 9: Esquema de inspección de las soldaduras de los soportes.	45
Figura 10: Esquema ubicación de las bases y soportes.	52
Figura 11: Indicaciones reportadas por medio de la técnica MT	56
Figura 12: Espesores VS Longitud de la bala.	75

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

	<i>pág.</i>
Fotografía 1: Marcación del CML en Fotografía 2: CML	41
Fotografía 3: CML en cuerpo.	42
Fotografía 4: Panorámica de la bala sobre la barcaza a inspeccionar.	49
Fotografía 5: Plataforma ubicada en el cabezal 2.	50
Fotografía 6: Evaluación de las juntas soldadas	51
Fotografía 7: Base No 1 ubicada entre virola 1- cabezal 1	53
Fotografía 8: Corrosión general por pérdida de recubrimiento	53
Fotografía 9: Base No 2 ubicada entre virola 17- cabezal 2	54
Fotografía 10: Soporte No 1 Con corrosión general por pérdida de recubrimiento.	55
Fotografía 11: Soporte No 2 Con corrosión general por pérdida de recubrimiento.	55
Fotografía 12: Perdida de espesor por corrosión en la superficie inferior	56
Fotografía 13: Indicación No 1 encontrada por medio de la técnica MT.	57
Fotografía 14: Resultados de la inspección BFET en la indicación No 1.	57
Fotografía 15: Inspección MT de la reparación en la indicación No 1.	58
Fotografía 16: Resultados de la inspección BFET en la reparación de la indicación No 1.	59
Fotografía 17: Indicación No 2 Encontrada por medio de la técnica MT.	60
Fotografía 18: Resultados de la inspección de la indicación No 2 por medio de la técnica BFET.	60
Fotografía 19: resultados de la inspección MT	61
Fotografía 20: Resultado de la inspección BFET al reparar la indicación No 2.	61
Fotografía 21: Anclajes con principios de corrosión.	62
Fotografía 22: Superficie externa de las	63
Fotografía 23: Corrosión general en la posición horaria	64
Fotografía 24: Soldadura interna del cuerpo de la bala B-TK-001	64
Fotografía 25: Superficie externa del cabezal 1.	65
Fotografía 26: Superficie interna del cabezal 2	66
Fotografía 27: Coupling con corrosión por desgaste del recubrimiento.	66

Fotografía 28: Coupling y boquilla con corrosión por	67
Fotografía 29: Rompeolas con inicios de corrosión.	68
Fotografía 30: Tornillos de anclaje del rompeolas con corrosión.	68
Fotografía 31: Principio de corrosión en brida N4.	69
Fotografía 32: Manhole ubicado en la parte superior del cabezal 1.	69
Fotografía 33: Tapa del manhole con pérdida del recubrimiento	70
Fotografía 34: Principio de corrosión en brida N3	70
Fotografía 35: Recubrimiento externo.	72
Fotografía 36: Realización de la prueba de esponja húmeda (Holliday).	73
Fotografía 37: Desprendimientos localizados de	73
Fotografía 38: Calibración del equipo Positector.	74
Fotografía 39: Realización de la prueba de espesores de recubrimiento.	74
Fotografía 40: Recubrimiento interno con pérdidas localizadas en la parte inferior.	77
Fotografía 41: Desprendimiento, ampollamiento y Perdidas localizadas del recubrimiento en el interior de la Bala B-TK-001.	77
Fotografía 42: Principio por corrosión debido a perdida localizada del	78
Fotografía 43: Cabezal No 1 con corrosión general debido a	78
Fotografía 44: Medición de espesores Scan A	79
Fotografía 45: Medición de espesores Scan B en CML No 5	80
Fotografía 46: Placa de identificación de la bala B-TK-001	89

LISTA DE ANEXOS

	<i>Pág</i>
ANEXO A REPORTE DE INSPECCIÓN POR MT.	92
ANEXO B REPORTE DE INSPECCIÓN POR BFET EN SOPORTES.	92
ANEXO C REPORTE DE ESPESORES POR UT.	94
ANEXO D REPORTE DE MEDICION DE ESPESORES DE RECUBRIMIENTO / PRUEBA DE ESPONJA HÚMEDA.	96
ANEXO E REPORTE DE INSPECCIÓN POR BFET EN SOLDADURAS INTERNAS DEL CUERPO.	99
ANEXO F REPORTE DE INSPECCIÓN POR BFET EN SOLDADURAS INTERNAS DE CABEZALES.	100

RESUMEN

TÍTULO:

EVALUACIÓN DEL ESTADO MECÁNICO Y DE CORROSIÓN DE UN RECIPIENTE A PRESIÓN QUE ALMACENA GASES LICUADOS DE PETRÓLEO E HIDROCARBUROS PERTENECIENTE A ECOPEPETROL S.A, BAJO LA NORMA API 510*

*

AUTOR: TORRES PRADA, William Mauricio**.

PALABRAS CLAVES: Cuerpo, Caps, Bala, Recipiente a presión, Velocidad de corrosión, Inspección externa, Inspección Interna, Boquillas, Espesores de Retiro, Espesor mínimo, API 510, END, BFET

DESCRIPCIÓN DEL CONTENIDO:

Con el fin de implementar y promover una cultura de previsión y ejecución de acciones necesarias para una operación segura de los equipos usados en el sector energético y dentro de la política de calidad de la industria del petróleo colombiana, se establece la necesidad de asegurar la confiabilidad de los equipos que hacen parte de los campos de producción, terminales y plantas de procesos, que componen toda la infraestructura de este importante sector económico del país

El objetivo principal de este proyecto fue realizar la evaluación del estado mecánico y de corrosión de un recipiente a presión que almacena gases licuados de petróleo e hidrocarburos bajo la norma API 510, determinando los requisitos mínimos para una correcta aptitud al servicio de los recipientes a presión construidos bajo la norma ASME Sección VIII, División 1. y que funcionan como directrices para la inspección, reparación, alteración y reconstrucción de recipientes a presión en este caso en el campo de los procesos de la industria petroquímica donde la normativa brinda los pasos para dar resultados sobre la usabilidad del recipiente indicando si es apto o no para continuar en el servicio. y se entregan las recomendaciones necesarias, y el análisis realizado por medio de técnicas no destructivas, según corresponde en este proyecto como Practica Empresarial.

* Trabajo de Grado.

** Facultad de Ingenierías Físico-Químicas, Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales.
Tutor: Ing. German Ricardo Vergara González. Cotutor: Ing. Iván Uribe Pérez.

ABSTRACT

TÍTULO:

EVALUATION OF THE MECHANICAL AND CORROSION CONDITION OF A PRESSURE VESSEL STOCKING LIQUEFIED PETROLEUM GASES AND HYDROCARBONS OWNED TO ECOPETROL SA, ACCORDING TO THE API 510 STANDARD*

*

AUTHOR: TORRES PRADA, William Mauricio.**

KEYWORDS: Body, Caps, Bala, pressure vessel, corrosion rate, external inspection, Internal Inspection, Nozzles, Retirement thickness, minimum thickness, API 510, NDT, BFET.

DESCRIPTION OF CONTENTS:

To implement and promote a culture of anticipation and execution of necessary actions for a safe operation of the equipment used in the energy sector and within the quality policy of Colombian oil industry, there are an established need to ensure reliability equipment that are part of the production fields, terminals and processing plants that make up the infrastructure of this important economic sector of the country.

The main objective of this project was to conduct the evaluation of corrosion and mechanical condition of a pressure vessel that stores liquefied petroleum gases and hydrocarbons under the API 510 standard, determining the minimum requirements for proper aptitude for service of pressure vessels constructed under the ASME Section VIII, Division 1 and that works as guidelines for the inspection, repair, alteration and reconstruction of pressure vessels in this case in the field of petrochemical industry processes where regulations provides the steps to give results on the usability of the container as if it is suitable or not to continue in service and indicated the necessary recommendations, and analysis by means of non-destructive techniques, as applicable to this project as business practice.

* Research work

**Physical Chemistry Engineer School. Metallurgical Engineer and Materials Science College. Tutor: Ing. German Ricardo Vergara González. Cotutor: Ing. Iván Uribe Pérez.

INTRODUCCIÓN

Para la educación colombiana uno de los principales retos es brindar al sector industrial los conocimientos y aptitudes que los estudiantes adquieren en las universidades, para construir en cooperación mutua una sociedad moderna con desarrollo social y económico sostenible, sin embargo es importante invitar al sector industrial a participar activamente en estos procesos de cambio y de manera especial en la promoción de la cultura del trabajo seguro y la ejecución de acciones necesarias para proporcionar confiabilidad a los procesos y equipos usados en las diferentes plantas del sector energético colombiano.

Parte del diario transcurrir son los incidentes que han comprometido la integridad de los equipos que afectan la imagen del cliente, el medio ambiente, y en algunas ocasiones la integridad física de los trabajadores, generando pérdidas económicas, sociales y medio ambientales que en algunos casos son incalculables. Un ejemplo de estos incidentes está relacionado con las válvulas de seguridad (PSV) de las balas debido posiblemente a fallas de operación, falta de mantenimiento, errores humanos, entre otras; que generan las pérdidas mencionadas anteriormente a la compañía y es por esta razón que el objetivo principal de este proyecto realizar la evaluación del estado mecánico y de corrosión de un recipiente a presión que almacena gases licuados de petróleo e hidrocarburos bajo la norma API 510 que determinara lo requisitos mínimos de funcionamiento confiable y seguro del equipo, en donde se evidenciara la importancia del uso de la norma para realizar la inspección.

Se manifiesta entonces que el alcance de este proyecto involucra todos los resultados de la inspección realizada en la bala de referencia, apoyado en una serie de actividades que sustentan el proceso en el cual se determina si el equipo está o no apto para funcionar y se entregan las recomendaciones acorde a los hallazgos encontrados por cada uno de los ensayos no destructivos que se aplicaron en este proyecto, con el objetivo de determinar y encontrar discontinuidades, defectos de soldaduras, daños mecánicos u otros problemas que puedan afectar la integridad del equipo y su correcto funcionamiento.

1. OBJETIVOS

Evaluar el estado mecánico y de corrosión de un recipiente a presión que almacena gases licuados de petróleo e hidrocarburos bajo la norma api 510.

1.1.OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Verificar la máxima presión de operación (MAWP) del recipiente mediante la metodología de evaluación planteada en la norma API 510.
- Revisar los códigos, normas y prácticas recomendadas aplicables a la inspección de recipientes a presión que almacenan gases licuados de petróleo.
- Elaborar el programa de Inspección, concluir y recomendar de acuerdo a las indicaciones encontradas.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. RECIPIENTE A PRESIÓN

Un recipiente a presión es un contenedor cerrado sometido a una presión diferente a la atmosférica proveniente de fuerzas externas e independientemente de su forma y dimensiones. Diseñados, según su uso, para almacenar o procesar cualquier tipo de fluido, y que según su geometría pueden ser horizontales o verticales, cilíndricos o esféricos. Estos equipos son ampliamente usados por su capacidad de almacenamiento y por la eficiencia de las juntas soldadas que lo componen.

2.2. GAS LICUADO DE PETRÓLEO (GLP)

Es un hidrocarburo derivado del petróleo que se obtiene durante el proceso de refinación de otro derivado denominado gasolina y es producido en estado de gaseoso como vapor y que mediante compresión y enfriamiento puede condensarse y pasar al estado líquido.

Su transporte se hace desde las refinerías, a las plantas de almacenamiento y finalmente los usuarios, por medio de carro-tanques o recipientes portátiles. El Gas Licuado de Petróleo (GLP) es un combustible alternativo a la gasolina y el diesel, en su composición química predominan los hidrocarburos butano y propano o sus mezclas y contiene propileno o butileno o mezclas de estos como sus impurezas principales.

Características:

- Permanece en estado gaseoso a temperatura normal y presión atmosférica
- Se almacena y transporta en estado líquido manteniéndolo bajo presión en los tanques.
- No tiene color, es transparente a la luz visible.
- Es inoloro cuando se produce y licua, y que para detectarlo cuando se fugue se le agrega una sustancia de olor penetrante denominada etil mercaptano.
- Es altamente inflamable, cuando se escapa y vaporiza.
- Es excesivamente frío, por su proceso de producción a temperaturas bajo 0°C, su contacto con la piel humana produce serias quemaduras.

2.3. API 510¹

Este código cubre la inspección, mantenimiento, reparación, alteración y recalcu para recipientes a presión utilizados por la industria de procesos de petróleo y químicos.

El uso de este código de inspección es recomendada por las organizaciones que emplean o realizan inspecciones, personal certificado, inspectores autorizados u organizaciones que están técnicamente capacitadas para inspeccionar, reparar, modificar o recalcul condiciones en recipientes a presión.

Es aplicable a las balas construidas en conformidad con el Código *ASME, Sección VIII, División I “Diseño, Construcción e Inspección de Tanques y Recipientes de Presión”*, u otros códigos de recipientes a presión aprobados, para balas no estándar, y a otras balas construidas sin código o aprobado como jurisdicciones especiales, por otra parte reconoce los conceptos de aptitud para el servicio para la evaluación de la degradación continua de los componentes del recipiente a presión. La norma API 579 dispone en detalle los procedimientos de evaluación para formas específicas de degradación que se hacen referencia en la norma API 510.

2.3.1. PRACTICA DE INSPECCIÓN¹

El Código entrega los criterios necesarios para realizar la inspección de un recipiente a presión, y dentro de ellos enfatiza la necesidad de mantener la seguridad en cada uno de los procesos, recomienda tener en cuenta los parámetros establecidos por la oficina de Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA) en lo relacionado a espacios confinados y las demás normas de seguridad de OSHA que pueden estar relacionadas con el servicio de inspección en recipientes a presión.

El modo de deterioro y falla en los recipientes a presión está condicionado por la presencia de contaminantes provenientes de los fluidos que almacena, tales como azufre, cloro, sulfuro de hidrógeno, hidrógeno, carbono, cianuros, ácidos, agua, u otras especies corrosivas que pueden reaccionar con metales y causar fenómenos corrosivos, también las variaciones de presión de manera significativa en algunas partes del equipo son comunes y especialmente en los puntos de concentración

¹ Fuente: Standard API 510, Pressure Vessel Inspection Code: Maintenance Inspection, Rating, Repair, and Alteration, June 2006

de esfuerzos, si las presiones son altas y las reversiones son frecuentes, las fallas de los componentes pueden producirse debido a la fatiga, sin embargo también pueden ocurrir por cambios cíclicos de temperatura, además los lugares en donde los metales están soldados con diferentes coeficientes térmicos de expansión pueden ser susceptibles a la fatiga térmica, entre otros.

Para la determinación de la velocidad de corrosión uno de los siguientes métodos será empleado:

- a) La velocidad de corrosión puede calcularse a partir de datos obtenidos por el propietario o el usuario en recipientes a presión que tengan igual o similar servicio.
- b) La velocidad de corrosión puede ser calculada mediante la experiencia del dueño o el usuario, y también por la recolección de datos publicados sobre recipientes en condiciones de servicio similares.
- c) En el caso que la velocidad de corrosión no pueda ser calculada mediante los ítems anteriores, se procederá a hacer determinaciones “on stream” (en funcionamiento) después de aproximadamente 1000 horas de servicio, mediante el uso de equipos diseñados para el monitoreo de corrosión o el uso de mediciones no destructivas del espesor actual del recipiente o sistema.

Para una detallada inspección del equipo, la técnica de inspección visual es el método más importante y más universalmente aceptado de inspección, también existen otros métodos que pueden utilizarse como complemento de la inspección visual, el examen de partículas magnéticas visibles o fluorescentes, el examen de líquidos penetrantes, el examen radiográfico la medición de espesores por ultrasonido, entre otros y según sea el caso.

Una vez establecidas las técnicas no destructivas se proyecta la inspección de las partes que componen el recipiente a presión, se inspeccionan las superficies de los cabezales o “caps” del recipiente para detectar posibles grietas, incrustaciones, protuberancias y otras señales de deterioro en las superficies. Es necesario realizar la inspección de las juntas soldadas y de las zonas afectadas térmicamente adyacentes, en donde se producen grietas y otras indicaciones por el servicio y así mismo se debe inspeccionar todas las ventanas de acceso (manholes) al interior del recipiente, las boquillas y válvulas con el objetivo de

encontrar cualquier indicación que pueda afectar la aptitud al servicio del recipiente.

2.3.2. EVALUACIÓN DE LA CORROSIÓN Y DEL ESPESOR MÍNIMO ACTUAL²

Es claro que la corrosión puede causar una pérdida general localizada del espesor, con esta condición se hace necesario determinar el espesor mínimo actual del recipiente y la velocidad de corrosión presente. El código indica que para su evaluación se deberá escoger uno de estos posibles métodos:

- a) Cualquier técnica no destructiva disponible tal como inspección ultrasónica o radiográfica que no afecte la seguridad del recipiente, puede ser usada para asegurar las determinaciones de espesor mínimo.
- b) Si es posible a través de aberturas disponibles, se pueden realizar las mediciones.
- c) La profundidad de la corrosión puede ser determinada calibrando las superficies no afectadas por la corrosión dentro del recipiente, cuando las superficies estén junto al área corroída.

2.3.3. INSPECCIÓN DE LOS RECIPIENTES A PRESIÓN²

El Código da prioridad a las condiciones generales del recipiente que deben ser medidas al momento de la inspección, según se considere necesario por el inspector autorizado, y se pueden utilizar diferentes técnicas no destructivas, incluida la inspección visual, para su evaluación.

- **Inspección Externa:** cada recipiente debe ser sometido a una inspección visual externa, como mínimo cada 5 años. La inspección debe al menos determinar las condiciones del aislamiento o recubrimiento exterior, las condiciones de los soportes, la expansión permisible y el alineamiento general del recipiente sobre sus soportes.
- **Inspección Interna:** la inspección interna debe ser como mínimo cada 5 años y se recomienda realizar al mismo tiempo que la inspección externa.

² Fuente: Standard API 510, Pressure Vessel Inspection Code: Maintenance Inspection, Rating, Repair, and Alteration, June 2006

No debe exceder la mitad del tiempo de vida útil remanente, tomando como base la velocidad de corrosión calculada o 10 años de uso cualquiera que sea el menor.

2.3.4. CALCULO DE VIDA REMANENTE Y VELOCIDAD DE CORROSION

Por otra parte para el cálculo de la vida remanente, el código entrega la siguiente ecuación matemática:

$$vida.remanente.en.años = \frac{t_{actual} - t_{requerido}}{velocidad.de.corrosion.(pulg.(mm)por.año)}$$

t_{actual} = Espesor actual en pulgadas o milímetros, obtenido en el momento de la inspección.

$t_{requerido}$ = Espesor requerido en pulgadas o milímetros.

