



**UNIVERSIDAD DE CIENFUEGOS CARLOS RAFAEL RODRÍGUEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**

# **Desarrollo de un sistema de inspección para el control del estado técnico de los recipientes de almacenamiento móviles para amoníaco anhídrido.**

**Autor: Aimé Brugal Guilarte**

**Tutor: Ing. Bernabé Juan Bravo Rodríguez**

**Diciembre, 2023**

**“Año 65 de la Revolución”**

## Pensamiento

“Con ingenio y destreza, los ingenieros forjan el progreso y la innovación de nuestra sociedad, transformando ideas en realidades, resuelven los desafíos más complejos, construyen sueños, edifican el mañana y cambian el mundo”.

Carlos Slim

## Dedicatoria

- ❖ A mi hijo que me impulsa diario, me da fuerzas para seguir, para empezar, sencillamente me motiva en todos los sentidos de la vida. Para tí mi querido Diego.
- ❖ A mi madre y a mi padre por sus consejos y bendiciones, cada herramienta y cada enseñanza permiten desarrollarme y ser mejor persona cada día.
- ❖ A mi hermano por acompañarme en la vida, por su paciencia y apoyo incondicional en estos años de estudios.
- ❖ A todos mis familiares y amigos que han estado pendientes de mí, dando su apoyo en cada momento.

## Agradecimientos

- ❖ A la Revolución que nos abrió las puertas del saber.
- ❖ A mis profesores por compartir sus conocimientos y experiencias.
- ❖ A mi tutor Juan Bravo Rodríguez por su apoyo incondicional durante la realización de este proyecto que con sus sugerencias, confianza y lucha para conmigo, aportó en la realización de este sueño.
- ❖ A mis compañeras y compañeros de estudio, porque de cada uno aprendí. Y estos años fue un placer conocerles.
- ❖ Muchas gracias a todos y todas.

## RESUMEN

El presente trabajo tuvo como tema: Desarrollo de un sistema de inspección para el control del estado técnico de los recipientes de almacenamientos móviles para amoniaco anhídrido. La propuesta permitió a la empresa CENEX en la provincia de Cienfuegos diagnosticar en un orden lógico las actividades de inspección. Se basó en fallas ocurridas en estos equipos por parte de personal altamente adiestrado, así como con la consulta de estándares nacionales, internacionales y regulaciones vigentes. Se identificaron los materiales idóneos, sus propiedades, características fundamentales, así como los tipos de ensayos no destructivos. Se identificó las principales características técnico-constructivas de los recipientes para el transporte de amoniaco anhídrido, donde se destacó la zona de unión entre el semirremolque y el camión tractor, las uniones de los rompeolas con el cuerpo interior del recipiente, la de los fondos con el cuerpo cilíndrico y la de los cilindros que conforman el cuerpo cilíndrico. También se realizó la identificación de los principales mecanismos de daños a que están sometidos los recipientes para transporte de amoniaco anhídrido, donde se encontró la corrosión generalizada, no uniforme y localizada y la corrosión por picadura. La propuesta del sistema de inspección permitió auxiliar al personal técnico y especialistas de la empresa CENEX en las actividades que realizan. Este sistema de inspección no pretendió suplantar el trabajo de las normas y códigos que regulan estas tareas, sino complementarlo, para la garantía de los complejos factores que intervienen en la inspección para la culminación exitosa y totalmente segura de dichos trabajos.

Palabras claves: Sistema de inspección, estado técnico, recipientes, amoniaco anhídrido.

## SUMMARY

The present work had like theme: Development of a system of inspection for the control of the technical status of the storage movable containers for ammoniac anhydride. The proposal allowed the company CENEX at Cienfuegos's province diagnosing in a logical order the supervisory activities. You were based on happened faults in these teams for part of staff highly trained, that way I eat with the consultation of national, international standards and regulations in use. They identified the suitable materials, his properties, fundamental characteristics, as well as the types of nondestructive essays. The principal technical constructive characteristics of the containers for the transportation of ammoniac anhydride, where the jetty with the container's interior body highlighted the zone of union between the semitrailer and the truck tractor, the unions of them itself, were identified give it the funds with the cylindrical body and give it the cylinders that conform the cylindrical body. Also you sold off the identification of the principal mechanisms of damages to which the containers for transportation of ammoniac anhydride, where you found the generalized corrosion, are subdued do not make uniform and located and the corrosion for sting. The proposal of the system of inspection allowed the technical staff and the company's specialists CENEX in the activities that realize auxiliarily. This system of inspection did not attempt to supplant the work of the standards and codes that these tasks regulate, but to complement it, for the guaranty of the complex factors that they take over in the inspection for the successful and totally safe culmination of the aforementioned works.

Key words: System of inspection, technical status, containers, ammoniac anhydride.