A largo plazo (LT), el código propone que la velocidad de corrosión debe ser calculada por la siguiente formula:

$$velocidad.de.corrosion.LT. = \frac{t_{inicial} - t_{actual}}{tiempo(años)entre\ t_{inicial} - t_{actual}}$$

A corto plazo (ST), el código propone que la velocidad de corrosión debe ser calculada por la siguiente formula:

El código propone que la velocidad de corrosión debe ser calculada por la siguiente formula:

$$velocidad.de.corrosion.ST. = \frac{t_{previo} - t_{actual}}{tiempo(años)entre\ t_{previo} - t_{actual}}$$

$t_{inicial}$ = Espesor en pulgadas o milímetros, ubicado en la misma localización del t_{actual} medido en la instalación del equipo o en el comienzo de una nueva velocidad de corrosión ambiental.

t_{previo} = Espesor, en pulgadas o milímetros, para la misma localización de medición del t_{actual} durante la inspección previa.

2.3.5. CALCULO DE LA MÁXIMA PRESIÓN DE OPERACIÓN (MAWP)³

Es la máxima presión manométrica medida y permitida en el punto más alto del recipiente o para el componente, en su posición final de operación a su coincidente temperatura, de cargas en posición de operación y espesores finales como se construyó. Esta presión es obtenida de los cálculos para cada elemento del recipiente tomando sus espesores nominales y los considerados por la aplicación de otras cargas que no sean la presión excluyendo el sobre-espesor por corrosión.

Sin embargo, debido a las pérdidas de espesor de pared por fenómenos corrosivos hacen necesaria la verificación del MAWP o de ser necesario el respectivo recalcu del mismo. El código API 510 determina la forma de calcular la máxima presión de operación (MAWP) para inspección de equipos que se encuentran en servicio mediante el uso de la norma ASME Sección VIII, Div. I .UG 45.

- MAWP para el cuerpo (Esfuerzo circunferencial)

$$P = \frac{2SEt_{min}}{R + 0,6t_{min}}$$

- MAWP para los cabezales (Cabezal hemisférico)

$$P = \frac{2SEt_{min}}{R + 0,2t_{min}}$$

P = Presión de diseño (psi)

S = Esfuerzo admisible del material (psi)

E = Factor de eficiencia de Junta

t_{min} = Espesor mínimo admisible, (pulg)

R =Radio interno del cabezal (pulg)

2.4. STANDARD API 571⁴

El Código *API 571 "Mecanismos de Daño que Afectan a Equipos Fijos en la Industria de Refinación"* es la norma recomendada que determina los mecanismos de daños que afectan los equipos de la industria petroquímica y de refinación en

³ Fuente: Standard ASME Section VIII, Div I, Boiler and Pressure Vessel Code, June 2004

⁴ Fuente: Standard API 571, Damage Mechanisms Affecting Fixed Equipment in the Refining Industry, first edition, December 2003.

recipientes a presión, tuberías y tanques de almacenamiento. Las descripciones planteadas no tienen como propósito suministrar una guía definitiva para cada situación que se pueda encontrar, pero sirven como guías.

El código entrega las funciones del ingeniero inspector en la identificación de los materiales y equipos afectados, los factores críticos, morfología y apariencia del daño, prevención y mitigación del mismo, de igual forma indica los diferentes daños y los cataloga por pérdida general o localizada de material debido a:

- Corrosión y/o Erosión
- Agrietamiento superficial y subsuperficial
- Micro-fisuras
- Formación de micro-huecos
- Cambios metalúrgicos.

Además clasifica los mecanismos de daño de la siguiente manera:

- a) Daño Mecánico y Metalúrgico.
- b) Pérdida uniforme o localizada de espesor.
- c) Corrosión a alta temperatura.
- d) Agrietamiento debido al medio ambiente.

2.5. ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

Son Técnicas diseñadas para proporcionar el control de calidad de los materiales usados en ingeniería, procesos de manufactura, confiabilidad de productos en servicio y su mantenimiento. Para realizar este proyecto se usaron los siguientes ensayos no destructivos.

2.5.1. INSPECCIÓN VISUAL (IV)

La inspección visual es el ensayo no destructivo más comúnmente utilizado en la industria. La técnica requiere que el operador mantenga su mirada en la superficie de la pieza que se inspecciona. La inspección visual es inherente en la mayoría de los otros métodos de ensayo e implica la observación visual de la superficie de un objeto de prueba para evaluar la presencia de discontinuidades en la superficie.

Pueden ser por visión directa, utilizando la línea de visión de la vista, o pueden ser mejorados con el uso de instrumentos ópticos, tales como lentes de aumento, espejo, boroscopios, dispositivos de carga acoplada (CCD) y los sistemas de visualización asistida por ordenador (Visión Remota).

2.5.2. PARTICULAS MAGNETICAS (MT)

Las Partículas Magnéticas utilizan uno o más campos magnéticos para localizar discontinuidades superficiales y cerca de la superficie en materiales ferromagnéticos. El campo magnético se puede aplicar con un imán permanente o un electroimán. Cuando se utiliza un electroimán, el campo está presente sólo cuando se está aplicando la corriente. Cuando el campo magnético se encuentra con una discontinuidad transversal a la dirección del campo magnético, las líneas de flujo producen un campo de fuga de flujo magnético propio. Dado que las líneas de flujo magnético no viajan bien en el aire, cuando se aplican partículas ferromagnéticas muy finas de color (partículas magnéticas) a la superficie, estas serán arrastradas a la discontinuidad, lo que reduce el espacio de aire y produciendo una indicación visible en la superficie de la pieza. Las partículas magnéticas pueden ser un polvo seco o en suspensión en una solución líquida, y puede ser coloreado con un colorante visible o un colorante fluorescente que emite fluorescencia bajo una luz ultravioleta.

2.5.3. LIQUIDOS PENETRANTES (LP)

El principio básico de la prueba de líquidos penetrantes ocurre cuando la viscosidad de un líquido es muy baja (muy fluido), el líquido (el penetrante) que se aplica a la superficie de una pieza, va a penetrar en las fisuras y huecos abiertos a la superficie. Una vez que el exceso de penetrante se elimina, el penetrante atrapado en los huecos fluirá de vuelta, creando una indicación. La Prueba de líquidos penetrantes se puede realizar en materiales magnéticos y no magnéticos, pero no funciona bien en materiales porosos. Los penetrantes pueden ser "visibles", lo que significa que se puede ver en la luz natural, o fluorescente, lo que requiere el uso de una luz ultravioleta. Cuando se realiza una inspección de PT, es necesario que la superficie que está siendo probada este limpia y libre de cualquier material extraño o líquidos que podrían bloquear la entrada del penetrante en los huecos o fisuras abiertas a la superficie de la pieza.

2.5.4. CAMPOS MAGNETICOS EQUILIBRADOS (BFET)⁵

La técnica BFET fue desarrollada para mejorar las respuestas de señal producidos a partir de pequeños defectos tales como grietas. En esta técnica, bobinas electromagnéticas se enrollan y se disponen en un estado de equilibrio. Este estado de equilibrio se consigue mediante la colocación de bobinas tanto en los ejes geométricos "x" y "z" en potencial cero el uno al otro.

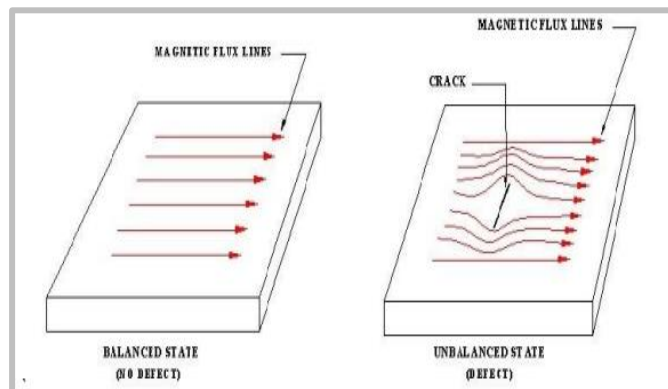
Con la bobina de excitación en la geometría "x" y la bobina de sensor en la geometría "z", se produce una señal diferencial sobre un área defectuosa. En detalle, la corriente alterna producida por la bobina de excitación es uniforme y sin molestias, cuando no hay defectos presentes. Por el contrario, la corriente se interrumpe cuando existe un defecto y es obligada a viajar alrededor de ella de una manera distorsionada. Es este estado de distorsión el que hace que las bobinas se desequilibren y por lo tanto produce una indicación para el usuario, que muestra la presencia de un defecto. Esta respuesta de la señal puede ser medida a través del uso de los estándares de calibración adecuados, en donde la profundidad de la grieta se puede calcular.

Figura 1: Diagrama del fenómeno físico del BFET.

Fuente, <http://testex-ndt.com/files/downloads/ASNTCracking.pdf>

El HAWKEYE 2000 es un equipo desarrollado por la empresa americana TESTEX Inc. y usa los principios de la técnica de equilibrio del campo electromagnético (BFET) para detectar grietas, discontinuidades superficiales y sub-superficiales en soldaduras y metales comunes.

Con velocidades máximas de escaneo de un 1 pie/seg, el HAWKEYE 2000 es



mucho más rápido que las técnicas de END convencionales, tales como la prueba de partículas magnéticas o líquidos penetrantes.

⁵ Fuente, <http://testex-ndt.com/products/hawkeye-2000-weld-tester/>

El equipo muestra los resultados en la pantalla en 4 vistas que a continuación se describen.

VISTA No 1: representa el ángulo de distorsión del campo magnético generado por el equipo en las direcciones espaciales descritas anteriormente y que en el caso de mostrar alteraciones se pueden interpretar como las posibles discontinuidades de la superficie inspeccionada. Este valor se relaciona con las tonalidades establecidas en la escala de colores y muestra que para valores de fase mayores a 200, se detecta una indicación relevante y obtiene un cambio de color.

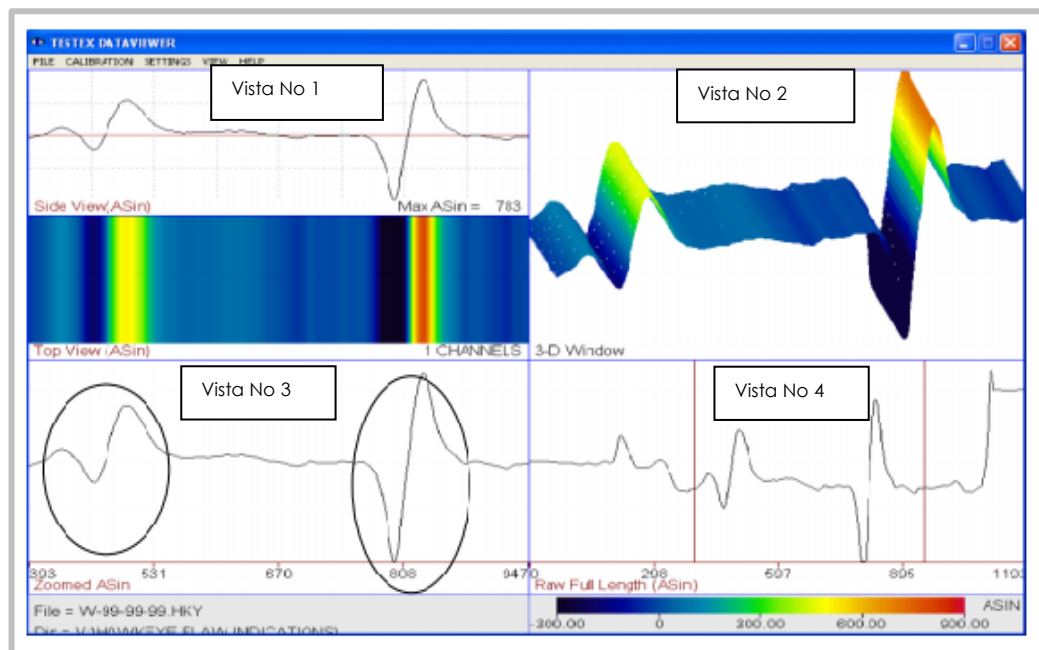
VISTA No 2: representa un perfil 3D del escaneo realizado.

VISTA No 3: es un acercamiento del barrido seleccionado en la vista No 4, está relacionada con la vista No 1.

VISTA No 4: representa todo el barrido realizado sobre la superficie a inspeccionar, permite sectorizar, ampliar o reducir la Vista No 3, para observar las indicaciones.

Figura 2: Resultados arrojados por el equipo HAWKEYE 2000.⁶

Fuente, <http://testex-ndt.com/files/downloads/ASNTCracking.pdf>



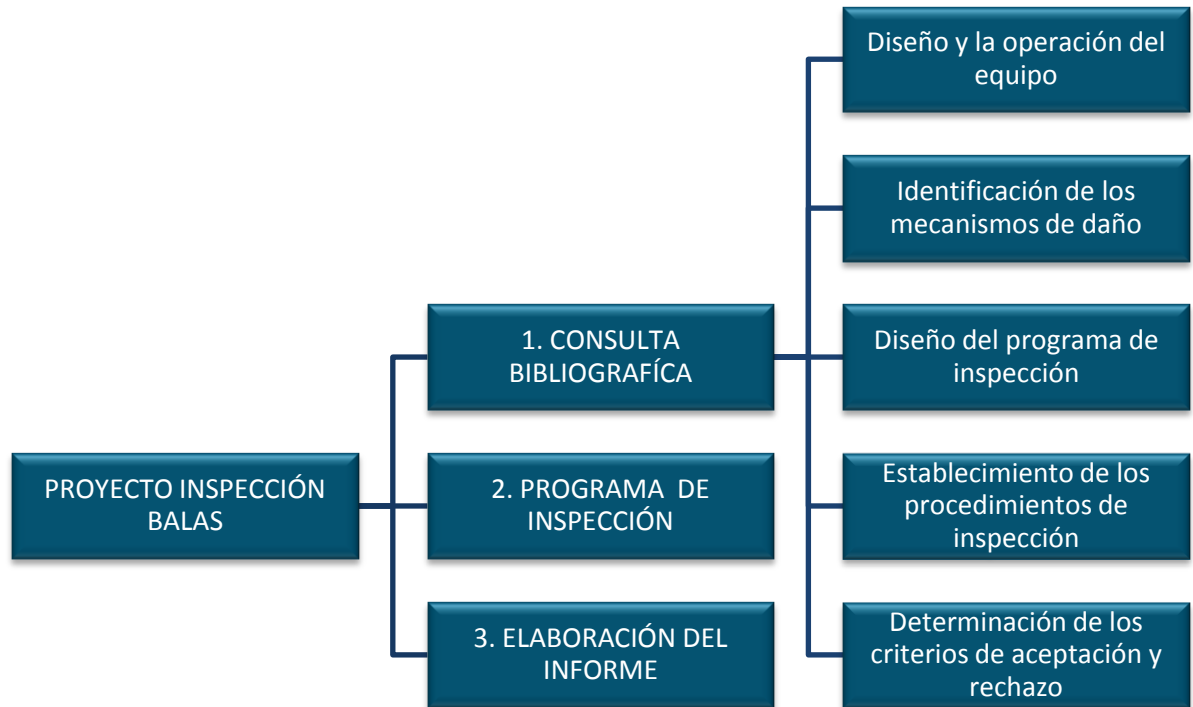
El HAWKEYE 2000 prácticamente se puede utilizar en cualquier lugar donde las grietas generen problemas, incluyendo la inspección en materiales metálicos ferrosos. Puede ser utilizado sobre recipientes a presión, tanques en general, torres de molino de viento, plantas de almacenamiento y puentes.

Ofrece en tiempo real el procesamiento de datos, y estos se pueden visualizar en horizontal o vertical. Ofrece hasta ocho (8) canales y un rango de frecuencia de 5 Hz – 30KHz. Tiene muchas aplicaciones en soldadura, incluyendo soldaduras a tope, circunferenciales, soldaduras en T, entre otras. En las superficies, el HAWKEYE 2000 requiere un mínimo de preparación y detecta las indicaciones superficiales y sub-superficiales con o sin recubrimientos, grietas, socavaduras, porosidades. Detecta grietas a una profundidad de 0.125 o 1/8" (3mm) de la superficie de acero al carbono, y cubre una franja de hasta 8"(203mm) en un solo paso.

3. METODOLOGÍA DEL PROYECTO

Este proyecto se desarrolló en tres etapas, que se describirán a continuación:

Diagrama 1: Etapas de la metodología del proyecto.



Fuente, Autor

3.1. ETAPA No 1: CONSULTA BIBLIOGRÁFICA

Se realizó una revisión bibliográfica que incluyó el uso de las normas técnicas, códigos, procedimientos, prácticas seguras y conceptos académicos de manera permanente y que fundamenta el desarrollo del trabajo en campo y del proyecto de la siguiente manera.

- **REVISIÓN DE LOS DOCUMENTOS DE DISEÑO Y OPERACIÓN DEL EQUIPO:** el objetivo planteado fue el de recolectar la información de construcción del recipiente, así mismo se planteó la necesidad de recolectar todos los históricos de mantenimiento y operación que se dispusieran, para planear la inspección de acuerdo a las condiciones de servicio del recipiente. No se entregó el plano de construcción del recipiente por parte del dueño del equipo.
- **IDENTIFICACIÓN DE LOS MECANISMOS DE DAÑO:** con la información obtenida durante la revisión de los documentos mencionados anteriormente en la consulta bibliográfica, fue necesario estudiar los posibles mecanismos

de daño, de acuerdo a variables como: servicio, tipo de fluido que almacena, ambiente de servicio, presión de operación, etc. Encontrando que los posibles mecanismos de daño que podrían ocurrir son:

- Fatiga Mecánica
 - Corrosión Galvánica
 - Corrosión Atmosférica
 - Corrosion bajo esfuerzos (SCC)
 - Corrosión bajo esfuerzos y cloruros (CI SCC)
 - Fatiga por Corrosión
 - Fragilizarían por Hidrogeno
 - Corrosión por Picadura
 - Corrosión por Rendijas
-
- **DISEÑO DE LA METODOLOGÍA DE INSPECCIÓN:** Una vez fueron identificados los posibles mecanismos de daño, se enfocó el proyecto a inspeccionar y determinar el estado del recipiente a presión y cada uno de sus componentes por medio de los ensayos no destructivos planteados. El programa de inspección fue organizado de la siguiente manera por los inspectores de la corporación CIMA Cartagena.
 - Ubicación de los mecanismos de daño presentes.
 - Identificación de los componentes que puede sufrir un daño en específico.
 - Aplicación del ensayo no destructivo adecuado para detectar el mecanismo de daño, siguiendo los procedimientos de inspección establecidos por la corporación CIMA, de acuerdo a las especificaciones técnicas y las normas correspondientes.
 - Identificación y evaluación del daño, si existe.
 - Extensión de la inspección.

Es necesario indicar que durante esta parte del proceso de evaluación, se tuvo en cuenta lo establecido por los códigos, normas, prácticas recomendadas y procedimientos de inspección.

- **DETERMINACIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS DE INSPECCIÓN:** con la metodología propuesta en el programa de inspección diseñado, se recurrió a los códigos, normas, prácticas recomendadas y procedimientos

establecidos por corporación CIMA en su plan de calidad para establecer cada uno de los pasos en cada técnica no destructiva, y así mismo en cada etapa del programa de inspección.

- **DETERMINACIÓN DE LOS CRITERIOS DE ACEPTACIÓN Y RECHAZO:** Establecidos los mecanismos de daño, el programa y los procedimientos de inspección, se asignaron los criterios de aceptación y rechazo establecidos en el código *API 510*, *ASME Sección VIII, División 1* y las especificaciones técnicas establecidas por el dueño del equipo, para la evaluación del estado mecánico y de corrosión de la bala.

3.2. ETAPA No 2: PROGRAMA DE INSPECCIÓN

Con la información obtenida y clasificada, se procedió a realizar la evaluación del estado mecánico y de corrosión de la bala, se dio inicio al trabajo de campo que incluyó la aplicación de cada uno de los ensayos no destructivos establecidos para cada componente con el objetivo de encontrar las posibles indicaciones y evaluarlas.

Es importante aclarar que en esta etapa se contó con el apoyo de profesionales altamente capacitados y certificados en cada una de las técnicas.

La evaluación del estado mecánico y de corrosión fue realizada por el inspector autorizado API 510 y conto con el apoyo de Ingenieros y Técnicos certificados por la ASNT en cada una de las técnicas propuestas.

3.3. ETAPA No 3: INFORME FINAL

Con la información obtenida del trabajo en campo, se procedió a organizar y procesar cada uno de los hallazgos encontrados, concluyendo si el recipiente es

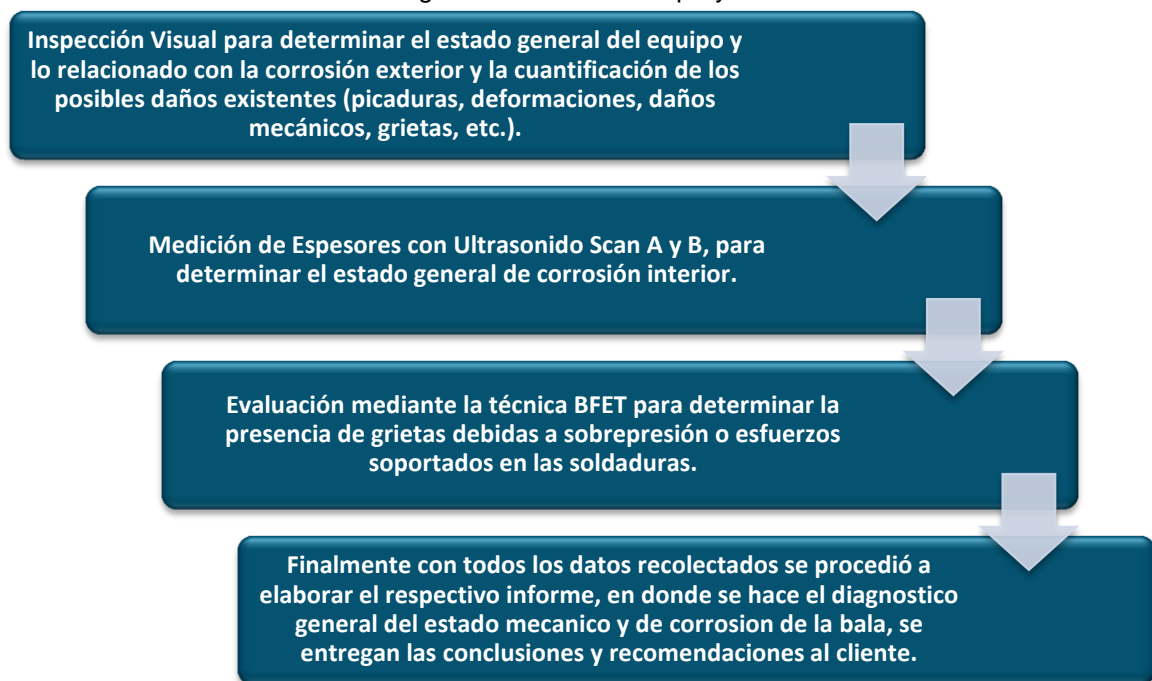
apto o no para continuar en servicio.

Se emitieron las recomendaciones necesarias, según lo establecido en la norma API 510 y los resultados arrojados por las técnicas y cálculos correspondientes. Toda la información recolectada en esta práctica empresarial se entrega en el informe final del trabajo de grado para su posterior evaluación.

4. ALCANCE

El presente Informe involucra los resultados de la inspección realizada en la bala de referencia y cada uno de sus componentes. A continuación se describen cada una de las actividades planeadas.

Diagrama 2: Alcance del proyecto.



Fuente, Autor

5. PRÁCTICA SEGURA

Se realizó la evaluación de riesgos potenciales a los que estaban expuestos el personal de inspección en el proyecto, para esta actividad se presentó el respectivo Análisis de Riesgo (AR) que exige el cliente para desarrollar actividades

de mantenimiento en sus instalaciones, dentro de las condiciones evaluadas se pueden destacar:

- El estado de limpieza de la bala.
- La no presencia de elementos que puedan generar riesgos de caída.
- Trabajo en alturas.
- Trabajos en espacios confinados.

6. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL EQUIPO

6.1. INFORMACIÓN GENERAL

Tabla 1: Información general.

PROPIETARIO/USUARIO	---
TIPO DE BALA	CISTERNA HORIZONTAL
TAG/Nro CABEZALITAL	B-TK-001
LOCALIZACIÓN	BARCAZA 001

Fuente, Autor

6.2. INFORMACIÓN DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

Tabla 2: Información de diseño y construcción.

CÓDIGO DE CONSTRUCCIÓN	ASME SECC VIII DIV I
SERVICIO	PROPILENO
FECHA CONSTRUCCIÓN	1993
TRATAMIENTO POST SOLDADURA	NO REQUERIDO
LONGITUD	1597,62"
DIÁMETRO NOMINAL (PULG)	131.875"
PRESIÓN DE DISEÑO (PSI)	250 PSI A 150°F
MDMT	-20°F A 150 PSI
PRESIÓN DE PRUEBA HIDROSTÁTICA (PSI)	375 PSI
TOLERANCIA A CORROSIÓN	0"
ESFUERZO MÁX TOLERADO	HEAD 20.700 SHELL 20.200
EFICIENCIA DE JUNTA	HEAD 85% SHELL 100%
NUMERO DE VIOLAS	17
NUMERO DE CABEZALES	2 Hemisféricos
NUMERO DE SOPORTES	2

Fuente, Autor

6.3. MATERIALES DE DISEÑO

Tabla 3: Materiales de diseño.

COMPONENTE	ESPECIFICACIÓN	ESPELOR (IN)
SHELL	SA 612	0,8125
CABEZALS	SA 612	0,4665
NECK	SA 106 B ó SA 53 B SMLS	---
COVER MH	SA 516 Gr70	---
FLANGES -COUPLINGS	SA 105	---

Fuente, Autor

6.4. HISTÓRICOS DE OPERACIÓN INADECUADA

Tabla 4: Histórico de operación inadecuada.

FECHA	EVENTO	DESCRIPCIÓN
---	---	---

Fuente, Autor

6.5. HISTÓRICOS DE MANTENIMIENTO, REPARACIÓN, ALTERACIÓN E INSPECCIÓN

Tabla 5: Históricos de mantenimiento, reparación, alteración e inspección.

FECHA	TIPO	ALCANCE
---	---	---

Fuente, Autor

7. PROGRAMA DE INSPECCIÓN

Tabla 6: Programa de inspección.

PROGRAMA DE INSPECCIÓN			
PARTE	MECANISMO DE DAÑO	ENSAYOS A REALIZAR	EXTENSIONES
ESCALERAS, BARANDAS Y PLATAFORMAS	Corrosión	IV	100%
	Defectos de soldadura	IV	100%
	Deformaciones de la estructura, daños mecánicos y desgaste.	IV	100%
BASES, SOPORTES, ANCLAJES	Corrosión	IV	100%
	Defectos de soldadura	MT-BFET	Según Especificación
	Deformaciones de la estructura, daños mecánicos y desgaste.	IV	100%
SISTEMA DE RECUBRIMIENTO	Agrietamiento, Ampollamiento, entizamiento, Pérdida de la capa de acabado	IV	100%
		Holliday	50%
		Espesores	A criterio de inspector
CUERPO Y CABEZALS	Corrosión interior y exterior	IV	100% Exterior
		UT Espesores	4 Ejes.y 5 CMLs
	Grietas y otro mecanismo en soldaduras	IV	100%
		MT-BFET	Soldadura internas
Deformación y daños mecánicos	IV	100%	
BOQUILLAS	Corrosión	IV	100% Exterior
		UT Espesores	4 Puntos.
	Grietas en soldaduras	IV	100%
	Deformación y daños mecánicos	IV	100%

Fuente, Autor

8. PROCEDIMIENTOS DE INSPECCIÓN

Se desarrolló la metodología del programa de inspección con base en las directrices de la norma API 510 y las especificaciones técnicas del contrato en la realización de los ensayos no destructivos requeridos en la evaluación del estado de la bala.

Cada una de las actividades se realizó conforme a los procedimientos establecidos por la corporación CIMA, a continuación se relacionan los procedimientos usados en el proyecto:

Tabla 7 Procedimientos escritos de Inspección.

No	PROCEDIMIENTO	ACTIVIDAD
1	GPRO-IN-I-TQS-03	UT SCAN A Y B
2	GPRO-IN-I-TQS-06	Partículas magnéticas
3	GPRO-IN-14-01	Líquidos Penetrantes
4	GPRO-PR-37-01	IV en Recipientes a presión
5	Hawkeye Inspection Procedure. Testex Inc.	Técnica BFET

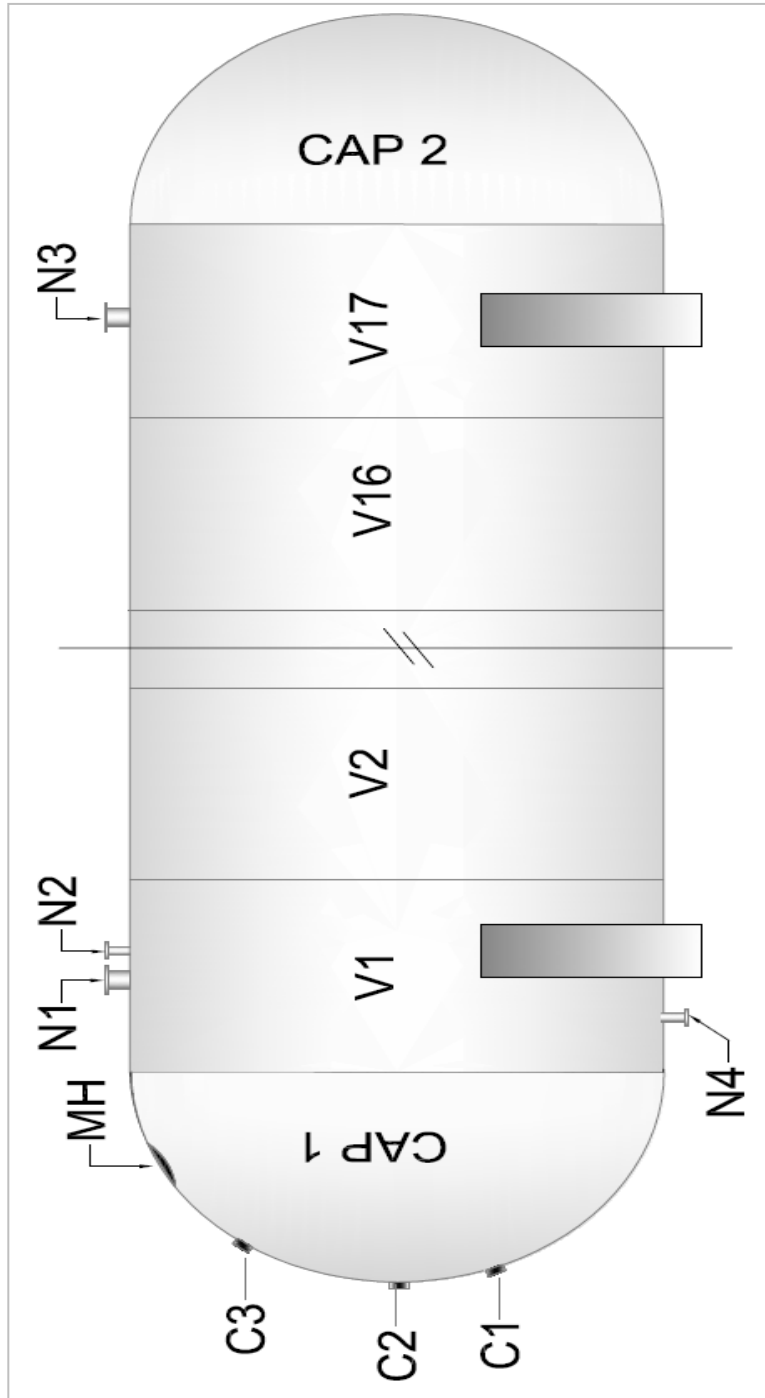
Fuente, Autor

8.1. IDENTIFICACION DE LOS COMPONENTES DE LA BALA

Se enumeraron las virolas del cuerpo de la bala de la 1 a la 17. La virola 1 corresponde la ubicación de la PSV, al lado del cabezal 1, el cuál es la cabeza y en donde se encontraban ubicados los instrumentos de Presión, temperatura y volumen. Ver figura 3.

Figura 3: Resultados arrojados por el equipo HAWKEYE 2000⁷
V=Virolas, N=Boquillas, MH=Manhole, C=Coupling, Cap=Cabezal

Fuente: Autor



8.2. INSPECCIÓN POR ULTRASONIDO SCAN A Y B

8.2.1. UBICACIÓN DE CML'S

Con el fin de establecer áreas de monitoreo de corrosión de las láminas del cuerpo y cabezales del recipiente y poder comparar mediciones de espesor actuales y futuras, lo que permitirá determinar tasas de corrosión y morfología de corrosión en el tiempo, aún con el recipiente en servicio, se establecieron CML'S (*CONDITIONAL MEASUREMENT LOCATIONS*) por cada ambiente interno que soporta el recipiente, así:

- Uno en la parte inferior en la fase de sedimentos (a las (PH=posición horaria) PH=6),
- Uno en la fase líquida (a las PH=9 ó 3),
- Uno en la fase vapor (a las PH=12)
- Uno en el centro de cada cabezal.

Cada CML fue diseñado de 70 cm x 70 cm, y Se ubicó en las láminas para el caso del cuerpo, y entre las intersecciones de soldaduras longitudinales con circunferenciales en el caso de los cabezals; en cada uno se dibujaron cuadrículas (10x10) en donde se realizaron barridos de espesores por ultrasonido. Las lecturas de espesor tomadas en los CML'S fue por medio de la técnica scan B, estos resultados fueron utilizados para establecer la nueva MAWP del recipiente.

La inspección de los espesores de la bala se realizó de acuerdo con lo establecido en *ASME SECCION V. Artículo 23. SE 797 STANDARD PRACTICE FOR MEASURING THICKNESS BY MANUAL ULTRASONIC PULSE ECHO CONTACT METHOD* y el procedimiento CIMA GPRO-IN-I-TQS-03.

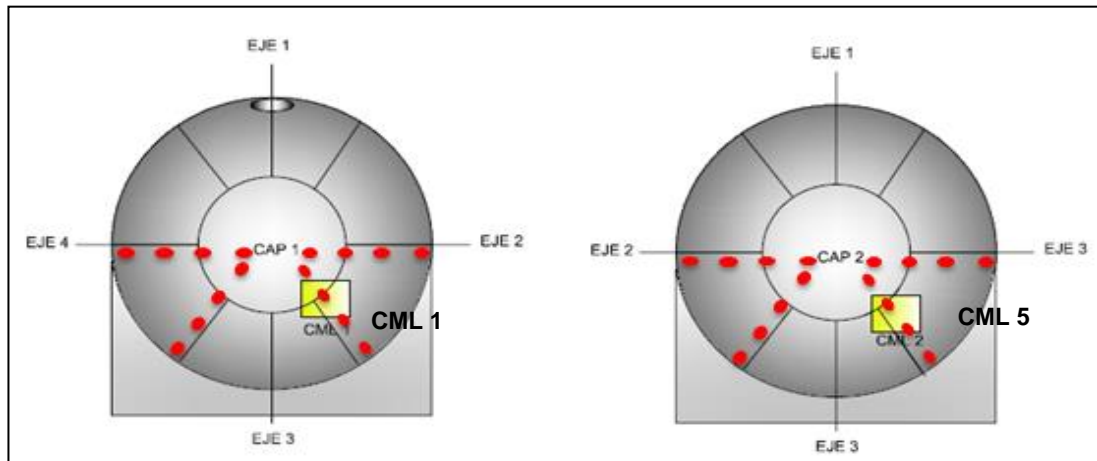
8.2.2. MEDICIÓN DE ESPESORES EN CABEZALES (CAPS)

Inicialmente se realizaron medición de espesores mediante UT SCAN A; y se tomaron lecturas en cuatro ejes en cada cabezal como se ve en los puntos rojos de la figura 4.

Además se establecieron CML'S en cada uno de los cabezales (Ver figura 4), en donde se realizaron las mediciones de espesores mediante la técnica de Scan B.

Los CML'S se ubicaron en la superficie externa de la bala y fueron pintados en color amarillo, como lo muestran las siguientes fotografías

Figura 4: Esquema de inspección UT en los cabezales



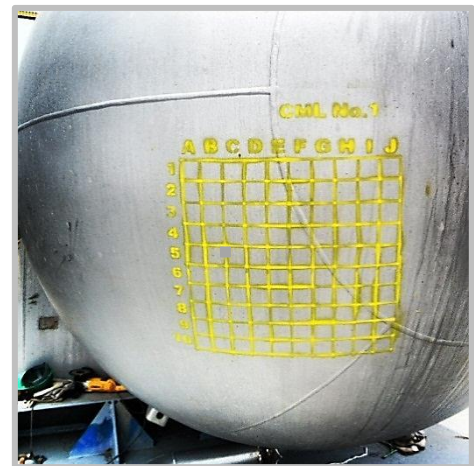
Fuente: Autor

Fotografía 1: Marcación del CML en Cabezal.



Fuente: Autor

Fotografía 2: CML en cabezal.



8.2.3. MEDICIÓN DE ESPESORES EN CUERPO

Cada una de las virolas del cuerpo de la bala fue inspeccionada mediante el ensayo no destructivo de ultrasonido (UT) SCAN A en 4 ejes según el tablero del reloj y sus posiciones horarias (12-3-6-9) (Ver Figura 5). En cada virola se tomaron 3 mediciones UT SCAN A en una área de 10 cm x 10 cm, por cada eje, se realizó una medición después de la soldadura de inicio de la virola, una en el medio de la virola y una tercera antes de la siguiente soldadura en la virola respectivamente.

Cada espesor se encuentra referenciado a una distancia determinada en el anexo C.