## Índice

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>CAPÍTULO I. ORIGEN DEL AMONIACO ANHIDRIDO Y SUS CARACTERÍSTICAS, INFORMACION TÉCNICO-CONSTRUCTIVAS DE LOS RECIPIENTES PARA EL TRANSPORTE DE AMONIACO POR CARRETERA... ¡Error! Marcador no definido.</b>	
1.1 Origen del amoniaco .....	4
1.1.1 Composición del amoniaco anhidrido.....	4
1.2 Transporte de Amoniaco anhidrido .....	4
1.3 Recipiente para el transporte de amoniaco anhidrido por carretera. ....	5
1.4 Elementos de diseño de los recipientes para el transporte del amoniaco anhidrido.....	5
1.5 Materiales que se utilizan en la construcción de los recipientes para el transporte de amoniaco.....	6
1.6 Accesorios y dispositivos de seguridad. ....	7
<b>CAPÍTULO II. MECANISMOS DE DAÑOS QUE AFECTAN A LOS RECIPIENTES PARA EL TRANSPORTE DE AMONIACO ANHIDRIDO POR CARRETERA.</b> .....	12
2.1 Mecanismos de daños que afectan a los recipientes para el transporte de amoniaco anhidrido por carretera.....	12
2.1.1 Daños por fatiga mecánica. ....	12
2.1.2 Daño por corrosión. ....	15
2.2 Protección contra la corrosión. ....	19
<b>CAPÍTULO III. PROPUESTA DE INSPECCIÓN PARA DETERMINAR EL ESTADO TÉCNICO DE RECIPIENTES PARA EL TRANSPORTE DE AMONIACO ANHIDRIDO POR CARRETERA.</b> .....	20
3.1 Normativas y reglamentaciones nacionales e internacionales que rigen la inspección de los recipientes a presión para el almacenamiento y transporte de amoniaco. ....	20
3.1.1. Resolución No. 44-2014 Reglamento para la explotación segura de los recipientes a presión. ....	21
3.1.2. NC 341: 2005 Seguridad y salud en el trabajo - Trabajos en espacios confinados - Requisitos generales de seguridad. ....	24
3.1.3 Código ANSI/API-510 Pressure Vessel Inspection Code del American Petroleum Institute.....	25
3.2 Propuesta del sistema de inspección para la determinación del estado técnico de los carros cisternas de amoniaco anhidrido.....	26

3.2.1 Datos iniciales.....	26
3.2.2 Preparación del recipiente antes de realizar la inspección. ....	27
3.2.3 Preparación de la superficie. ....	27
3.2.4 Medición de espesores. ....	27
3.2.5 Cálculo de la velocidad de corrosión. ....	29
3.2.6 Evaluación del espesor mínimo. ....	29
3.2.7 Técnicas no destructivas a emplear para la detección de fallas en los recipientes para transporte del amoniaco por carretera. ....	31
3.2.7.1 Inspección visual.....	31
3.2.7.2 Inspección visual exterior.....	32
3.2.7.3 Inspección interior.....	33
3.2.7.4 Inspección por líquidos penetrantes ....	33
3.2.7.5 Inspección ultrasónica. ....	35
3.2.7.6 Inspección radiográfica. ....	36
3.2.8 Inspección de los dispositivos de alivio de presión. ....	37
3.2.9 Prueba de resistencia mecánica y hermeticidad.....	38
3.2.10 Determinación de la vida remanente y establecimiento del nuevo período de inspección. ....	40
3.2.11 Llenado de la documentación. ....	41
3.3 Cálculo de espesor mínimo del cuerpo y los fondos de un recipiente semirremolque para el transporte de amoniaco anhidrido. ....	43
<b>Conclusiones</b> .....	45
<b>Recomendaciones</b> .....	46
<b>Bibliografía</b> .....	47
<b>Anexo</b> .....	47

## INTRODUCCIÓN

### Breve historia del amoníaco.

Aunque se trataba de reponer el nitrógeno usando estiércol y otros tipos de abono, o mediante la utilización de guano y salitre (que poseen una alta concentración de oxalato de amonio), la verdad es que estos métodos no eran tan eficientes o, en el caso del guano y el salitre, las reservas eran limitadas en el mundo. El amoníaco — junto al fósforo, el potasio el agua y la luz solar— es absolutamente necesario para el crecimiento de las plantas.

Por esa razón, el químico alemán Fritz Haber, buscó la forma de sintetizar el amoníaco del aire, en lo que hoy se conoce como el método Haber-Bosch, que consiste en combinar partículas de hidrógeno y nitrógeno a alta temperatura y presión, en presencia de óxido de hierro como catalizador.

Carl Bosch es el nombre del químico e ingeniero alemán que posteriormente se ingenió la forma de realizar este proceso a escala industrial para producir el **amoníaco puro** en grandes cantidades. Así se inició la producción agrícola con fertilizante a base de nitrógeno en todo el mundo.

Este logro alimentó a miles de millones de personas en el mundo y, de hecho, se dice que sin este descubrimiento casi la mitad de la población mundial actual no estaría viva en estos momentos. En su momento se le llamó el “pan del aire” y cambió la historia de la humanidad, ya que ahora no era necesario buscar más tierra virgen y fértil para producir, sino que con el amoníaco era posible devolver sus propiedades al terreno luego de recoger la cosecha. Al amoníaco le debemos la producción masiva de alimentos con la que contamos en la actualidad.

Con el paso del tiempo también se desarrollaron los procesos para empezar a comercializar todos los **tipos de amoníaco** o las diferentes presentaciones en las cuales se comercializa este compuesto: amoníaco anhidro y amoníaco líquido.

Sin embargo, la producción agrícola no fue lo único que revolucionó el amoníaco. Lastimosamente, este compuesto también se relacionó con la producción de gases tóxicos y explosivos que se han utilizado en diferentes contextos alrededor del mundo.

En la actualidad, el amoníaco tiene usos en diversas industrias: como refrigerante, fertilizante, desengrasante en productos de limpieza, en el tratamiento de la madera, entre otros. Es un compuesto químico de producción industrial que está presente en nuestras vidas y al que le debemos muchos procesos actuales.

### **Situación problemática:**

La empresa CENEX no dispone de una metodología específica para las inspecciones técnicas de los recipientes para el transporte de amoníaco anhídrido por carreteras.

### **Hipótesis:**

La elaboración de una metodología de inspección basado en normas nacionales y estándares internacionales lo que permiten diagnosticar el estado técnico de los recipientes a presión de las cisternas para el trasiego del amoníaco anhídrido de una manera segura, estandarizada y uniforme por parte de los especialistas de la empresa CENEX, determinando así su estado técnico, por lo que se podrán tomar las decisiones y acciones pertinentes ante determinados aspectos que pudieran invalidar el funcionamiento de estos equipos o lograr su reparación con técnicas apropiadas, por lo que se garantizaría que dichos recipientes puedan seguir operando de manera segura y garantizando la integridad de las instalaciones, el medio ambiente y lo más importante las vidas humanas

### **Objetivo General**

Proponer una metodología de inspección basada en las regulaciones, normativas y estándares que permita a la empresa CENEX diagnosticar en un orden lógico las actividades de inspección por parte de todos los especialistas de la empresa y empleando las técnicas de ensayos idóneas para inspeccionar las cisternas de transporte de amoníaco anhídrido para un trabajo seguro y confiable.