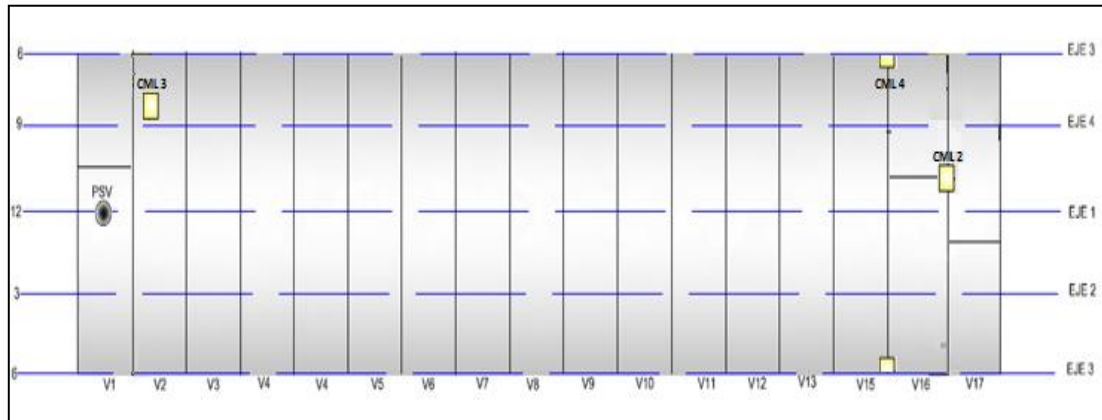
Se establecieron tres CML'S en el cuerpo de la bala, en donde se realizaron mediciones de espesores mediante la técnica de Scan B su ubicación se especifica en la Figura 5.

Fotografía 3: CML en cuerpo.



Fuente: Autor

Figura 5: Esquema de ubicación de los CML'S y ejes de medición en el cuerpo de la bala.

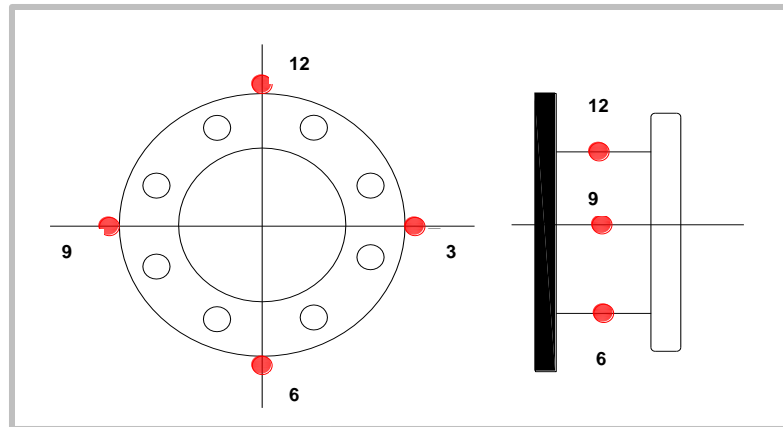


Fuente: Autor

8.2.4. MEDICIÓN DE ESPESORES EN BOQUILLAS

En cada boquilla se realizó la medición de espesores cada 90°, dividiendo su cuello en 4 partes iguales según las posiciones horarias (PH) de las 12, 3, 6 y 9 como lo indica la figura 6.

Figura 6: Esquema de ubicación de los espesores tomados en el cuello de las boquillas.



Fuente: Autor

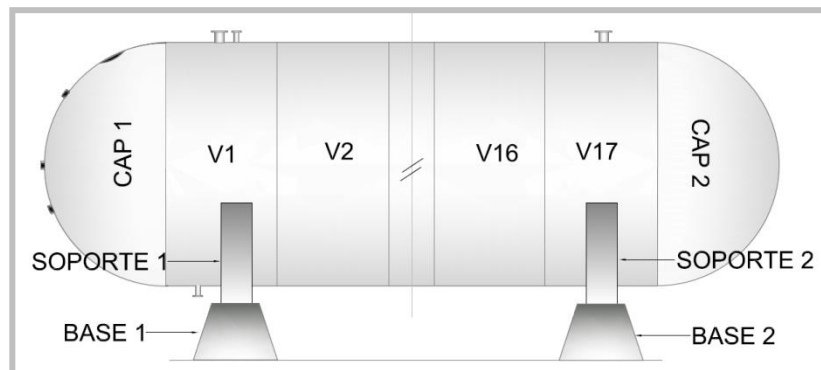
8.3. INSPECCIÓN VISUAL EN EL RECIPIENTE

- **Parte Interna:** la Inspección Visual se realizó al 100% de la superficie interna del recipiente para evidenciar, dimensionar y registrar corrosión generalizada, corrosión tipo picadura y corrosión en la zona afectada por el calor de las soldaduras.
- **Parte Externa:** la Inspección Visual: se realizó al 100% de la superficie externa del recipiente, bridas, espárragos, escaleras, pasamanos y plataformas de acceso para evidenciar, dimensionar y registrar corrosión generalizada, corrosión tipo picadura, deformaciones, distorsiones y daños mecánicos.

8.4. INSPECCIÓN EN LA ESTRUCTURA DE LOS SOPORTES

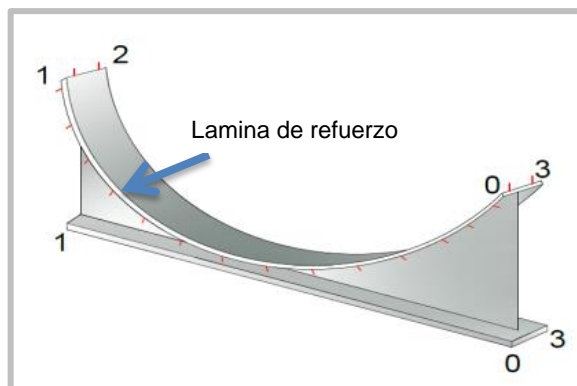
Los soportes son estructuras compuestas por platinas de acero que juntas forman una silleta que soportan la bala y que se encuentran apoyados sobre bases fabricadas también por platinas de acero ubicadas sobre la superficie de la barcaza que sostiene todo el equipo. La siguiente figura ilustra la ubicación de los soportes en la bala B-TK-001.

Figura 7: Esquema de ubicación de los soportes en la bala B-TK-001.



Fuente: Autor

Figura 8: Esquema de los soportes.



Fuente: Autor

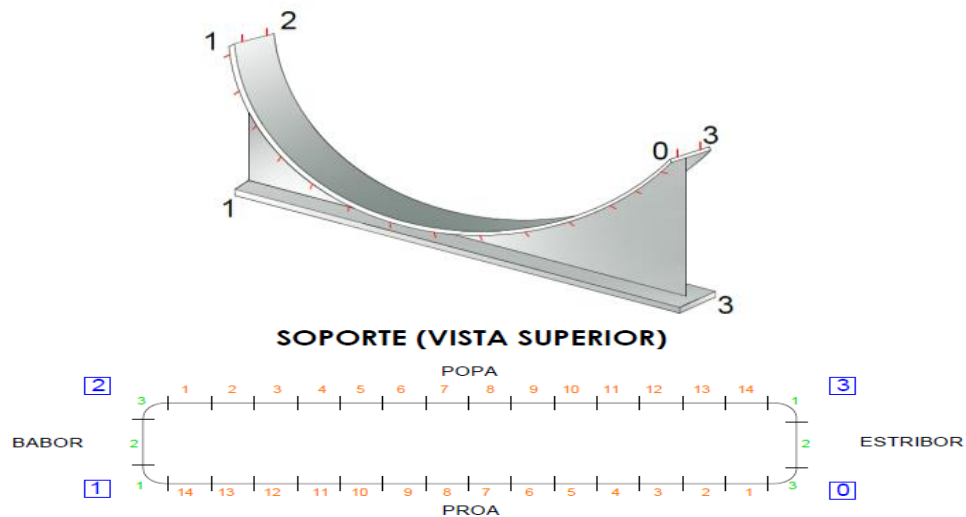
- **Inspección Visual:** Se realizó al 100% de la estructura para evidenciar, dimensionar y registrar corrosión generalizada, deformaciones, distorsiones, daños mecánicos y grietas.
- **Inspección por BFET:** Se realizó prueba de BFET para la detección de grietas en las soldaduras de los bordes o esquinas de la estructura, en las siguientes regiones:
 - Soldadura del cuerpo a la lámina de refuerzo
 - Soldadura de la lámina de refuerzo a los soportes.

8.5. INSPECCIÓN POR CAMPOS MAGNETICOS EQUILIBRADOS (BFET)

Según las especificaciones técnicas del dueño del equipo, se inspeccionaron las soldaduras internas de la bala en cuerpo y cabezales y las soldaduras soporte-bala de cada uno de los dos soportes. Como metodología para del uso del equipo HAWKEYE 2000 Weld Tester, se usó como referencia el procedimiento del fabricante.

Se aplicó el ensayo de BFET a las soldaduras internas de las conexiones, soldaduras de las intersecciones de las juntas longitudinales con las circunferenciales, a las soldaduras de los baffles o rompe olas. Para su inspección la longitud de cada soldadura fue dividida en segmentos de una longitud máxima de 30 cms. Para la inspección de las soldaduras de los soportes, la metodología se planteó de la siguiente manera: la longitud de la soldadura soporte-bala fue dividida en 4 tramos, identificados por los vértices que conformaban el perímetro de la soldadura. Estos tramos fueron divididos en segmentos de una longitud máxima de 30 cms, conforme a lo establecido en el procedimiento de Testex Inc. para el uso de la técnica BFET.

Figura 9: Esquema de inspección de las soldaduras de los soportes.



Fuente: Autor

8.6. INSPECCIÓN DEL RECUBRIMIENTO

El recubrimiento interior y exterior puede sufrir delaminación, ampollamiento, desprendimiento, pérdida de continuidad y degradación por radiación ultravioleta en el exterior; por consiguiente, fue necesario verificar su condición por medio de los siguientes ensayos:

- **Inspección Visual:** Se inspecciona visualmente el recubrimiento exterior e interior del recipiente reportando áreas de ampollamiento, delaminación, cuarteo, entzamiento y demás defectos.
- **Medición de Espesores:** El procedimiento de inspección con el equipo consiste en apoyar el sensor en la superficie y registrar el valor arrojado por él, en cada punto se toman tres (3) valores que se promedian. Se tomaron seis (6) lecturas uniformemente distribuidas en cada cabezal del recipiente. En el cuerpo, se midieron espesores en tres (3) ejes de acuerdo con el tablero del reloj (PH= 3, 6 y 9), tomando dos (2) lecturas equidistantes en cada virola, a lo largo de cada eje.
- **Medición de Continuidad:** Dentro del programa de inspección se estableció realizar la prueba de esponja húmeda con el equipo Holliday Detector Magna para determinar discontinuidades y pérdidas localizadas en el recubrimiento. El procedimiento de inspección con este equipo consta de realizar barridos sobre la superficie del recipiente, el equipo reporta discontinuidades en el recubrimiento cuando emite un sonido producto del contacto entre la superficie metálica descubierta y la esponja húmeda cargada eléctricamente con 9 voltios.

9. CRITERIOS DE ACEPTACIÓN Y RECHAZO⁸

Para la ejecución de la actividad de evaluación del estado mecánico y de corrosión de recipientes a presión, se utilizó como criterio de evaluación, los documentos: *API 510, ASME SECCION VIII, DIV I*. que suministran criterios para la evaluación de la condición que permita saber si la bala continúa en servicio; cambie de servicio o para tomar decisiones que involucren reparaciones, alteraciones, desmantelamiento, reubicación o reconstrucción de la bala existente. Sin embargo, estos criterios no intentaran sustituir ni subvalorar el análisis de ingeniería y los juicios requeridos para cada situación.

9.1. CRITERIOS PARA EVALUACIÓN DE ESPESORES DE RETIRO¹⁸

- **Espesor mínimo para cuerpo de recipiente a presión:**

Se calculó por la siguiente expresión:

$$t_{min} = \frac{PR}{(SE - 0,6P)}$$

Dónde:

t_{min}	Espesor mínimo aceptable, en pulgadas.
P	Presión máxima de trabajo en la zona requerida en PSI.
R	Radio interno en pulgadas.
S	Máximo esfuerzo permisible en libras por pulgada cuadrada.
E	Eficiencia de la junta.

⁸ Fuentes: Standard API 510, Pressure Vessel Inspection Code: Maintenance Inspection, Rating, Repair, and Alteration, June 2006. Standard ASME Section VIII, Div I, Boiler and Pressure Vessel Code, June 2004

- **Espesor mínimo para cabezales hemisféricos:**

Se calculó por la siguiente expresión:

$$t_{min} = \frac{PR}{(2SE - 0,2P)}$$

Dónde:

- t_{min} Espesor mínimo aceptable, en pulgadas.
- P Presión máxima de trabajo en la zona requerida en PSI.
- R Radio interno en pulgadas.
- S Máximo esfuerzo permisible en libras por pulgada cuadrada.
- E Eficiencia de la junta.

- **Espesor mínimo para boquillas⁹:** El espesor mínimo debe ser el mayor entre (a) o (b), donde:

- a: Espesor mínimo por UG 27
- b: El menor valor entre b1, b2, b3 o b4.
- b1: Espesor de lámina o cabezal bajo presión interna
- b2: Espesor de lámina o cabezal bajo presión externa
- b3: Espesor de lámina o cabezal bajo presión interna y/o externa
- b4: Espesor del tubo SCH estándar más la tolerancia a corrosión

⁹ Fuente, Standard ASME Section VIII, Div I, Boiler and Pressure Vessel Code, June 2004

10. DIAGNOSTICO

10.1. RECONOCIMIENTO

La bala posee 17 virolas y dos cabezales hemiesféricos y se encuentra asentada sobre un dispositivo móvil denominado barcaza que soporta 2 balas. Para efectos de este trabajo de grado se especifica el proceso de evaluación del estado mecánico y de corrosión de una sola bala.

Fotografía 4: Panorámica de la bala sobre la barcaza a inspeccionar.



Fuente: Autor

La barcaza se encontraba ubicada en un muelle de la bahía de Cartagena, contaba con las vías de acceso libres de obstáculos facilitando la entrada y salida de manera segura del personal y los equipos.

10.2. INSPECCIÓN VISUAL

10.2.1. PLATAFORMAS Y PASARELAS

Las plataformas se encontraron ancladas a platinas soldadas directamente a la bala, ubicadas en el cabezal 1 y el cabezal 2 respectivamente. Se observaron deformaciones en la plataforma ubicada en el cabezal 2, razón por la cual se recomendó realizar su reemplazo, por otra parte la plataforma ubicada en el cabezal 1 se encontró en buen estado y se consideró segura.

Fotografía 5: Plataforma ubicada en el cabezal 2.



Fuente: Autor

Una vez hecho el cambio de la pasarela del cabezal 2, se procedió a evaluar las juntas soldadas de las platinas que la unen a la bala por medio de la técnica de partículas magnéticas visibles (MT) determinando que las juntas soldadas son aceptadas ya que no reportaron grietas, ni ningún tipo de defecto, deterioro u otro mecanismo de daño, como se muestra en la fotografía 6.

Fotografía 6: Evaluación de las juntas soldadas
Entre las platinas de la pasarela y la bala por MT con partículas visibles.

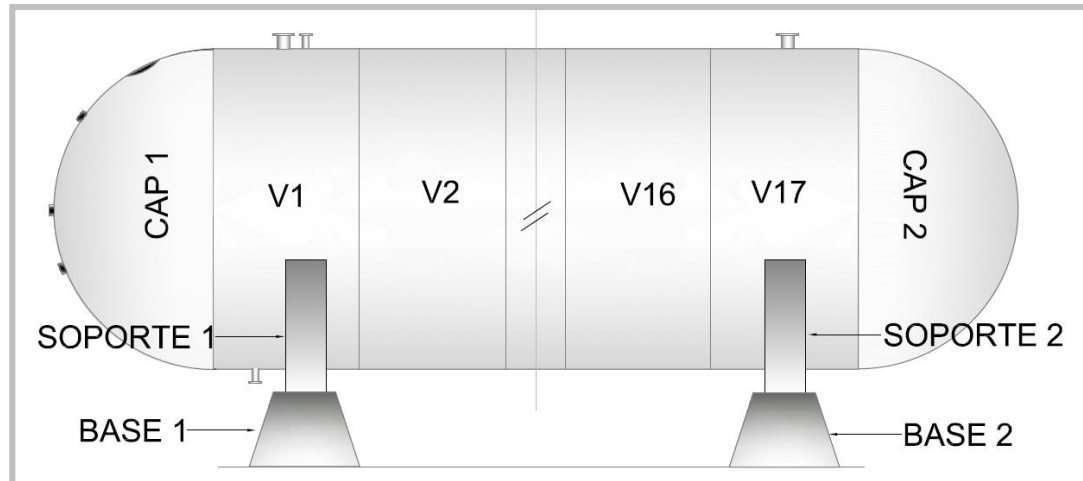


Fuente: Autor

10.2.2. BASES EN ACERO

Cada una de las bases estaba compuesta de perfiles en acero soldados a la barcaza, y soportaban las dos balas, ubicadas junto a la virola 1-cabezal 1 y virola 17-cabezal 2, respectivamente.

Figura 10: Esquema ubicación de las bases y soportes.¹⁰



Fuente: Autor

Cada base estaba compuesta, por cuatro elementos:

- Platina de refuerzo en acero al carbono.
- Elementos principales verticales en lámina de acero al carbono.
- Elementos secundarios verticales en lámina de acero al carbono.
- Lámina base de la estructura de soporte de la vasija en acero al carbono.

Base No 1. Compartida entre las balas B-TK-(001-002)

La evaluación del estado mecánico se realizó por medio de inspección visual. No se observaron daños mecánicos, ni deformaciones en los elementos que componen su estructura o que afecten su integridad, Sin embargo se observó principios de corrosión general en los elementos principales de la base por pérdida del recubrimiento como se observa en la fotografía 7, pero esta condición no compromete la integridad de la base. No se observaron grietas, defectos, daños mecánicos u otros mecanismos de daño en las soldaduras de la base.

¹⁰ Fuente: Autor

Fotografía 7: Base No 1 ubicada entre virola 1- cabezal 1
Con corrosión general por pérdida de recubrimiento.



Fuente: Autor

En el interior de la base se encontró corrosión general por pérdida del recubrimiento como se observa en la fotografía 8, pero esta condición no compromete la integridad de la base. No se observaron grietas, defectos, daños mecánicos u otros mecanismos de daño en las soldaduras de la base.

Fotografía 8: Corrosión general por pérdida de recubrimiento
En la base No 1 ubicada entre virola 1- cabezal 1.



Fuente: Autor

Base 2. Compartida entre las balas B-TK-(001-002)

De igual manera se inspecciono la base 2 por medio de la técnica de inspección visual. No se observaron daños mecánicos, ni deformaciones en los elementos que componen su estructura. Sin embargo se encontró principio de corrosión debido a la pérdida de recubrimiento en su superficie (ver fotografía 9), pero esta condición no compromete la integridad del equipo. No se observaron grietas u otro mecanismo de deterioro en sus soldaduras.

Fotografía 9: Base No 2 ubicada entre virola 17- cabezal 2
Con corrosión general por pérdida de recubrimiento.