### **Objetivos Específicos**

1. Identificar las principales características técnico-constructivas de los recipientes para el transporte de amoníaco anhídrido por carretera.
2. Identificar los principales mecanismos de daños a que están sometidos los recipientes para transporte de amoníaco anhídrido por carretera.

3. Elaborar una metodología de inspección técnico que garantice y asegure una línea de trabajo estandarizado y uniforme para ser usado a los técnicos y especialistas de la empresa CENEX, a raíz de identificar los principales mecanismos de daños que pudieran afectar las cisternas de trasiego de amoniaco por carretera cumpliendo con las regulaciones y estándares establecidos en Cuba.

### **Estructura de la Tesis.**

Con vistas a alcanzar los objetivos planteados para la investigación, el trabajo se encuentra estructurado en tres capítulos, conclusiones generales, recomendaciones, bibliografía y anexos.

En el **Capítulo I** se analizará el origen del amoniaco anhídrido y sus características, información técnico-constructivas de los recipientes para el transporte de amoniaco por carretera.

En el **Capítulo II** se analizarán los principales mecanismos de daños que afectan a los recipientes usados para el transporte del amoniaco anhídrido por carretera.

En el **Capítulo III** se desarrollará una propuesta de inspección para determinar el estado técnico de recipientes para el transporte de amoniaco anhídrido por carretera que permita determinar el estado técnico en el que se encuentran los recipientes para transporte de amoniaco anhídrido, evitando así posibles fallas que pudieran provocar futuros accidentes, garantizando de esta manera el cuidado de vidas humanas, instalaciones y el medio ambiente.

## **Desarrollo**

### **CAPÍTULO I. ORIGEN DEL AMONIACO ANHIDRIDO Y CARACTERÍSTICAS TÉCNICO-CONSTRUCTIVAS DE LOS RECIPIENTES PARA EL TRANSPORTE DE AMONIACO ANHIDRIDO POR CARRETERA.**

#### **1.1 Origen del amoniaco anhídrido**

En su forma natural, el amoniaco es un gas incoloro y está compuesto por una parte de nitrógeno (N) y tres partes de hidrógeno (H<sub>3</sub>). Es producido por la naturaleza en el proceso de descomposición de materia orgánica (plantas, animales, bacterias, desechos de animales) y se puede encontrar en el aire, el suelo y el agua; también es una fuente primordial de nitrógeno para las plantas y los animales. Adicionalmente, es posible encontrarlo en su forma iónica (iones de amoniaco o NH<sub>3</sub>) cuando se disuelve con el agua en pozos, ríos, lagos y suelos húmedos.

Aunque se encuentra en el ambiente, también es fabricado industrialmente por el hombre, de hecho, según la Agencia para Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades de los Estados Unidos (ATSDR), la producción anual de amoniaco por la humanidad es casi la misma que la de la naturaleza.

##### **1.1.1 Composición del amoniaco anhídrido.**

Para la obtención del amoniaco de forma industrial se utiliza el denominado método de Haber-Bosch, que consiste en la reacción de nitrógeno e hidrógeno. Aunque la reacción es exotérmica, es muy lenta. Se puede acelerar de dos formas, utilizando óxido de hierro como catalizador u operando bajo condiciones de 200 atm y 450°C por unidad de volumen.

#### **1.2 Transporte de amoniaco anhídrido.**

En cuanto a los vehículos de carga y transporte de amoniaco, se deben seguir todas las normativas de seguridad y contar con el personal capacitado para realizar las maniobras necesarias. Los carros tanques y los autos tanques deben estar equipados con válvulas de alimentación y de salida de vapores, medidores de presión y de nivel para el líquido, y las válvulas para el exceso de flujo.

En Cuba no existen plantas productoras de amoniaco por lo que se requiere su importación para el uso fundamentalmente en la fertilización agrícola, siendo necesario tener bases matrices para su almacenamiento, y de aquí se traslada para las bases provinciales mediante diferentes medios de transporte como ferrocarriles y vehículos de carreteras.

Los vehículos de carretera que es el tema que nos ocupa pueden ser de 2 tipos:

- a) Camiones auto tanques.
- b) Camiones con arrastre.

### 1.3 Recipiente para el transporte de amoniaco anhídrido por carretera.

Los recipientes a presión para la transportación de amoniaco anhídrido están conformados de planchas de acero al carbono y compuestas de 2 tapas una anterior y otra posterior del carro tanque (ver figura 1.1) así como de rompeolas (láminas con aberturas) instalados internamente y repartidos de forma uniforme a lo largo del depósito (ver figura 1.2), las mismas tienen la finalidad de reducir las fuerzas de inercia de la masa líquida producida por el movimiento y frenadas súbitas del vehículo.

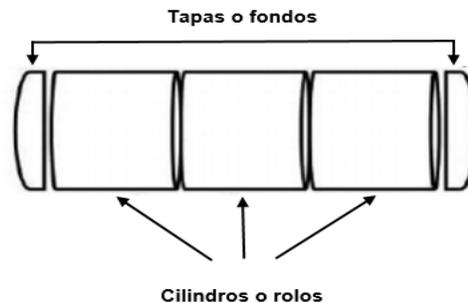


Figura 1.1 Representación de las partes del cuerpo del recipiente.