Fuente: Autor

10.2.3. SOPORTES EN ACERO

Los soportes del equipo fueron inspeccionados por medio de la técnica de inspección visual, encontrándolos en buen no presentan deformaciones ni daños mecánicos que puedan afectar su integridad, sin embargo su recubrimiento presenta pérdidas localizadas del recubrimiento, como lo muestran las fotografías 10 y 11.

Fotografía 10: Soporte No 1 Con corrosión general por pérdida de recubrimiento.



Fuente: Autor

Fotografía 11: Soporte No 2 Con corrosión general por pérdida de recubrimiento.



Fuente: Autor

Por otra parte se encontraron pérdidas del espesor debido a corrosión en la superficie inferior del soporte No 1 que se encuentra en contacto con la base No 1. (Ver fotografía 12). Esta condición puede comprometer la estabilidad de la bala. Se recomendó rellenar con sellante para contrarrestar el fenómeno corrosivo por rendija y aplicar recubrimiento para proteger la superficie.

Fotografía 12: Perdida de espesor por corrosión en la superficie inferior
Del soporte No 1 que se encuentra en contacto con la base No 1.

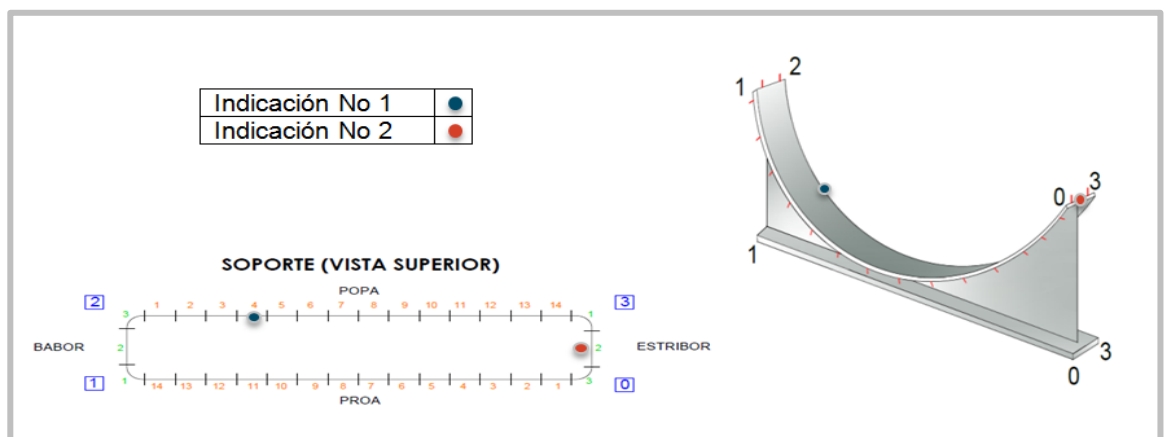


Fuente: Autor

Para continuar con la inspección de este componente se procedió con la inspección de las soldaduras de las bases de los soportes de la bala por medio de la técnica no destructiva de partículas magnéticas (ver anexo A). Se encontraron indicaciones en el soporte No 1 del equipo B.-TK-001 como se muestra en la siguiente figura 9

Posterior a esta técnica se decidió verificar la existencia de estas indicaciones mediante la técnica BFET (ver anexo B), con el uso del equipo HAWKEYE 2000 Weld Tester, con el objetivo de implementar y comprobar la efectividad de esta novedosa técnica. A continuación se discuten los resultados por medio de las dos técnicas.

Figura 11: Indicaciones reportadas por medio de la técnica MT
En el soporte No 1 de la bala B-TK-001

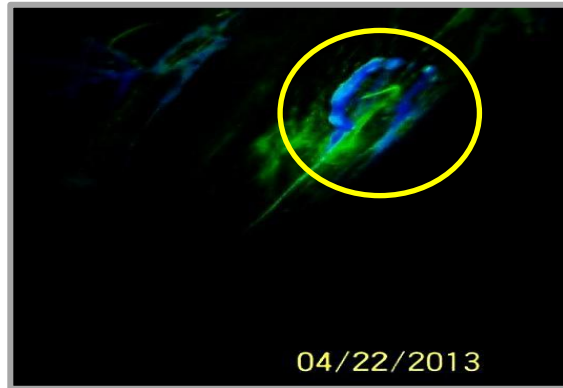


Fuente: Autor

INDICACIÓN No 1

La indicación No 1 (Ver fotografía 14) corresponde a una indicación lineal de 10 mm de longitud generada por daño en mecánico en la zona afectada por el calor de la soldadura de filete entre la lámina de refuerzo soldada al soporte No 1 y el cuerpo de la bala, encontrada mediante la técnica de partículas magnéticas.

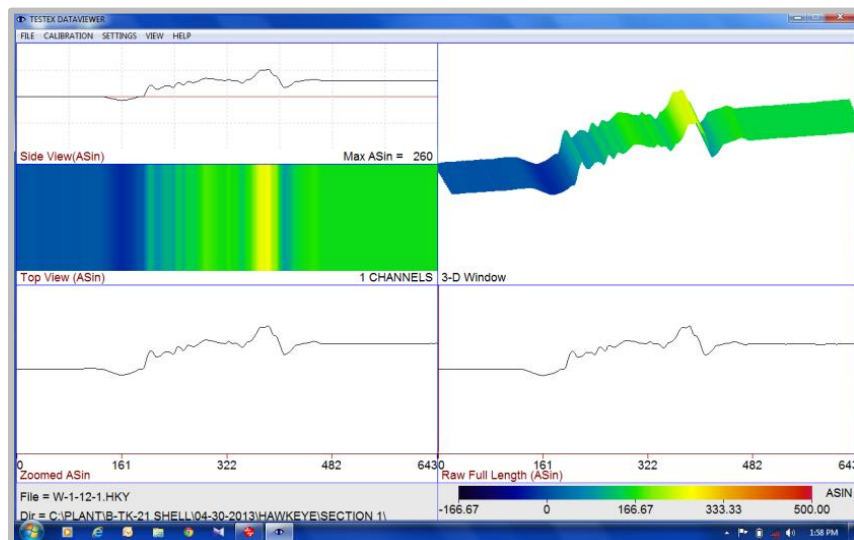
Fotografía 13: Indicación No 1 encontrada por medio de la técnica MT.



Fuente: Autor

Aplicando la técnica BFET en la soldadura de la base del soporte No 1 se verifico la misma indicación No 1, el equipo reporto el hallazgo como se muestra en la fotografía 15.

Fotografía 14: Resultados de la inspección BFET en la indicación No 1.



Fuente: Autor

Como se explicó en el apartado 3.5.4 de este libro (Campos magnéticos equilibrados BFET) los resultados se interpretan de la siguiente manera:

Se pudo observar que la indicación No 1 encontrada en el soporte No 1, (ver vista No 2), la alteración encontrada corresponde a un valor máximo de 260 en la fase, este valor se relaciona con la tonalidad amarilla que indica la presencia de una discontinuidad relevante, con valores mayores a 200 según lo establecido en la escala de colores. Se deduce que esta distorsión está relacionada con la indicación encontrada por la técnica de partículas magnéticas realizada anteriormente

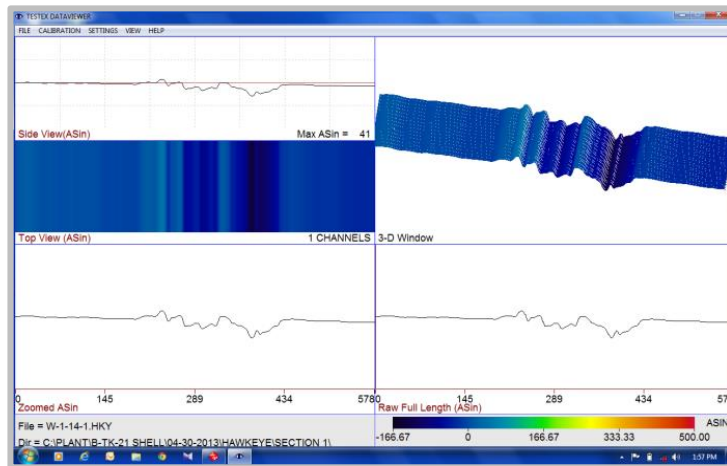
Se recomendó realizar la reparación de la indicación No 1 por medio de esmerilado hasta eliminar la indicación y luego rellenar con soldadura. Para verificar la remoción de la discontinuidad se realizaron pruebas MT y BFET.

Fotografía 15: Inspección MT de la reparación en la indicación No 1.



Fuente: Autor

Fotografía 16: Resultados de la inspección BFET en la reparación de la indicación No 1.



Fuente: Autor

La inspección por MT no reportó la existencia de la indicación No 1 (ver fotografía 16), por otra parte en la técnica BFET no se observó alteración en la línea base (ver fotografía 17), según la escala de colores obteniéndose valores máximos de fase de 41, tomando una tonalidad azul que indica la ausencia de discontinuidades relevantes.

INDICACIÓN No 2

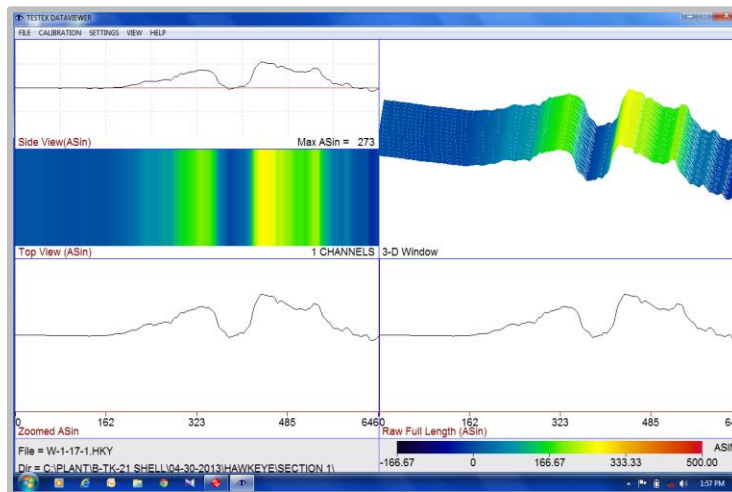
La indicación No 2 corresponde a una indicación lineal de 3 mm de longitud debida a falta de fusión entre los cordones en la soldadura de filete entre la lámina de refuerzo y el cuerpo de la bala (ver fotografía 18)

Fotografía 17: Indicación No 2 Encontrada por medio de la técnica MT.



Fuente: Autor

Fotografía 18: Resultados de la inspección de la indicación No 2 por medio de la técnica BFET.



Fuente: Autor

Según los resultados de la técnica BFET (ver fotografía 19) se observó que el valor máximo de distorsión fue de 273 en la fase y que relacionado con la escala de colores corresponde a una tonalidad amarilla, que representa la presencia de una indicación relevante en la soldadura.

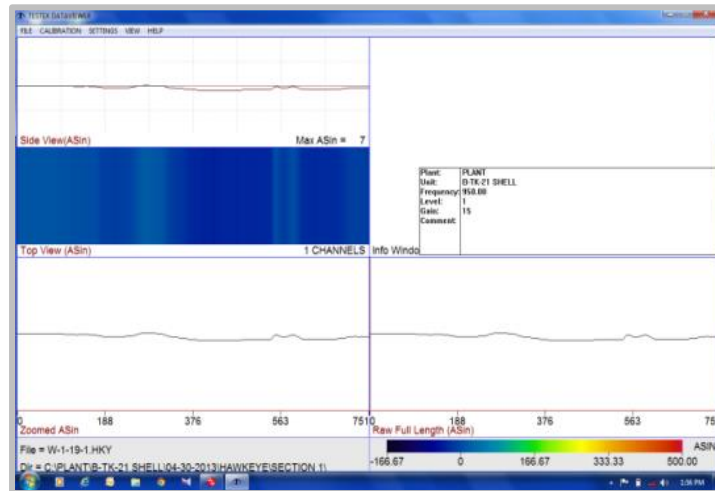
Luego de realizar la reparación correspondiente de la indicación No 2, por medio de esmerilado hasta borrar la indicación y luego de aplicar relleno son soldadura, se procedió a comprobar su remoción, usando las técnicas de MT y BFET.

Fotografía 19: resultados de la inspección MT al reparar la indicación No 2.



Fuente: Autor

Fotografía 20: Resultado de la inspección BFET al reparar la indicación No 2.



Fuente: Autor

La técnica MT no reportó la existencia de la indicación (ver fotografía 20), por otra parte en los resultados de la técnica BFET (ver fotografía 21), no se observó alteración en la línea base, según la escala de colores obteniéndose valores

máximos de fase igual 7, con tonalidad azul que indica la ausencia de discontinuidades relevantes.

10.2.4. TORNILLOS DE ANCLAJE

Por medio de inspección visual se observa una adecuada instalación de los anclajes de los dos soportes y se cumple con el número de tuercas necesarias en cada uno, sin embargo presentan principio de corrosión por pérdida del recubrimiento (ver fotografía 13). No se observan, roturas, deformaciones o desgaste que afecten su integridad.

Fotografía 21: Anclajes con principios de corrosión.



Fuente: Autor

10.3. INSPECCIÓN DE LAS LÁMINAS DEL CUERPO ¹¹

10.3.1. SUPERFICIE EXTERNA

La evaluación de la superficie externa de las láminas del cuerpo se hizo por medio de la técnica de inspección visual. Se observó que las láminas que conforman el cuerpo se mantienen en su forma y no presentan ningún tipo de daño mecánico considerable, grietas, deformaciones o corrosión general que afecte su integridad.

Por otra parte se encontró deterioro de la capa de acabado del recubrimiento debido al servicio y algunas pérdidas localizadas del recubrimiento por daños mecánicos leves.

Fotografía 22: Superficie externa de las Láminas del cuerpo de la bala B-TK-001



Fuente: Autor

10.3.2. SUPERFICIE INTERNA

El interior de las láminas del cuerpo se inspeccionó por medio de la técnica de inspección visual presentándose corrosión uniforme mayormente en las zonas ubicadas en la posición horaria de las 6 afectando principalmente el recubrimiento, como se observa en la fotografía 23. Las pérdidas localizadas, levantamientos y agrietamientos del recubrimiento se deben al desgaste en servicio, favoreciendo la formación de corrosión. La superficie ubicada en las posiciones horarias de las 3, 9 y 12 se encuentran en buen estado.

¹¹ Para entender lo referente a las posiciones horarias según el tablero del reloj, ver ítem 9.2.3 de este libro.

Fotografía 23: Corrosión general en la posición horaria De las 6. Superficie interna de las láminas del cuerpo.



Fuente: Autor

Por otra parte las soldaduras internas evidencian corrosión en una parte de su extensión, exactamente en la zona que se ubica en la posición horaria de las 6, ahora es importante mencionar que .estas soldaduras fueron evaluadas por la técnica BFET como se indica en el anexo 5. (Ver fotografía 24).

Fotografía 24: Soldadura interna del cuerpo de la bala B-TK-001



Fuente: Autor

No se reportaron grietas, deformaciones o daños mecánicos que puedan afectar la integridad del equipo.

10.4. INSPECCIÓN DE LAS LÁMINAS DE LOS CABEZALES

10.4.1. SUPERFICIE EXTERNA

Las láminas que conforman los cabezales se inspeccionaron en su exterior por medio de la técnica de inspección visual, encontrando la superficie en buen estado, sin presencia de corrosión, picaduras, grietas o daños mecánicos considerables y manteniendo la forma hemisférica de fabricación.

Por otra parte las soldaduras de los couplings o aberturas de cada uno de los cabezales se encuentran en buen estado, no se reportaron grietas o daños mecánicos.

Sin embargo la superficie exterior de los cabezales presentaron deterioro en la capa de acabado del recubrimiento y pérdidas localizadas del mismo debido a daños mecánicos leves.

Fotografía 25: Superficie externa del cabezal 1.

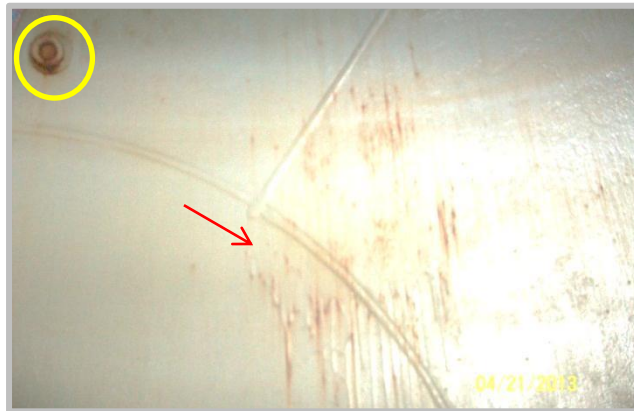


Fuente: Autor

10.4.2. SUPERFICIE INTERNA

Para la evaluación de la superficie interna de las láminas de los cabezales, se procedió por medio de la técnica de inspección visual, encontrando corrosión debida a pérdidas localizadas del recubrimiento en algunas zonas de la superficie de las láminas (Ver fotografía 26), sin embargo no se reportaron daños mecánicos, grietas o deformaciones que afecten su integridad.

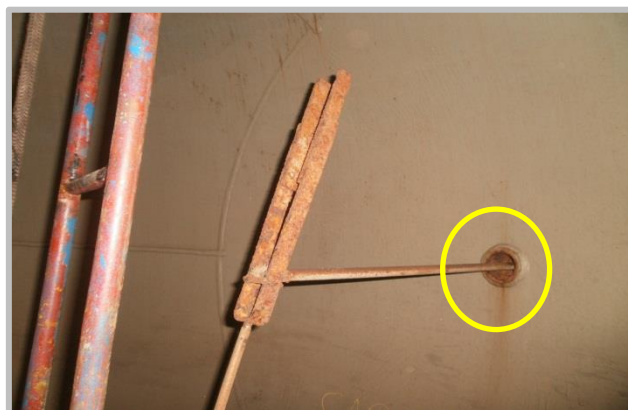
Fotografía 26: Superficie interna del cabezal 2
Con principios de corrosión en su superficie y en couplings.



Fuente: Autor

La forma de los couplings y sus soldaduras se encontraron en buen estado, sin embargo presentan corrosión por desgaste en el recubrimiento. (Ver fotografía 27).

Fotografía 27: Coupling con corrosión por desgaste del recubrimiento.
Superficie Interna del cabezal 1



Fuente: Autor

Las soldaduras internas de los cabezales fueron inspeccionadas mediante la técnica BFET como se muestra en el anexo F. No se reportaron grietas, deformaciones o daños mecánicos que puedan afectar la integridad del equipo.

La superficie interna y las soldaduras de las boquillas y el manhole ubicados en el Cabezal 1 se encontraron con corrosión por pérdida de su recubrimiento, pero no presentan grietas, deformaciones o daños mecánicos que afecten su integridad (Ver fotografía 28).

Fotografía 28: Coupling y boquilla con corrosión por Desgaste del recubrimiento superficie Interna del cabezal 1.



Fuente: Autor

10.5. INTERNOS DE LA CISTERNA

Se observa principio de corrosión en los rompeolas debido a pérdida del recubrimiento pero esta condición no compromete la integridad del componente, sin embargo se encuentran en buenas condiciones mecánicas. (Ver fotografía 39) No se observan deformaciones ni daños mecánicos.