Fuente (Hurtado de Mendoza, 2013)

### 1.4 Elementos de diseño de los recipientes para el transporte de amoniaco anhídrido

Un elemento de suma importancia en los recipientes a presión de este tipo lo constituyen los espesores que conforman el cuerpo, tanto de la parte cilíndrica como de las tapas laterales. Durante la realización de estos cálculos del espesor, se toma en cuenta que los mismos no son fabricados de una manera monolítica, sino que está conformado por diferentes partes unidas mediante soldadura. Por ello, estas uniones soldadas serán consideradas las partes más vulnerables del recipiente y por ello en los cálculos se tienen en cuenta.

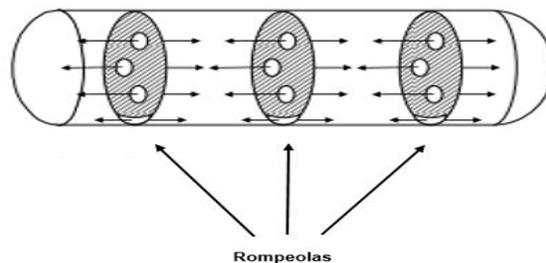


Figura 1.2 Representación de los rompeolas en el interior del recipiente. Fuente (Hurtado de Mendoza, 2013)

Según sea el país de origen de fabricación de las cisternas de amoniaco será el código de fabricación de la misma, por regla general, se ha observado que en Cuba mayoritariamente son de procedencia mexicana, en la cual se aplica el código de fabricación ASME usándose la sección VIII División I y Sección II parte D.

### 1.5 Materiales que se utilizan en la construcción de los recipientes para el transporte de amoniaco anhídrido

Los materiales que se utilizan en la construcción de los recipientes, según la literatura consultada (ASME Sección VIII División I), son aceros de construcción que tienen como característica fundamental una adecuada resistencia mecánica, capaz de soportar las condiciones de trabajo y su buena soldabilidad, debido a que la soldadura es el proceso tecnológico fundamental para su fabricación. Entre estos materiales podemos mencionar:

Aceros al carbono: Son aquellos aceros tradicionalmente empleados en los diseños y a los cuales pertenecen la mayoría de los recipientes de presión construidos, dentro de los mas empleados se encuentran los siguientes aceros:

- SA A515-70
- SA-A516-70
- SA-70 Gr F

Las características físicas y mecánicas de estos materiales se obtienen en la sección II del código ASME parte A, edición 2019 son los siguientes:

#### SA 515-70.

TABLE 1  
CHEMICAL REQUIREMENTS

Elements	Composition, %		
	Grade 60 [Grade 415]	Grade 65 [Grade 450]	Grade 70 [Grade 485]
Carbon, max (AJ):			
1 in. [25 mm] and under	0.24	0.28	0.31
Over 1 to 2 in. [25 to 50 mm], incl	0.27	0.31	0.33
Over 2 to 4 in. [50 to 100 mm], incl	0.29	0.33	0.35
Over 4 to 8 in. [100 to 200 mm], incl	0.31	0.33	0.35
Over 8 in. [200 mm]	0.31	0.33	0.35
Manganese, max:			
Heat analysis	0.90	0.90	1.20
Product analysis	0.98	0.98	1.30
Phosphorus, max (AJ)	0.035	0.035	0.035
Sulfur, max (AJ)	0.035	0.035	0.035
Silicon:			
Heat analysis	0.15-0040	0.15-0040	0.15-0040
Product analysis	0.13-0043	0.13-0043	0.13-0043

Las características mecánicas del material son las siguientes:

TABLE 2  
TENSILE REQUIREMENTS

	Grade		
	60 [415]	65 [450]	70 [485]
Tensile strength, ksi [MPa]	60-80 [415-550]	65-85 [450-585]	70-90 [485-620]
Yield strength, min, ksi [MPa]	32 [220]	35 [240]	38 [260]
Elongation in 8 in. [200 mm], min, % (A)	21	19	17
Elongation in 2 in. [50 mm], min, % (A)	25	23	21

- ASME- A516-70

Propiedades físicas del SA 516 gr70

TABLE 2 Tensile Requirements

	Grade			
	55 [380]	60 [415]	65 [450]	70 [485]
Tensile strength, ksi [MPa]	55-75 [380-515]	60-80 [415-550]	65-85 [450-585]	70-90 [485-620]
Yield strength, min, <sup>A</sup> ksi [MPa]	30 [205]	32 [220]	35 [240]	38 [260]
Elongation in 8 in. [200 mm], min, % <sup>B</sup>	23	21	19	17
Elongation in 2 in. [50 mm], min, % <sup>B</sup>	27	25	23	21

Propiedades mecánicas del SA516 gr 70

ASME BPVC.III-2019

SA-516/SA-516M

TABLE 1 Chemical Requirements

Elements	Composition, %			
	Grade 55 [Grade 380]	Grade 60 [Grade 415]	Grade 65 [Grade 450]	Grade 70 [Grade 485]
Carbon, max: <sup>A,B</sup>				
1/2 in. [12.5 mm] and under	0.18	0.21	0.24	0.27
Over 1/2 in. to 2 in. [12.5 to 50 mm], incl	0.20	0.23	0.26	0.28
Over 2 in. to 4 in. [50 to 100 mm], incl	0.22	0.25	0.28	0.30
Over 4 to 8 in. [100 to 200 mm], incl	0.24	0.27	0.29	0.31
Over 8 in. [200 mm]	0.26	0.27	0.29	0.31
Manganese: <sup>B</sup>				
1/2 in. [12.5 mm] and under:				
Heat analysis	0.60-0.90	0.60-0.90 <sup>C</sup>	0.85-1.20	0.85-1.20
Product analysis	0.55-0.98	0.55-0.98 <sup>C</sup>	0.79-1.30	0.79-1.30
Over 1/2 in. [12.5 mm]:				
Heat analysis	0.60-1.20	0.85-1.20	0.85-1.20	0.85-1.20
Product analysis	0.55-1.30	0.79-1.30	0.79-1.30	0.79-1.30
Phosphorus, max: <sup>A</sup>	0.025	0.025	0.025	0.025
Sulfur, max: <sup>A</sup>	0.025	0.025	0.025	0.025
Silicon:				
Heat analysis	0.15-0.40	0.15-0.40	0.15-0.40	0.15-0.40
Product analysis	0.13-0.45	0.13-0.45	0.13-0.45	0.13-0.45

## 1.6 Accesorios y dispositivos de seguridad.

- a) Todo recipiente a presión tiene que disponer de un sistema de seguridad ante sobrepresiones que pueden estar motivadas por diferentes causas por lo que tienen que disponer en el cuerpo del recipiente de un dispositivo de alivio de presión para estos casos llamado válvula de seguridad y esta deberá actuar ante casos de contingencias o peligros ante sobrepresiones con el objetivo de evitar explosiones por exceso de presión.

Estos dispositivos deberán ser inspeccionados, comprobados y certificados por parte de los especialistas del CENEX antes de ser instalados y puestos en servicio en la cisterna de amoniaco.

Es de sección transversal circular (nunca elíptico) para soportar la presión.

b) Parasol.

El parasol es característico de las cisternas de algunas cisternas de amoniaco.

Este fabricado de una plancha curvada puesta longitudinalmente a unos 4 cm encima del depósito, su función es evitar que la radiación solar incida directamente y eleve la temperatura en el interior de la cisterna caliente, evitando así la elevación de la presión interior de la cisterna.

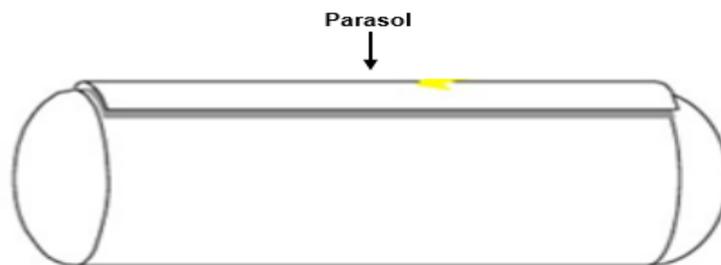


Figura 1.3 Representación de una cisterna con su parasol. Fuente (Hurtado de Mendoza, 2013)

c) Registro de hombre.

El objetivo fundamental del registro de hombre es permitir el acceso al interior del recipiente para su limpieza e inspección interior. La tapa de registro solo se puede quitar en talleres especializados. Puede estar situada en la parte delantera, trasera o central. En la figura 1.4 se encuentra ubicada en la parte trasera de la cisterna.



Figura 1.4 Parasol y registro de hombre o tapa en una cisterna. Fuente (Hurtado de Mendoza, 2013)

### Válvulas de fondo

Las válvulas de fondo actúan, además, como válvulas de exceso de flujo; si se rompiera una manguera de descarga se cerraría la válvula.

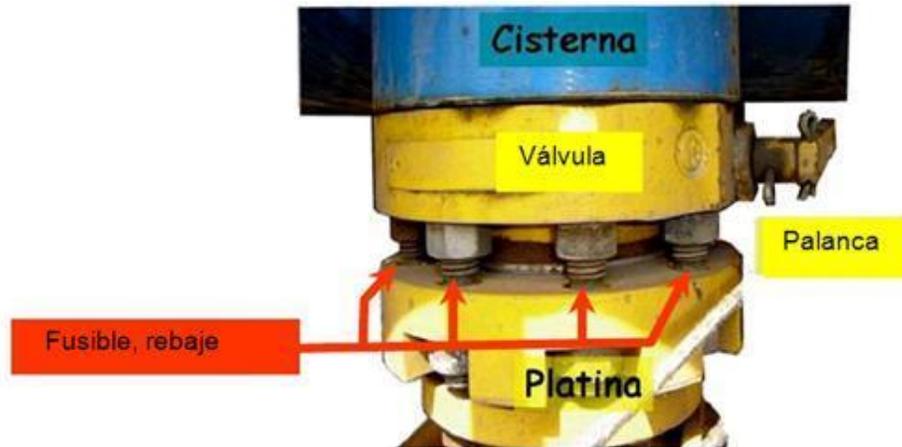


Figura 1.5 Conexión de la válvula a la cisterna. Fuente (Hurtado de Mendoza, 2013)

La válvula de fondo tiene un cuerpo superior en el interior de la cisterna (la válvula propiamente dicha) y un cuerpo inferior al exterior de la cisterna, lugar de acople de la conexión del colector de carga/descarga.

d) Galga rotativa o indicador de nivel.

La galga rotativa es un instrumento que permite conocer el nivel de líquido contenido en el depósito. La galga rotativa es característica de las cisternas de amoniaco y está situada en una concavidad en el exterior del depósito, en un lateral o en el fondo posterior.

Está compuesta de una palanca giratoria, un purgador colocado en el eje de la palanca y un disco indicador del porcentaje %. En el centro de la palanca conectado interiormente hay un tubo de pequeño diámetro en forma de codo, que gira cuando se hace girar la palanca.

Para comprobar el nivel del líquido contenido en el depósito, se gira la palanca hasta situar el tubo interior en posición vertical, se abre el tapón del purgador y saldrá gas. Si continuamos girando la palanca, seguirá saliendo gas hasta el momento en que empezará a salir líquido, que será cuando el extremo del tubo llegue a la superficie del líquido (fase líquida). En este momento, si se consulta la lectura de la palanca sobre el disco indicador, se sabrá el volumen del líquido respecto al volumen total del depósito (porcentaje: %). Esta lectura solo será real si la cisterna está en posición vertical y de rodaje.