Fotografía 29: Rompeolas con inicios de corrosión.



Fuente: Autor

Los tornillos de anclaje de los rompeolas se encuentran corroídos y esta condición afecta la estabilidad del componente. (Ver fotografía 40).

Fotografía 30: Tornillos de anclaje del rompeolas con corrosión.



Fuente: Autor

10.6. MANHOLE Y BOQUILLAS

Las boquillas no presentaron indicaciones de fuga en bridas, ciegos o alrededor de su tornillería y roscas sin embargo se observó corrosión por pérdida del recubrimiento en las bridas y roscas. (Ver fotografía 29 y 32)

Fotografía 31: Principio de corrosión en brida N4.



Fuente: Autor

El Manhole de 16 pulgadas de diámetro no presentó focos de corrosión, daños mecánicos, deformaciones, grietas en las soldaduras y lámina de refuerzo o ruana. Cuenta con toda la tornillería y las roscas adecuadas.

Fotografía 32: Manhole ubicado en la parte superior del cabezal 1.



Fuente: Autor

Fotografía 33: Tapa del manhole con pérdida del recubrimiento
En su superficie interior.



Fuente: Autor

Los refuerzos, bridas y cuellos de las boquillas y el manhole cumplen con lo establecido en la norma ASME sección VIII Div I.

Fotografía 34: Principio de corrosión en brida N3



Fuente: Autor

Los espesores mínimos obtenidos se encuentran aceptados (ver tabla 11) según lo establecido en los criterios de aceptación y rechazo mencionados en el aparte 10.1 de este libro.

Tabla 8: Espesores obtenidos por UT en los cuellos de las boquillas de la bala B-TK-001.

BOQUILLA	DIAMETRO (Pulg)	ESPELOR MINIMO (Pulg)	ESPELOR REQUERIDO (Pulg)	EVALUACIÓN
N1	6	0.426	0.315	ACEPTADO
N2	6	0.434	0.315	ACEPTADO
N3	4	0.335	0.267	ACEPTADO
N4	2	0.226	0.174	ACEPTADO

Fuente: Autor

10.7. DISPOSITIVO DE ALIVIO DE PRESIÓN

No se realizó inspección del dispositivo, debido que se encontraban en mantenimiento.

10.8. SISTEMA DE RECUBRIMIENTO

10.8.1. RECUBRIMIENTO EXTERNO

La evaluación del sistema recubrimiento se hizo por medio de la técnica de inspección visual, la prueba de esponja húmeda (holliday) y la medición de espesores de recubrimiento en cuerpo y cabezales del recipiente por medio del uso del equipo positector (ver anexo D)

Se observó por medio de inspección visual deterioro y pérdida de la capa de acabado del sistema de recubrimiento externo por desgaste en el servicio, sin embargo se encontraron perdidas localizadas del mismo por daños mecánicos leves.

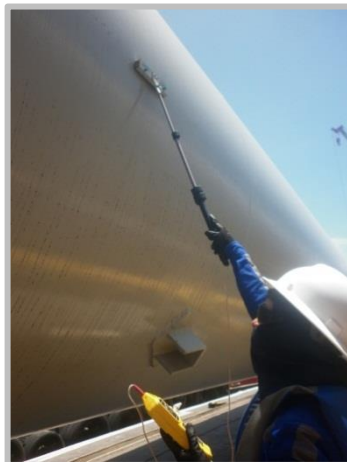
Fotografía 35: Recubrimiento externo.



Fuente: Autor

Dentro del programa de inspección se estableció realizar la prueba de esponja húmeda con el equipo Holliday Detector Magna para determinar discontinuidades y pérdidas localizadas en el recubrimiento. (Ver fotografías 36 y 37), en donde se encontraron perdidas localizadas del recubrimiento, desprendimientos, agrietamientos entre un 30%-40% de su recubrimiento; cada una de las discontinuidades detectadas fueron reparadas

Fotografía 36: Realización de la prueba de esponja húmeda (Holliday).



Fuente: Autor

Fotografía 37: Desprendimientos localizados de Recubrimiento por daño mecánico reportados en La prueba de esponja húmeda (Holliday).



Fuente: Autor

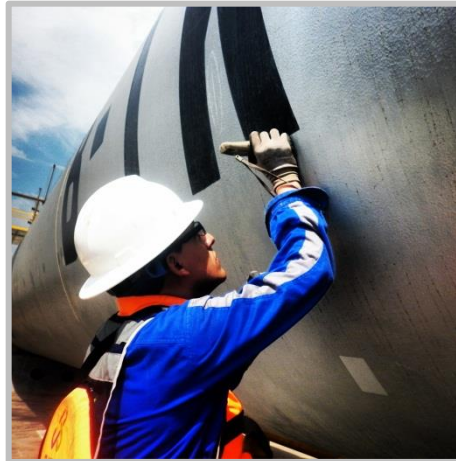
Siguiendo con el programa de inspección, se procedió a realizar la medición de espesores del recubrimiento. (Ver fotografías 38 y 39). A continuación se entregan los resultados

Fotografía 38: Calibración del equipo Positector.



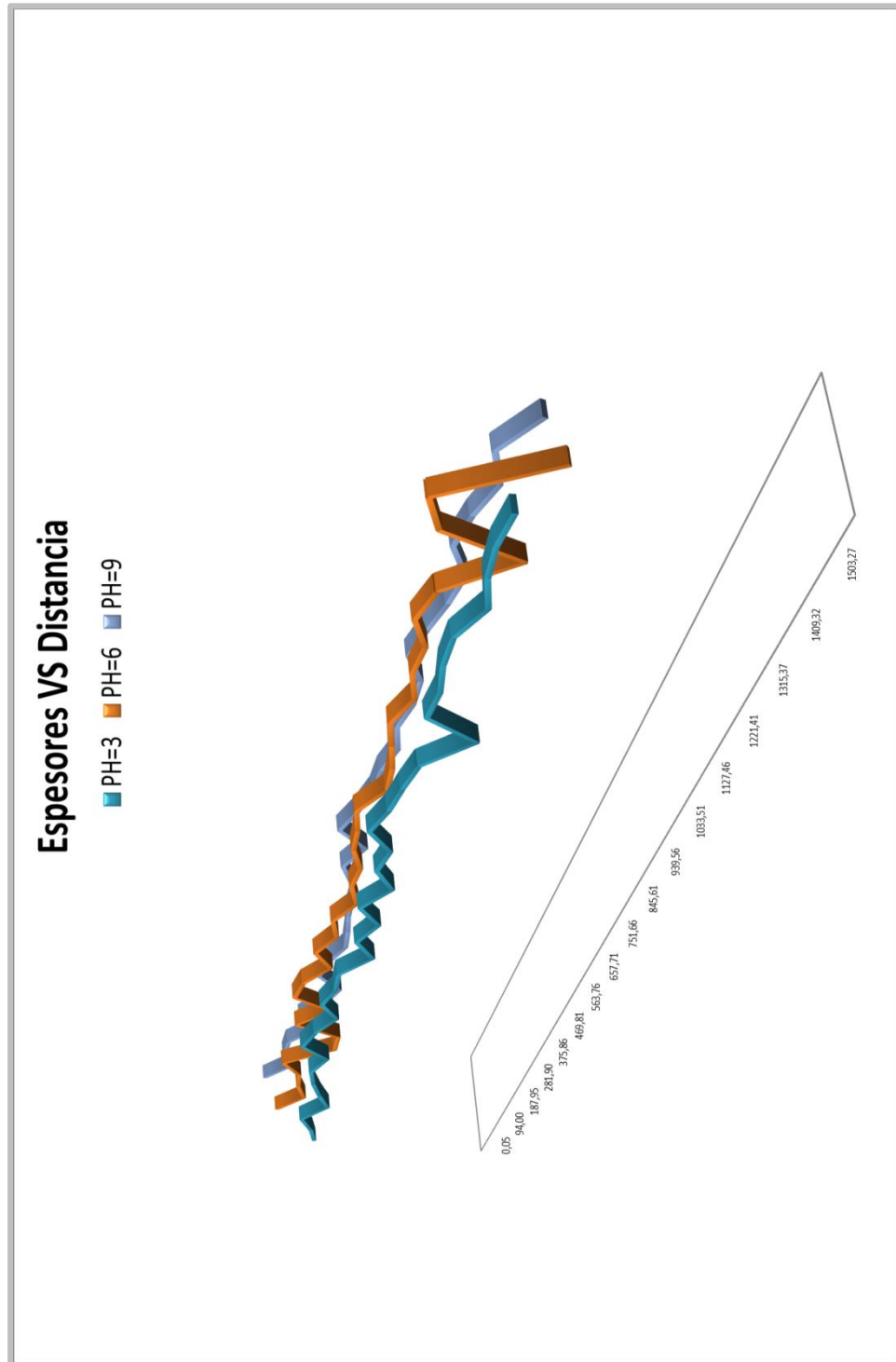
Fuente: Autor

Fotografía 39: Realización de la prueba de espesores de recubrimiento.



Fuente: Autor

Figura 12: Espesores VS Longitud de la bala.



Fuente: Autor

El grafico (ver figura 12) es una representación de la uniformidad del recubrimiento, en donde se evidencia que el recubrimiento a lo largo del cuerpo de la bala es uniforme.

Los puntos bajos que representan pérdidas de espesor, pueden ser causados debido a pérdida localizada del recubrimiento, en cambio los puntos altos representan problemas de ampollamiento y desprendimiento del recubrimiento de la superficie metálica.

Se puede observar que los valores más altos de espesores se encuentran en la PH de las 6 debido a los escurrimientos de la pintura al momento de aplicarse en la superficie.

De manera general, en el cuerpo y cabezales de la bala, el recubrimiento tiene un espesor uniforme (ver anexo No 4), no se observó presencia de corrosión en la superficie exterior del equipo.

Tabla 9: Espesores promedio del recubrimiento.

	EJE PH=3 Promedio (mills)	EJE PH=6 Promedio (mills)	EJE PH=9 Promedio (mills)
CUERPO	15,46	17,52	14,91
CABEZAL 1	14,8	13,88	9,33
CABEZAL 2	12,267	14,867	12,783

Fuente: Autor

10.8.2. RECUBRIMIENTO INTERNO

El interior de la bala se inspecciono por medio de la técnica de inspección visual encontrándose deterioro y pérdida del recubrimiento entre un 60%-70% de la superficie interna del equipo.

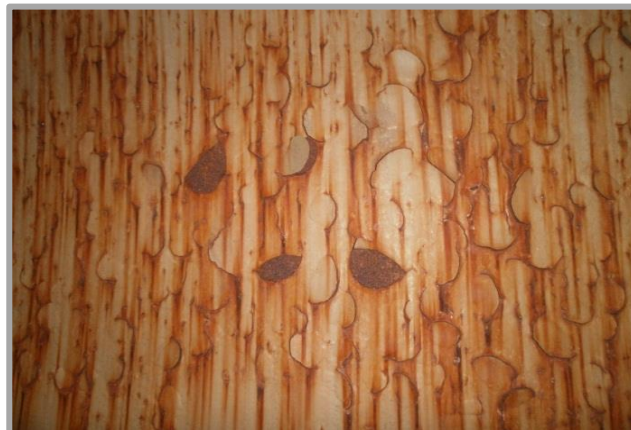
Fotografía 40: Recubrimiento interno con pérdidas localizadas en la parte inferior.



Fuente: Autor

En la superficie se encontraron escurrimientos de pintura en el interior del recipiente lo que indica que no se aplicó uniformemente el recubrimiento en el interior. Se observaron desprendimientos localizados, agrietamiento y ampollamiento como lo muestra la fotografía 41, favoreciendo la formación de fenómenos corrosivos de manera general en la superficie interna del equipo.

Fotografía 41: Desprendimiento, ampollamiento y Perdidas localizadas del recubrimiento en el interior de la Bala B-TK-001.

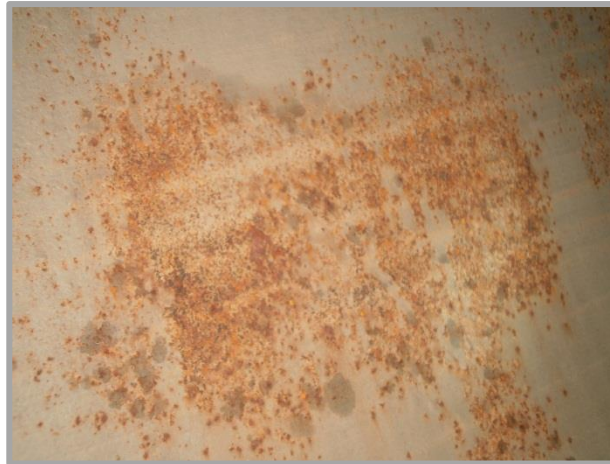


Fuente: Autor

Se reportó presencia de corrosión general en algunas zonas del cuerpo (Ver

fotografía 42), especialmente en la posición horaria de las 6 (Ver fotografía 23), así mismo en los cabezales se evidencia la presencia de corrosión por pérdida del recubrimiento (Ver fotografía 43).

Fotografía 42: Principio por corrosión debido a pérdida localizada del Recubrimiento en el interior del cuerpo de la bala B-TK 001.



Fuente: Autor

En los cabezales del equipo no se reportaron picaduras u otro tipo de corrosión en la superficie de las soldaduras, sin embargo se encontró principio de corrosión en la superficie interior, debido a pérdida del recubrimiento por desgaste en el servicio.

Fotografía 43: Cabezal No 1 con corrosión general debido a Pérdida localizada del recubrimiento



Fuente: Autor

10.9. EVALUACIÓN DE ESPESORES DE CUERPO Y LOS CABEZALES POR UT

La evaluación de los espesores de las láminas que componen el recipiente se hizo por medio de la prueba de UT. A continuación se entregan los resultados de la evaluación según los criterios establecidos en la norma API 510 y el procedimiento para su hallazgo.

Tabla 10: Resultados de la evaluación de los espesores por UT.

PARTE	PRESIÓN (psi)	RADIO (pulg)	S (psi)	E	ESPESOR REQUERIDO (pulg)	ESPESOR MEDIDO (pulg)	EVALUACIÓN
CUERPO	250	65,13	20200	1,00	0,812	0,788	RECHAZADO
CABEZALES	250	65,47	20700	0,85	0,465	0,501	ACEPTADO

Fuente: Autor

10.9.1. EVALUACIÓN DE LOS ESPESORES DEL CUERPO

En el anexo C se entregan los espesores tomados en el cuerpo de la bala mediante la técnica Scan A, en el aparte 9.2.3 de este libro, se explica la metodología que se usó para la toma de los espesores.

Fotografía 44: Medición de espesores Scan A
En el cuerpo de la bala B-TK-001.



Fuente: Autor

Fotografía 45: Medición de espesores Scan B en CML No 5
De la bala B-TK-001.



Fuente: Autor

Para calcular el espesor requerido para el cuerpo el código API 510 recomienda el siguiente cálculo matemático:

$$t_{min}(cuerpo) = \frac{PR}{(SE - 0,6P)}$$

$P=250$ psi

$R=65,13$ pulg

$S=20200$ psi

$E=1$

$$t_{min} = \frac{250 * 65,13}{((20200 * 1) - (0,6 * 250))} = 0,812 \text{ pulg} = \text{Espesor Requerido (cuerpo)}$$

El espesor medido es el mínimo de los promedios de los espesores obtenidos en el proceso, cuyo valor es 0,788 pulg.

10.9.2. EVALUACIÓN DE LOS ESPESORES EN LOS CABEZALES

En el anexo C se entregan los espesores tomados en los cabezales de la bala mediante la técnica Scan A, en el aparte 9.2.2 de este libro, se explica la metodología que se usó para la toma de los espesores.

El espesor requerido para cada uno de los cabezales hemisféricos es calculado por el código API 510 mediante la siguiente formula:

$$t_{min}(caps) = \frac{PR}{(2SE - 0,2P)}$$

$P=250$ psi

$R=65,47$ pulg

$S=20700$ psi

$E=0,85$

$$t_{min} = \frac{250 * 65,47}{((2 * 20700 * 0,85) - (0,2 * 250))} = 0,465 \text{ pulg}$$

$= \text{Espesor Requerido (cuerpo)}$

El espesor medido es el promedio de los espesores obtenidos en los dos cabezales cuyo valor es 0,501 pulg.

Según los resultados obtenidos el espesor mínimo del cuerpo de la bala está por debajo del espesor mínimo requerido según el código ASME Sección Div. 1 para operar a 250 PSI por lo cual se hace necesario el recalcu del MAWP para el equipo.

Para determinar las nuevas condiciones de operación del equipo, es necesario conocer la velocidad de corrosión, la vida remanente y el espesor proyectado en la próxima inspección. Según las indicaciones del inspector autorizado API 510 debe ser dentro de 5 años y con este nuevo espesor recalcular el MAWP para que el equipo pueda funcionar.

10.9.3. CALCULO DE LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN Y VIDA REMANENTE

Las ratas de corrosión y vida residual se estimaron teniendo en cuenta la información de construcción y lo establecido por la norma API 510.

Tabla 11: Determinación de velocidad de corrosión y vida residual.

PARTE	ESPESOR NOMINAL (pulg)	RATA DE CORROSIÓN (pulg/año)	VIDA REMANENTE (años)	ESPESOR PROYECTADO PRÓXIMA INSPECCIÓN (pulg)	PRESIÓN MÁXIMA DE OPERACIÓN (psi)
CUERPO	0,812	0,0013	5	0,781	237
CABEZALS	0,467	0,0000	20	0,492	264

Fuente: Autor

Para el cálculo de la velocidad de corrosión en el cuerpo y los cabezales se usó la siguiente expresión matemática.

$$Veloc. Corrosión = \frac{Esp. nominal - Esp. actual}{años de servicio} = \frac{0,812 - 0,788}{20} = 0,0013(cuerpo)$$

$$Veloc. Corrosión = \frac{Esp. nominal - Esp. actual}{años de servicio} = \frac{0,467 - 0,501}{20} = 0,0(caps)$$

La velocidad de corrosión de los cabezales no se puede calcular debido a que el espesor actual es mayor al nominal, esto se puede deber a diferentes factores como las tolerancias de sobredimensionamiento durante la fabricación de las láminas.

Para el cálculo de la vida residual se usó la siguiente expresión matemática:

$$Vida Residual = \frac{Esp. Nominal - Esp. Actual}{Velocidad de Corrosion} = \frac{0,788 - 0,812}{0,0013} = 0 años (cuerpo)$$

$$Vida Residual = \frac{Esp. Nominal - Esp. Actual}{Velocidad de Corrosion} = \frac{0,501 - 0,467}{0,0} = no se puede establecer (caps)$$

Según los resultados obtenidos y el criterio del inspector autorizado API 510, el equipo tiene una vida remanente de 0 años, sin embargo el inspector autorizado estableció un periodo de 5 años para realizar la próxima inspección y con esta información es posible proyectar el espesor esperado en la próxima inspección mediante el siguiente cálculo:

$$\begin{aligned} & \textit{Espesor esperado en la proxima inspeccion} \\ & = \textit{Espesor medido} - 2(\textit{Veloc. Corrosión} \\ & \quad * \textit{Proxima Inspeccion(años)}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \textit{Espesor esperado en la proxima inspeccion} & = 0,788 - (0,0013 * 5) \\ & = 0,781 \textit{ pulg (cuerpo)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \textit{Espesor esperado en la proxima inspeccion} & = 0,501 - (0,0017 * 5) \\ & = 0,492 \textit{ pulg (caps)} \end{aligned}$$

Con el valor del espesor proyectado a 5 años para el cuerpo cuyo valor es de 0,781 pulgadas, se realiza el recalcu del MAWP para el equipo.