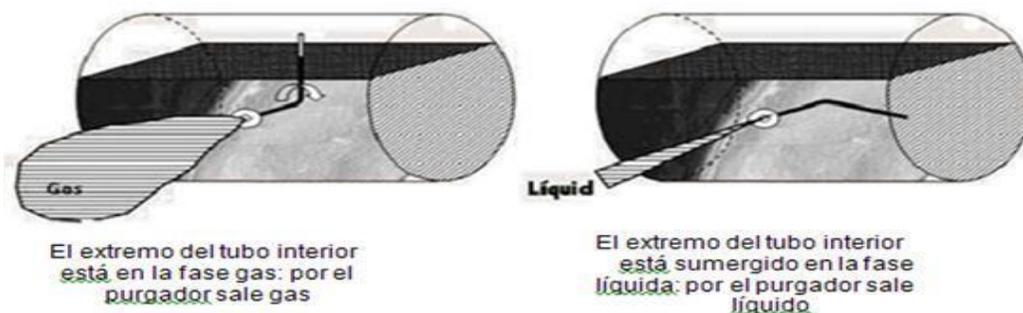


Figura 1.6 Indicador de nivel. Fuente (Hurtado de Mendoza, 2013)



Figura 1.7 Comprobación del nivel de la cisterna. Fuente (Hurtado de Mendoza, 2013)

### **Manómetro.**

Mide la presión del gas en el interior de la cisterna. Con la finalidad de reducir el número de orificios, se suele colocar en la válvula anterior.

e) Dispositivo de alivio de presión.

Se utiliza para liberar el exceso de presión interna en el tanque. El dispositivo de alivio de presión está ubicado en la parte superior del recipiente, de tal forma que únicamente está en contacto con la fase de vapor.

f) Orificio de drenaje.

En la parte más baja existe un orificio, dotado de un tapón ciego, que tiene por finalidad eliminar cualquier resto de agua y otros residuos, y que no se podrá retirar mientras la cisterna no se haya vaciado y desgasificado totalmente.

g) Termómetro.

Nos permite conocer la temperatura del producto contenido en la cisterna.

Su bulbo o elemento sensible no se encuentra directamente en contacto con el interior, sino alojado en una funda ciega que impide que el producto pueda escaparse, aunque este se saque.

h) Tora de tierra.

Deben disponer de una torna para la conexión eléctrica entre ellas y tierra, con el objetivo de eliminar cualquier carga eléctrica que pudiera producir una chispa, provocando la inflamación de una posible fuga de gas.

Esta torna está hecha de un metal blando (cobre) solidario eléctricamente con la cuba, accesible para la fácil colocación del cable de unión a la instalación de tierra y que deberá mantenerse siempre limpia y sin pintar.

## **CAPÍTULO II. MECANISMOS DE DAÑOS QUE AFECTAN A LOS RECIPIENTES PARA EL TRANSPORTE DE AMONIACO POR CARRETERA.**

### **2.1 Mecanismos de daños fundamentales que afectan a los recipientes para el transporte de amoniaco por carretera.**

Los recipientes usados para el transporte de amoniaco por carretera están sujetos a una variedad de daños en las que pueden estar envuelto uno o más mecanismos. Estos se pueden separar de la siguiente manera:

1. Daños por fatiga mecánica
2. Daños por corrosión

#### **2.1.1 Daños por fatiga mecánica.**

Los recipientes empleados en el transporte de amoniaco por carretera están constantemente sometidos a una variedad de fenómenos durante el traslado del producto debido al movimiento de este en el interior del recipiente provocado por varias maniobras desfavorables como son, las aceleraciones, desaceleraciones, y el frenado del vehículo que lo transporta, así como las constantes vibraciones que actúan sobre el recipiente provocadas al transitar por las carreteras de nuestro país, ya que muchas de ellas se encuentran en pésimo estado, además la corrosión exterior puede ser causada por el medio ambiente y más agresiva en las zonas próximas a áreas marinas o costas.

Entre las zonas más afectadas por la fatiga mecánica ponemos mencionar las siguientes.

- Zona de unión entre el semirremolque y el camión tractor.
- Uniones de los rompeolas con el cuerpo interior del recipiente.
- Uniones de los fondos con el cuerpo cilíndrico.
- Uniones de los cilindros que conforman el cuerpo cilíndrico.

#### **Zona de unión entre el semirremolque y el camión tractor.**

La unión entre el recipiente semirremolque y el chasis del camión tractor se realiza mediante dos dispositivos de conexión. Uno es la "quinta rueda" que está montado en el bastidor

trasero del camión tractor. El otro es llamado pin de arrastre, está situado en el extremo delantero del remolque de camión.

### **Quinta rueda.**

La quinta rueda sirve como un dispositivo de acoplamiento con el que se acopla un camión tractor a un semirremolque. Una quinta rueda es un disco de metal pesado con una ranura en forma de "V" como se observa en la Figura 2.1. Se fija al chasis horizontalmente por encima de los ejes traseros del camión tractor. La ranura en forma de "V" está situada en la parte trasera y contiene un dispositivo de bloqueo (Hurtado de Mendoza, 2013).



Figura 2.1 Quinta rueda. Fuente (Hurtado de Mendoza, 2013)

### **Pin de arrastre.**

El pin de arrastre es un componente de acoplamiento entre el semiremolque y el camión, que se encuentra debajo de la parte delantera del semirremolque y consistente en un bulón dispuesto en sentido vertical, Figura 2.2, que permite la articulación del acoplamiento (Hurtado de Mendoza, 2013).

El acoplamiento mecánico se efectúa alojando el pin en el centro de la quinta rueda y fijándolo por medio de unas mordazas dispuestas a tal efecto.



Figura 2.2 Pin de arrastre. Fuente (Hurtado de Mendoza, 2013)

Esta zona de acoplamiento entre el camión tractor y el semirremolque está constantemente expuesta a tracción y compresión durante el traslado del vehículo por lo que se vuelve un área muy propensa a agrietarse, pudiendo presentar una ruptura del material en esta zona de la cisterna y terminar provocando un accidente catastrófico pudiendo poner en riesgo la vida de personas y animales o provocar daños graves a cualquier infraestructura cercana

### **Uniones de los rompeolas con el cuerpo de la recipiente.**

Los rompeolas son unidos al cuerpo del recipiente mediante soldaduras, su finalidad es mitigar las inercias provocadas por el fluido al acelerar y girar, por esta razón esta zona se vuelve vulnerable, pudiendo presentar grietas por efecto de la fatiga mecánica, en el caso de no detectarse a tiempo dichas grietas, podría provocar el desprendimiento de algún rompeolas ocasionando daños en otras partes del cuerpo del recipiente.

### **Uniones de los fondos con el cuerpo cilíndrico.**

La unión de los fondos con el cuerpo de los recipientes de amoníaco es otra zona propensa a las grietas, al igual que los rompeolas estos elementos son golpeados constantemente por el líquido, además de esto, podrían ser golpeados por algún rompeolas en caso del desprendimiento de este.

### **Uniones de los cilindros que conforman el cuerpo cilíndrico.**

Las uniones soldadas de los rolos que conforman el cuerpo cilíndrico están permanentemente sometidas a flexión, siendo las más afectadas las uniones en el centro del recipiente, por esta razón la soldadura puede agrietarse en esta área, dichas grietas no solo afectan la zona de soldadura si no que además pudieran extenderse hacia el material en sí ocasionando la ruptura de este en caso de no ser detectadas a tiempo.

### 2.1.2 Daño por corrosión.

Existen diversos tipos de corrosión que pueden afectar los recipientes usados para el transporte de amoniaco los más destacados se detallan a continuación:

- Corrosión generalizada
- Corrosión no uniforme y localizada
- Corrosión por picadura.

El fenómeno de la corrosión generalizada puede definirse como el ataque químico que sufren los materiales metálicos por acción del medio ambiente, siempre y cuando con lleve un deterioro de dicho material.

Dentro del término “corrosión” hoy en día se incluyen algunos fenómenos esencialmente físicos como es la disolución de metales que contienen sales, óxidos u otros metales fundidos gracias a un proceso de difusión en caliente. El causante de la corrosión queda bien claro que es el medio que rodea y está en contacto con el material metálico. A veces el medio en contacto es el mismo en todas sus partes y otras veces no, pudiendo presentar grandes diferencias en cuanto a agresividad. Es necesario destacar que el medio por lo general posee una composición compleja en donde algunas sustancias desempeñan un papel fundamental en este proceso y otras son de menor importancia o carecen de ella. También las llamadas condiciones del medio como temperatura, presión y velocidad de desplazamiento son factores de primera importancia en el desarrollo de este fenómeno. Se destaca el hecho de que este ataque debe conducir a un deterioro o destrucción del material o equipo, o sea, debe producirse una disminución de su valor de uso acortándose por tanto la vida útil del mismo. Justificándose así mismo que no siempre un ataque químico ocasiona deterioro.

El término “corrosión” tiene un significado técnico económico y no sustituye al término científico de “oxidación”. Con frecuencia se acostumbra a definir como un proceso de retorno de los materiales metálicos a formas similares a aquellas de las cuales fueron obtenidas de la naturaleza, o sea, el proceso inverso al de la metalurgia. Así, el acero al corroerse se convierte en óxidos de hierro u otros compuestos que constituyen las

formas usuales de existencia del hierro en la naturaleza. De esta forma el corrosionista es considerado a veces como un metalúrgico, aunque de manera más precisa debe considerarse como el “médico” de los materiales metálicos de construcción.

El proceso de corrosión uniforme o generalizada es la forma más común entre la mayoría de los metales y aleaciones. En el caso particular de los recipientes contenedores de amoníaco, se puede presentar cuando conjuntamente con el gas, en el recipiente se introducen elementos que provocan la reacción del material del recipiente con la sustancia.

El material de que está fabricado el recipiente se va adelgazando cada vez más, es decir disminuyendo su espesor y eventualmente puede fallar (ver Figura 2.3).

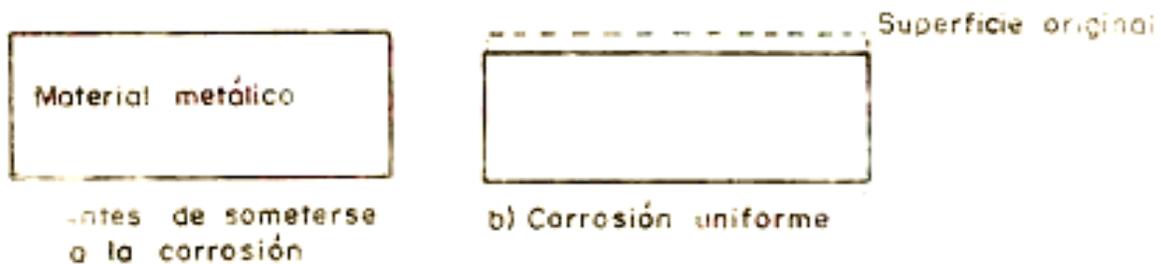


Figura 2.3 Esquema simplificado de la corrosión uniforme. Fuente (Pérez, 2011)

### **Corrosión no uniforme y localizada.**

La corrosión no uniforme en sus distintas manifestaciones es la que más abunda en este tipo de recipiente y es un tipo de ataque mucho más dañino y difícil de controlar que la corrosión generalizada (Pérez, 2011), no precisamente por las pérdidas metálicas que por lo general son pequeñas, sino por las grandes pérdidas indirectas que ocasiona. En cualquiera de sus manifestaciones, la corrosión no uniforme se caracteriza por la presencia de zonas anódicas y catódicas bien definidas, que no cambian su polaridad con el tiempo. Debido a esto, el ataque corrosivo en lugar de distribuirse en todo lo largo y ancho de la superficie metálica, se hace más intenso en determinada zona de esta, destruyendo rápidamente el material en dichas zonas.