10.9.4. CALCULO DEL MAWP

Según los cálculos el cuerpo de la bala fue rechazado por API 510 para soportar la presión de operación de 250 psi debido a perdidas por corrosión. Esto sugiere recalcular la MAWP para poder definir los nuevos parámetros de operación del equipo según su estado, es decir, la presión de operación actual de 250 psi debe ser disminuida.

Para el cálculo del MAWP se usaron las formulas establecidas en ASME Sección 8 División 1 UG 45 y tomando como espesor mínimo el obtenido en el cálculo del espesor proyectado a 5 años.

- MAWP para el cuerpo

$$P = \frac{SEt_{min}}{R + 0,6t_{min}} = \frac{(20200 * 1 * 0,781)}{65,93 + (0,6 * 0,781)} = 237 \text{ psi}$$

$R=65,93$ pulg

$S=20200$ psi

$E=1$

$t_{min}=0,781$

Con el recalcu lo del MAWP, según la norma API 510, se determinó que la nueva presión de operación, segura y confiable, para almacenar GLP en este equipo debe ser de 237 PSI.

10.9.5. EVALUACION DEL ESFUERZO ADMISIBLE (S) UTILIZADO

La bala fue construida y calculada con el código ASME de 1993, y se pedía el factor de seguridad (1/4) después del 1999 el factor de seguridad cambio a (1/3,5) según ASME, a partir de esto se establece el recalcu lo del MAWP. Se debe tener en cuenta que material con que se construyó la bala fue el acero SA 612 y que de acuerdo con lo establecido en ASME Sección II. Parte D. Tabla 1A (Edición actual), el máximo esfuerzo admisible (S) para la temperatura de diseño, es de 23.100 PSI para el cuerpo y 23.700 para los cabezales. Estos parámetros aplican para los recipientes a presión construidos después del Adenda de 1999 del código ASME sección VIII. code case 2290 o code case 2278.

En nuestro caso el (S) usado en el diseño, el máximo esfuerzo admisible (S) para la temperatura de diseño, es de 20.200 psi para el cuerpo y 20.700 psi para los cabezales.

Estos valores equivalen a la relación (Tensile Strength/N) de (1/4) los cuales fueron modificados a (1/3.5) después de 1999; de acuerdo con lo especificado en code case 2278 se establece que el esfuerzo máximo admisible será el menor de:

1. *1/3.5 Veces el mínimo tensile strength (SMTS) en rangos de temperatura entre (e.g. -10 F to 100 F).*
2. *1/3.5 Veces el mínimo tensile strength listado en ASME Sección II. Parte D. Tabla 1A. (Edición actual) a temperatura de diseño.*
3. **2/3 del yield strength listado en ASME Sección II. Parte D. Tabla 1A. (Edición actual) a temperatura de diseño. o para materiales especificados en UHA-23 and UNF 23.3.**

De acuerdo a lo especificado en code case 2290 es posible utilizar el esfuerzo máximo admisible especificado en ASME Sección II. Parte D. Tabla 1A. (Edición actual) a temperatura de diseño, para hacerse el recalcu y determinación de espesores mínimos, para vasijas construidas con ediciones anteriores. Siempre y cuando, se cumplan las siguientes consideraciones:

1. **La vasija no trabaja en servicio letal.**
2. **No opera en servicio cíclico o servicio a fatiga.**
3. **La vasija fue construida con la edición 1968 o posterior.**

De acuerdo con lo anterior la bala puede ser sujeta a operación con la MAWP establecida en estampe, de acuerdo con los siguientes escenarios:

- a. Utilizando 2/3 de yiel strength. (S)= 33.333.
- b. Utilizando (S) de edición actual (S)= 23.100 para cuerpo.

Sin embargo, las anteriores consideraciones se deben hacer dentro de una evaluación FFS. (API 579).

Para aumentar la MAWP por encima de lo establecido en el estampe, se debe considerar lo establecido en NTC 3853 y DOT. En los cuales la presión para GLP no puede ser superior a 250 PSI. (Sin embargo esta edición fue antes de 1999 y consideraba factores de 1/4).

11. CONCLUSIONES

La bala fue fabricada para manejar un MAWP de 250 psi, pero por pérdidas de espesor por fenómenos de corrosión en servicio este MAWP no es seguro según los cálculos, porque el equipo fue diseñado sobre medidas, es decir, en su proceso de diseño y construcción no se dejó tolerancia a la corrosión en el espesor de las láminas.

Según los resultados obtenidos en la evaluación de los espesores obtenidos por UT, la norma API 510 rechaza el cuerpo de la bala B-TK-001 por tener un espesor medido menor al espesor requerido (ver tabla 9) este desgaste de espesor es debido al servicio que el equipo ha prestado, ahora esto indica que la vida remanente del cuerpo del equipo es cero y el MAWP no es el adecuado; por otra parte los cálculos determinaron que los cabezales son aceptados, esta aparente contradicción motiva a los inspectores a buscar unas nuevas condiciones de operación que permitan el funcionamiento del equipo durante un tiempo más.

Se recomienda establecer el MAWP a 237 PSI conforme a lo establecido en ASME Sección VIII División I. UG 126 y UG 130. Para un periodo de 5 años, según el criterio del Inspector Autorizado.

De acuerdo con los resultados del programa de inspección planteado, se concluye que la bala es apta para el almacenamiento/transporte de productos que se ajusten al MAWP recalculado para un periodo de 5 años.

Los daños en el recubrimiento del equipo y sus componentes son causados por desgaste en el servicio y las condiciones medio ambientales a las que se expone, como por ejemplo altas temperaturas, presiones considerables y ambientes húmedos y salinos.

La técnica no destructiva BFET se presenta como una interesante opción para la detección de grietas y discontinuidades superficiales y subsuperficiales en soldaduras y superficies metálicas que requieran ser inspeccionadas, gracias a su facilidad de uso, rapidez en el procesamiento de datos, en donde no se hace necesaria la remoción de pintura, óxido u otros contaminantes de la superficie a inspeccionar y no exige un alto grado de limpieza para realizar el ensayo, por lo tanto permite un rendimiento de inspección mayor en comparación con la técnica de MT.

Esta tesis deja establecido criterios confiables que son punto de partida para una evaluación RBI o *Fitness for Service* y que podrán ser tomados en cuenta en la siguiente inspección, sobre todo para determinar la velocidad de corrosión real del equipo.

Según la experiencia obtenida en el desarrollo de esta tesis es muy importante la revisión de los códigos y normas para hacer una correcta planeación del trabajo y diseño del programa de inspección; se evidencia la necesidad de contar con personal altamente calificado y con experiencia para poder establecer correctamente los criterios de aceptación y rechazo y así mismo para la realización de las técnicas no destructivas adecuadas según sea el caso.

12. RECOMENDACIONES

Diseñar e instalar sistema de protección contra incendios.

Aplicar recubrimiento a todo el interior del cuerpo, los cabezales y los elementos internos de la bala. Siguiendo los procedimientos de aplicación de la pintura que el dueño del equipo establezca.

Reemplazar los anclajes de los rompeolas que presentan corrosión. Utilizar tornillos de igual especificación y tamaño que los de construcción.

Aplicar sellante en el área de contacto entre el soporte y la base para evitar la formación de corrosión.

Si se desea continuar con el uso de un MAWP de 250 psi se recomienda realizar una evaluación del equipo según API 579.

Tabla 12: Programa de recomendaciones

No	RECOMENDACIÓN	Corto Plazo (<1año)	Mediano Plazo 1-3 Años	Largo Plazo >3 Años
1	Diseño e instalación del sistema contra incendios			
2	Aplicación del recubrimiento interior			
3	Mantenimiento de los anclajes de los rompeolas			
4	Aplicación del sellante entre el soporte y la base			

Fuente: Autor

El inspector autorizado siguiendo los parámetros establecidos por API 510, establece los siguientes intervalos de inspección para monitorear y controlar el estado mecánico y de corrosión de la bala B-TK-001. Todos los mantenimientos requeridos deben estar de acuerdo a lo establecido en API 510.

Tabla 13: Intervalos de inspección

TIPO DE INSPECCIÓN	FECHA PRÓXIMA INSPECCIÓN/PERIODICIDAD	PERSONA A CARGO
Inspección externa	4 años	Inspector Autorizado
Medición de espesores por UT	4 años	Inspector Autorizado
Inspección Interna	4 años	Inspector Autorizado

Fuente: Autor

Sin embargo estos intervalos pueden ser modificados siempre y cuando se establezca una evaluación RBI en el equipo.

Fotografía 46: Placa de identificación de la bala B-TK-001



Fuente: Autor


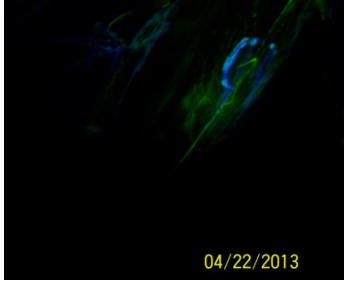
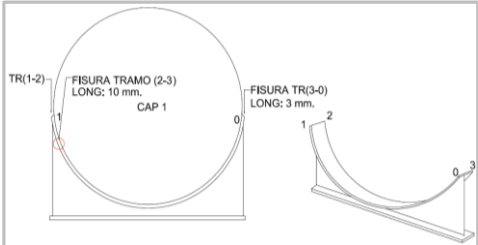
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1].API 510, Ninth edition June 2006 “Pressure vessel inspection code, maintenance Inspection, Rating, repair, and Alternation.
- [2].API Recommended Practice 571, Damage Mechanisms Affecting Fixed Equipment in the Refining Industry, 1s Edition, December.
- [3].ASME Section V, Nondestructive Examination, Articles 1, 2, 6, 7, and 24 (section SE797).
- [4]. ASME Section VIII Division I Ap.6 Methods for Magnetic Particle Examination.
- [5].ASME Section VIII Division I Ap. 8 Methods for Liquid Penetrant Examination.
- [6].ASME165 Standard Test Method for Liquid Penetrant Examination.
- [7].ASTM E-114 Standard Practice for Ultrasonic Pulse-Echo Straight-Beam Examination by the Contac Method 1.
- [8].ASTM E-797. Standard Practice for Measuring Thickness by Manual Ultrasonic Pulse-Echo Contact Method 1.
- [9].ASTM E 709 Standard Guide for Magnetic Particle Examination.
- [10]. ASTM E 1444 Standard Practice for Magnetic Particle Examination.
- [11]. GOWATSKI, Shawn “ The Inspection of Welds for Cracking, TesTex, Inc.”
Internet: <http://testex-ndt.com/files/downloads/ASNTCracking.pdf>
- [12]. LEON ESTRADA, Juan Manuel “Diseño y Cálculo de Recipientes a Presión”
internet: <<http://es.scribd.com/doc/17247549/disen-y-calculo-de-recipientes-a-presion>>

- [13]. TesTex Inc “Hawkeye Crack Detection” Internet: <<http://testex-ndt.com/from-the-field/hawkeye-crack-detection/>>
- [14]. TesTex Inc “Hawkeye 2000 vs Magnetic Particle and Dye Penetrant Methods” Internet: <<http://testex-ndt.com/from-the-field/hawkeye-2000-vs-magnetic-particle-and-dye-penetrant-inspections/>>
- [15]. TesTex Inc “Hawkeye 2000 Weld Tester” Internet: <<http://testex-ndt.com/products/hawkeye-2000-weld-tester/>>
- [16]. THE AMERICAN SOCIETY FOR NONDESTRUCTIVE TESTING
“Introduction to Nondestructive Testing” Internet:
<<https://www.asnt.org/MajorSiteSections/NDT%20Resource%20Center/Introduction%20to%20Nondestructive%20Testing.aspx>>

ANEXOS

ANEXO A REPORTE DE INSPECCIÓN POR MT.

REPORTE PARTICULAS MAGNETICAS							
CODIGO DE REF.:		ASME Seccion V, Articulo 7 / ASTM E -709 / ASTM E - 1444					
CRITERIO EVALUACION:		ASME VIII - RULES FOR CONSTRUCTION OF PRESSURE VESSEL					
EQUIPO UTILIZADO							
MATERIAL	EQUIPO	CORRIENTE	PARTICULAS	TIPO DE LUZ	GAUSIMETRO	LUXOMETRO	LONGITUD INSPEC. (m)
ACERO AL C.	YOKE	DIRECTA	HUMEDAS/FLUOREC.	U.V.			0.0
ESPESOR	MARCA/SERIE	MAGNETIZACION	MARCA/LOTE	LAMPARA	INDICADOR CAMPO	EST. SUPERFICIE	TERMOMETRO
1/2"	MAGNAFLUX	INDIRECTA	MAGNAF.112D22K	MAGNAFLUX	Pie Gage	SP2	
CONDICIONES AREA DE INSPECCION							
INTENSIDAD LUZ BLANCA	INTENSIDAD LUZ UV	DESMAGNETIZACION	MAGNETISMO RESIDUAL	TEMPERATURA(°C)	POSTLIMPIEZA		
1000LX	1000 m W/cm2	Disminucion campo	Menor a 3 gauss	Ambiente	Trapo		
No.	IDENTIFICACION	TRAMO	TIPO DE INDICACION	APRUEBA	RECHAZA	LONG.(mm)	OBSERVACIONES
1	SOPORTE 1 PLATINA REFUERZO	0-1.	N.R.	SI			
2		1-2.	FISURA	NO		10	
3		2-3.	N.R.	SI			
4		3-0.	FISURA	NO		3	
5	SOPORTE 2 PLATINA REFUERZO	0-1.	N.R.	SI			
6		1-2.	N.R.	SI			
7		2-3.	N.R.	SI			
8		3-0.	N.R.	SI			
9	SOPORTE 1 PLATINA REFUERZO	1-2.(R)	N.R.	SI			
10	SOPORTE 2 PLATINA REFUERZO	3-0.(R)	N.R.	SI			
REGISTRO FOTOGRAFICO / ESQUEMA							
<p>Fisura Tramo 3-0</p> 		<p>Fisura Tramo 2-3</p> 					
							
OBSERVACIONES DE LA INSPECCION							
LA FISURA DEL TRAMO(2-3) AFECTA LA PLATINA DE REFUERZO MAS NO LA SOLDADURA.							
LA FISURA DEL TRAMO(3-0) SE UBICA EN LA UNION ENTRE DOS CORDONES DE SOLDADURA PARALELA AL EJE AXIAL DE LA SOLDADURA .							

ANEXO B REPORTE DE INSPECCIÓN POR BFET EN SOPORTES.

REPORTE INSPECCIÓN – BFET EN SOPORTES							
CÓDIGO DE REF:	ASME SECCIÓN V, ARTÍCULO 8						
CRITERIO EVALUACIÓN:	CÓDIGO ASME SECCIÓN V - ARTÍCULO 8						
EQUIPO UTILIZADO							
MARCA	REFERENCIA	PROBE	SOFTWARE	MATERIAL	ESPESOR (mm)	COMPONENTE	LONGITUD INSPEC. (m)
TESTEX	TS 2000	045	HAWKEYE 2000 Weld Test	ACERO SA 612	20.64	SOLDADURAS EN SOPORTES	
ITEM	IDENTIFICACIÓN	TRAMO	TIPO DE INDICACIÓN	FASE	APRUEBA	LONG.(m)	OBSERVACIONES
1	SOPORTE 1 PLATINA REFUERZO	100%		179	SI		SIN INDICACIONES
2	SOPORTE 2 PLATINA REFUERZO	100%		164	SI		SIN INDICACIONES
REGISTRO FOTOGRÁFICO / ESQUEMA							
FIG 1. ESQUEMA SOPORTE DE LA VASIJA				FIG 2. SEGMENTOS INSPECCIONADOS EN PLATINA DE REFUERZO. DETALLE DE BARRIDOS.			
FIG 3. PERFIL 3D, SOPORTE 1, SEGMENTO (2-3), BARRIDO 1.				FOTO 1. INSPECCIÓN EN SOPORTES, PLATINA DE REFUERZO.			
OBSERVACIONES DE LA INSPECCIÓN							
SOPORTE 1 Y 2 PLATINA REFUERZO: Corresponde a la soldadura que une la platina de refuerzo con la vasija.							
SOLDADURAS SOPORTE BALA: Fueron inspeccionadas por MT. (Ver Anexo).							
SOLDADURAS SOPORTE BARCAZA: Fueron inspeccionadas por MT. (Ver Anexo).							

ANEXO C
REPORTE DE ESPEORES POR UT.

REGISTRO DE MEDICIÓN DE ESPEORES POR ULTRASONIDO EN LÁMINAS DEL CUERPO Y CAPS																
EQUIPO:	BALA B -TK - 001								SERVICIO	GLP						
Material :	ACERO ASTM SA 612															
Proceso de Fabricación :	SOLDADURA SAW															
Según Código, Norma, Secc No :	ASME SECC VIII / API 510															
Equipo de Inspección:	DAKOTA MVX SCAN A															
Palpadores:	5 MHZ- 0,250" HD DUAL / PULSO ECO															
Velocidad Lineal:	0.2220 in/us				Medidas en:	Pulgadas				Precisión:	0.001"					
PUNTO	POSICIÓN EJES					PROM	PUNTO	POSICIÓN EJES					PROM	Observaciones		
	1	2	3	4	5			1	2	3	4	5		PARTE	t min (in)	t nominal (in)
1	0.853	0.814	0.809	0.834			35	0.862	0.827	0.822	0.827		0.835	Conforme ASME SECCION VIII Parte UG 27 y UG 32. los tmin permisibles para las láminas son:		
2	0.855	0.798	0.796	0.824			36	0.840	0.818	0.812	0.837		0.827	CUERPO	0.812	0.813
3	0.849	0.814	0.807	0.823			37	0.830	0.812	0.807	0.818		0.817	CAPS	0.466	0.467
4	0.836	0.814	0.810	0.824			38	0.825	0.813	0.797	0.816		0.813	Se calculó un promedio de espesores de cuerpo y caps.		
5	0.845	0.816	0.805	0.787			39	0.827	0.814	0.800	0.816		0.814	CUERPO	0.788	0.483
6	0.842	0.816	0.788	0.780			40	0.842	0.817	0.818	0.822		0.825			
7	0.801	0.790	0.751	0.821			41	0.831	0.817	0.814	0.828		0.823	CUERPO	0.788	0.483
8	0.811	0.803	0.795	0.816			42	0.832	0.818	0.814	0.827		0.823			
9	0.799	0.799	0.798	0.808			43	0.861	0.821	0.813	0.825		0.830	CAPS	0.501	0.483
10	0.817	0.782	0.796	0.827			44	0.836	0.819	0.817	0.823		0.824			
11	0.852	0.801	0.723	0.803			45	0.839	0.820	0.810	0.828		0.824	Vel. Corr. = (t previo - t actual) / Y		
12	0.810	0.794	0.787	0.827			46	0.873	0.821	0.812	0.826		0.833	Y = Edad de la vasija (años)		
13	0.850	0.821	0.814	0.833			47	0.831	0.823	0.812	0.827		0.823	5		
14	0.833	0.821	0.816	0.818			48	0.882	0.816	0.814	0.821		0.833	CUERPO	1.2	16.5
15	0.844	0.826	0.823	0.821			49	0.826	0.819	0.746	0.794		0.796			
16	0.855	0.826	0.813	0.827			50	0.833	0.821	0.809	0.821		0.821	CAPS	---	---
17	0.832	0.825	0.817	0.823			51	0.855	0.822	0.813	0.814		0.826			
18	0.800	0.824	0.809	0.820			52							ESPEORES CABEZALES		
19	0.801	0.795	0.791	0.792			53							Los espesores del 1 al 51 corresponden a los espesores del cuerpo ordenados por ejes.		
20	0.813	0.800	0.799	0.806			54	0.484	0.486	0.515	0.506	0.531		Los espesores del 54-56 pertenecen al CAP 1 y del 59- 61 corresponden al CAP como se indica en la figura 2 del Informe.		
21	0.823	0.794	0.783	0.752			55	0.483	0.503	0.519	0.494	0.522				
22	0.808	0.800	0.786	0.804			56	0.490	0.498	0.493	0.517	0.522				
23	0.815	0.801	0.794	0.806			57									
24	0.811	0.802	0.789	0.805			58									
25	0.816	0.808	0.799	0.807			59	0.489	0.490	0.496	0.501	0.491				
26	0.817	0.808	0.784	0.804			60	0.489	0.498	0.508	0.506	0.491				
27	0.792	0.803	0.791	0.805			61	0.493	0.510	0.504	0.501	0.501		Los espesores de la columna 1 corresponden al eje de las 12		
28	0.835	0.814	0.809	0.820			62							Los espesores de la columna 2 corresponden al eje de las 3		
29	0.832	0.815	0.812	0.814			63							Los espesores de columna 3 corresponden al eje de las 6		
30	0.872	0.816	0.783	0.825			64							Los espesores de la columna 4 corresponden al eje de las 9		
31	0.810	0.804	0.798	0.806			65									
32	0.814	0.802	0.793	0.808			66									
33	0.808	0.802	0.802	0.798			67									
34	0.836	0.828	0.811	0.827			68									



REGISTRO DE MEDICIÓN DE ESESORES POR ULTRASONIDO EN LÁMINAS DEL CUERPO Y CAPS

EQUIPO:		BALA B-TK-001								SERVICIO:		GLP		
Material :		ACERO ASTM SA612												
Proceso de Fabricación :		SOLDADURA SAW												
Según Código, Norma, Secc No :		ASME SECC VIII/API 510												
Equipo de Inspección:		DAKOTA MVX SCAN A												
Palpadores:		5 MHZ- 0,250" HD DUAL / PULSO ECO												
Velocidad Lineal:		0.2220 in/us				Medidas en:		Pulgadas		Precisión:		0.001"		
PUNTO	POSICIÓN CML										PROM	MIN	Observaciones	
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J				
1	0.516	0.492	0.412	0.491	0.425	0.510	0.519	0.523	0.504	0.502	CML No 1	0.497	0.412	Conforme ASME SECCION VIII Parte UG 27 y UG 32. los tmin permisibles para las láminas son: Se calculó un promedio de espesores de cuerpo y caps.
2	0.507	0.508	0.509	0.498	0.497	0.509	0.508	0.508	0.478	0.501				
3	0.497	0.517	0.506	0.506	0.506	0.523	0.509	0.509	0.505	0.505				
4	0.499	0.486	0.505	0.505	0.468	0.519	0.526	0.511	0.497	0.510				
5	0.498	0.500	0.500	0.483	0.500	0.502	0.501	0.500	0.497	0.504				
6	0.494	0.494	0.479	0.486	0.443	0.424	0.497	0.502	0.495	0.491				
7	0.491	0.489	0.492	0.499	0.495	0.498	0.504	0.502	0.501	0.496				
8	0.493	0.453	0.505	0.491	0.500	0.502	0.513	0.502	0.509	0.503				
9	0.479	0.476	0.491	0.504	0.518	0.475	0.503	0.530	0.518	0.514				
10	0.492	0.446	0.496	0.492	0.499	0.477	0.479	0.503	0.507	0.503				
11	0.815	0.950	0.835	0.826	0.811	0.837	0.816	0.812	0.814	0.806				
12	0.839	0.834	0.839	0.844	0.815	0.814	0.816	0.840	0.812	0.832				
13	0.819	0.810	0.813	0.817	0.840	0.811	0.811	0.885	0.805	0.847				
14	0.825	0.835	0.840	0.812	0.802	0.799	0.808	0.809	0.805	0.808				
15	0.808	0.811	0.820	0.826	0.843	0.862	0.812	0.810	0.840	0.845				
16	0.810	0.820	0.813	0.854	0.815	0.812	0.814	0.837	0.790	0.775				
17	0.810	0.808	0.833	0.864	0.811	0.813	0.812	0.812	0.811	0.835				
18	0.805	0.816	0.835	0.863	0.810	0.809	0.811	0.810	0.808	0.807				
19	0.811	0.806	0.808	0.810	0.811	0.807	0.810	0.810	0.808	0.806				
20	0.793	0.808	0.825	0.811	0.811	0.806	0.811	0.809	0.806	0.805				
21	0.858	0.855	0.838	0.818	0.845	0.856	0.854	0.840	0.849	0.829				
22	0.834	0.835	0.843	0.834	0.858	0.840	0.834	0.857	0.836	0.845	CML No 3	0.842	0.818	Los CMLs estan dividios en cuadrículas de 10 x 10 valores de acuerdo a la marcacion en las vasijas.
23	0.831	0.831	0.834	0.853	0.858	0.847	0.842	0.844	0.856	0.837				
24	0.834	0.834	0.834	0.830	0.855	0.844	0.836	0.834	0.842	0.831				
25	0.834	0.834	0.833	0.835	0.851	0.835	0.851	0.838	0.835	0.829				
26	0.850	0.834	0.834	0.856	0.840	0.841	0.856	0.845	0.835	0.835				
27	0.835	0.834	0.834	0.834	0.858	0.848	0.854	0.854	0.858	0.843				
28	0.833	0.834	0.834	0.834	0.837	0.842	0.858	0.838	0.834	0.829				
29	0.844	0.837	0.833	0.851	0.840	0.842	0.842	0.838	0.841	0.849				
30	0.834	0.851	0.842	0.834	0.856	0.844	0.843	0.857	0.857	0.831				
31	0.754	0.728	0.73	0.812	0.801	0.879	0.87	0.866	0.867	0.864				
32	0.796	0.81	0.734	0.804	0.764	0.812	0.812	0.816	0.774	0.817				
33	0.74	0.738	0.809	0.814	0.767	0.808	0.807	0.815	0.746	0.807				
34	0.805	0.803	0.724	0.766	0.81	0.766	0.791	0.805	0.816	0.811				
35	0.81	0.814	0.811	0.812	0.815	0.812	0.813	0.803	0.625	0.812				
36	0.807	0.794	0.805	0.813	0.777	0.805	0.815	0.817	0.811	0.811				
37	0.82	0.887	0.817	0.815	0.815	0.807	0.816	0.841	0.826	0.809				
38	0.819	0.838	0.801	0.801	0.814	0.815	0.816	0.816	0.816	0.819				
39	0.816	0.831	0.821	0.818	0.809	0.837	0.796	0.816	0.818	0.81				
40	0.755	0.82	0.872	0.813	0.815	0.814	0.741	0.812	0.814	0.815	CML No 5	0.508	0.456	
41	0.509	0.530	0.515	0.512	0.500	0.500	0.495	0.494	0.494	0.491				
42	0.524	0.522	0.512	0.508	0.500	0.516	0.497	0.494	0.499	0.494				
43	0.509	0.512	0.517	0.516	0.506	0.500	0.500	0.456	0.483	0.503				
44	0.501	0.529	0.509	0.479	0.506	0.501	0.522	0.500	0.499	0.500				
45	0.512	0.532	0.535	0.528	0.529	0.508	0.519	0.502	0.513	0.508				
46	0.512	0.534	0.514	0.535	0.507	0.529	0.506	0.512	0.506	0.506				
47	0.508	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.506				
48	0.500	0.527	0.507	0.506	0.515	0.502	0.509	0.503	0.500	0.524				
49	0.503	0.506	0.506	0.518	0.523	0.523	0.502	0.500	0.500	0.500				
50	0.512	0.506	0.517	0.512	0.519	0.517	0.510	0.500	0.510	0.500				

ANEXO D
REPORTE DE MEDICION DE ESPESORES DE RECUBRIMIENTO / PRUEBA
DE ESPONJA HÚMEDA.

REPORTE DE MEDICION DE ESPESORES DE RECUBRIMIENTO / PRUEBA DE ESPONJA HÚMEDA					
CAP 1					
10.8	16.9	13.6	14.4	8.9	9.3
10.5	18.1	15	13.4	9.5	9.9
10.3	18.5	12.1	14.8	9.3	9.1
CAP 2					
13.9	11.7	18.3	12.1	12.5	13.8
12.5	11.5	17.4	12.2	12.1	13.2
12.5	11.5	17.3	11.9	12	13.1
VIROLA 1					
21.9	15.3	18.7	14.1	11.5	13.1
21.5	15.5	18.8	13.1	11.3	12.3
21.4	15.7	18.6	13	11.2	12.2
VIROLA 2					
18.2	18.1	15.5	16.1	15.1	12.1
17.9	17.7	15.2	15.8	15	10.7
17.8	17.7	15.1	15.8	15	10.6
VIROLA 3					
13.1	17.1	20.9	11.2	13.2	15
12.8	16.6	20.1	10.9	13.1	15.1
13	16.7	21	10.8	13.1	15.1
VIROLA 4					
12.9	11.2	11.2	20.7	16.8	14
12.8	11.2	11	19.9	16.1	14.1
12.7	11.2	11.1	20.2	16.3	14.1
VIROLA 5					
17.7	14.5	13.8	23.5	20.7	19.3
14.4	14.4	13.7	22.7	20.3	17.9
14.4	14.6	13.7	22.7	20.2	17.8
VIROLA 6					
12.8	13.1	21.6	16.6	15.2	19.4
12.2	12.7	21.7	16.4	14.7	18.7
12.2	12.7	21.9	16.3	14.7	18.6
VIROLA 7					
13.7	14.2	21	17.4	17.4	17.7
13.5	13.6	20.9	17.2	16.8	17.3

REPORTE DE MEDICION DE ESPESORES DE RECUBRIMIENTO / PRUEBA DE ESPONJA HÚMEDA					
13.5	13.5	20.8	17.1	16.7	17.2
VIROLA 8					
15.1	17.7	19.1	15.2	12.4	16.1
15.2	17.2	19	15.1	12.5	16
14	17.3	19.1	15.9	12.5	15.9
VIROLA 9					
14.4	20.5	16.8	17.3	14.8	17.6
14.3	20.4	16.9	17.1	12.6	17.5
14.2	20.4	16.7	17.8	12.6	17.4
VIROLA 10					
17.7	16.4	19.6	19.4	13.3	17
17.8	15.7	19.5	19.2	13.2	16.6
17.4	15.8	19.9	19.3	13	16.4
VIROLA 11					
15.7	14.4	16.5	21.3	15.6	20.6
15.8	14.1	16.3	21.1	15.4	20.6
15.7	14	16.5	21.2	15.4	20.5
VIROLA 12					
15.3	15.7	18.3	16.7	18.2	17
15.3	13.1	18.1	16.9	18	16.9
15.4	13.2	17.9	16.7	17.9	16.9
VIROLA 13					
14.5	17.7	16.6	20	15.6	9.7
13.9	16.7	16.9	19.6	15.5	9.6
13.6	16.6	16.7	19.4	15.5	9.6
VIROLA 14					
15.4	14.7	17.4	18.8	16.5	16.5
15.3	13.1	17.9	18.3	17	16
15.4	13.1	17.6	18.2	17	15.8
VIROLA 15					
12.9	15.4	17.9	21.4	17.1	17
12.5	15.4	18.9	20.9	16.9	16.8
12.4	15.3	18.7	20.6	17	16.7
VIROLA 16					
14	12.2	21.6	10.1	14.2	15
14.2	12.1	21.3	8.8	13.3	14.9
14.1	12	21.2	9	13.2	14.9
VIROLA 17					

REPORTE DE MEDICION DE ESPESORES DE RECUBRIMIENTO / PRUEBA DE ESPONJA HÚMEDA					
13.9	10.2	9.4	25.7	15.3	16.1
13.9	9.9	8.3	25	15.1	14.6
13.8	9.9	8.2	24.9	15.2	12.3
INSPECCIÓN VISUAL / DISCONTINUIDADES ENCONTRADAS					
Se realizó la inspección por medio de Holliday al 30% del recubrimiento del recipiente sin encontrar indicaciones que puedan					
Afectar la continuidad del recubrimiento, sin embargo, en la superficie hay rayones en pequeñas áreas					
Con presencia de corrosión atmosférica leve. Los espesores se encuentran entre 6 y 19 mills.					
RECOMENDACIONES					
Aplicar recubrimiento sobre las áreas deterioradas, teniendo en cuenta la preparación de la superficie del metal					
Para evitar el deterioro y la acción de la corrosión sobre la superficie externa de la lámina.					
REGISTRO FOTOGRÁFICO					
					
Foto 1: Prueba de Holliday				Foto 2: Espesores de recubrimiento	

ANEXO E REPORTE DE INSPECCIÓN POR BFET EN SOLDADURAS INTERNAS DEL CUERPO.

REPORTE INSPECCIÓN - BFET							
CÓDIGO DE REF:		ASME SECCIÓN V, ARTÍCULO 8					
CRITERIO EVALUACIÓN:		CÓDIGO ASME SECCIÓN V - ARTÍCULO 8					
EQUIPO UTILIZADO							
MARCA	REFERENCIA	PROBE	SOFTWARE	MATERIAL	ESPESOR (mm)	COMPONENTE	LONGTUD INSPEC. (m)
TESTEX	TS 2000	045	HAWKEYE 2000 Weld Test	ACERO SA 612	20.64	SOLDADURAS INTERNAS CUERPO	
ITEM	IDENTIFICACIÓN	TRAMO	TIPO DE INDICACIÓN	FASE	APRUEBA	LONG.(mm)	OBSERVACIONES
1	CRUCES CUERPO	30%		186	SI		SIN INDICACIONES
2	UNIÓN CAP-CUERPO	30%		93	SI		SIN INDICACIONES
3	ZONAS DESCUBIERTAS	30%		131	SI		SIN INDICACIONES
4							
5							
6							
REGISTRO FOTOGRÁFICO / ESQUEMA							
<p>FIG 1. ESQUEMA CUERPO DE LA VASIJ</p>				<p>FIG 2. ESQUEMA VISTA SUPERIOR DEL CUERPO DE LA VASIJ, CON ZONAS INSPECCIONADAS POR CIRCUNFERENCIALES, DETALLE DE LA 1 Y 18.</p>			
<p>FIG 3. PERFIL 3D, CIRCUNFERENCIAL 15, ZONA 1, BARRIDO 2.</p>				<p>FOTO 1. INSPECCIÓN INTERNA, EN SOLDADURAS DEL CUERPO Y CAP-CUERPO.</p>			
OBSERVACIONES DE LA INSPECCIÓN							
CRUCES DEL CUERPO: SE INSPECCIONÓ EL 30% DE LOS CRUCES DEL CUERPO EN LAS SOLDADURAS CIRCULARES 3,6,9,12 Y 15, DOS CRUCES POR CIRCULAR. (VER FIG.2)							
SOLDADURA CAP-CUERPO: INSPECCIÓN DEL 30% DE LAS CIRCUNFERENCIALES 1 Y 18, EN 4 SEGMENTOS A LAS 3, 5, 7 Y 9 HORAS. (VER FIG.2)							
LOS VALORES DE FASE REPORTADOS CORRESPONDEN A LOS BARRIDOS DE INSPECCIÓN CON BFET CON MAYOR GRADO DE DISTORSIÓN DEL CAMPO MAGNÉTICO.							

ANEXO F REPORTE DE INSPECCIÓN POR BFET EN SOLDADURAS INTERNAS DE CABEZALES.

REPORTE INSPECCIÓN - BFET							
CÓDIGO DE REF:		ASME SECCIÓN V, ARTÍCULO 8					
CRITERIO EVALUACIÓN:		CÓDIGO ASME SECCIÓN V - ARTÍCULO 8					
EQUIPO UTILIZADO							
MARCA	REFERENCIA	PROBE	SOFTWARE	MATERIAL	ESPESOR (mm)	COMPONENTE	LONGITUD INSPEC. (m)
TESTEX	TS 2000	045	HAWKEYE 2000 Weld Test	ACERO SA 612	11.85	SOLDADURA INTERNA CAP 1 Y CAP 2	
ITEM	IDENTIFICACIÓN	TRAMO	TIPO DE INDICACIÓN	FASE	APRUEBA	LONG.(mm)	OBSERVACIONES
1	SOLDADURAS CAP 1	30%		145	SI		SIN INDICACIONES
2	SOLDADURAS CAP 2	30%		176	SI		SIN INDICACIONES
3							
4							
5							
6							
REGISTRO FOTOGRÁFICO / ESQUEMAS							
<p>FIG 1. ESQUEMA UBICACIÓN DE CAPS</p>				<p>FIG 2. VISTA FRONTAL CAPS SEGMENTOS INSPECCIONADOS Y DETALLE DE BARRIDOS</p>			
<p>FIG 3. PERFIL 3D. ZONA 3, BARRIDO 2, CAP 2</p>				<p>FOTO 1. INSPECCIÓN INTERNA, EN CAPS</p>			
OBSERVACIONES DE LA INSPECCIÓN							
SOLDADURAS CAPS: SE INSPECCIONÓ EL 30% DE LA SOLDADURAS QUE COMPONEN LOS CAPS 1 Y 2, EN TRAMOS SELECCIONADOS ALEATORIAMENTE DE LA SIGUIENTE MANERA: OCHO SEGMENTOS EN LOS CUALES SE REALIZARÓN TRES BARRIDOS (METAL BASE/SOLDADURA/METAL BASE), COMO SE MUESTRA EN LA FIGURA 2.							
LOS VALORES DE FASE REPORTADOS CORRESPONDEN A LOS BARRIDOS DE INSPECCIÓN CON BFET CON MAYOR GRADO DE DISTORSIÓN DEL CAMPO MAGNÉTICO.							