Entre los tipos de corrosión no uniforme, sin la presencia de efectos mecánicos, se puede mencionar:

- La corrosión por picadura.
- Ampollamiento por hidrógeno (o daño por hidrógeno).

### **Corrosión por picadura.**

Uno de los tipos de corrosión localizada que con más frecuencia aparece en la práctica es la corrosión por picadura. Este tipo de corrosión se caracteriza por producir pequeños orificios a cierta profundidad en el material del recipiente (Uhlig, 1966).

La corrosión por picadura es una de las formas más destructivas de la corrosión. Este tipo de ataque causa la falla del recipiente por perforación con una pérdida metálica relativamente pequeña. A menudo es difícil descubrir las picaduras, debido a su pequeño diámetro y a que generalmente están cubiertas de corrosión. Estos orificios ocasionan grandes trastornos, ya que provocan la fuga del gas tanto en estado líquido como gaseoso, corriéndose el riesgo de incendio y explosión. Las picaduras lo mismo pueden aparecer aisladas o tan juntas que la superficie metálica puede aparecer rugosa.

Por esta razón es importante medir cuantitativamente y comparar la cuantía y extensión del ataque por picaduras, debido a la profundidad de las picaduras y el número de las mismas a veces varía en un mismo material metálico sometido a idénticas condiciones (Perry, 1998).

Como las pérdidas de material metálico que ocasionan las picaduras suele ser pequeña, la velocidad de este ataque reportada en la misma forma de corrosión uniforme no suele dar una idea real de la peligrosidad de este tipo de ataque uniforme no suele dar una idea real de la peligrosidad de este tipo de ataque. Actualmente se manejan técnicas microscópicas que permiten estimar el promedio de picaduras por unidad de superficie así como la profundidad promedio de las mismas. Por esta causa se ha definido que el factor de picadura  $F_p$  como el cociente entre la profundidad máxima de las picaduras designadas por  $P$ , y la velocidad de corrosión uniforme expresada como pérdida de espesor  $DE$ , es decir:

$$F_p = \frac{P}{DE}$$

La figura 2.3 ilustra en forma esquemática los términos expresados anteriormente.

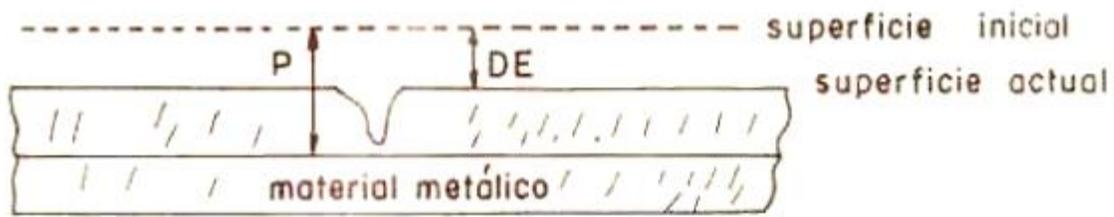


Figura 2.4 Factor de picadura. Fuente (Pérez, 2011)

Resulta prácticamente imposible la tabulación del factor de picadura, pues depende del material y del medio corrosivo, así como de las condiciones ambientales. Como es natural, mientras mayor sea  $F_p$  para un material y medio corrosivo dados, más inadecuado será el material en ese medio, pues se perforará rápidamente.

Las picaduras crecen generalmente en el sentido de la gravedad. La mayoría de las picaduras se desarrollan y crecen en superficies horizontales de arriba hacia abajo y en raras ocasiones de abajo hacia arriba. Observándose también el crecimiento y desarrollo de picaduras en superficies verticales.

Las picaduras también requieren un período de inducción o iniciación antes de que se hagan visibles (Zhyk, 1976). Tal período puede durar horas, días, meses y hasta años en dependencia de la mayor o menor concentración de iones cloruro, la temperatura y, la presencia de sustancias acelerantes o depolarizadores. Pero una vez que se inicia el ataque de las picaduras estas proliferan y crecen en profundidad rápidamente. La

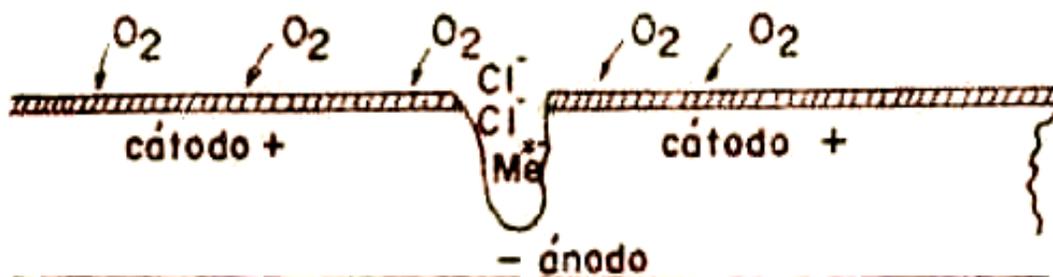


Figura 2.5 ilustra en forma esquemática como aparece este ataque en una superficie metálica pasiva.

Ampollamiento por hidrógeno.

El ampollamiento por hidrógeno se presenta por lo general en recipientes metálicos que contienen soluciones con protección catódica y que están expuestos a la atmósfera. Como resultado de los procesos de corrosión y de la aplicación de la protección catódica se desprende hidrógeno en la superficie interior del tanque; en todo momento hay una concentración fija de átomos de hidrógeno en esta superficie y parte de este hidrógeno se difunde dentro del metal en vez de formar moléculas de hidrógeno. Los átomos de hidrógeno se difunden tan rápidamente que muchas veces se detecta la formación de hidrógeno gaseoso en la superficie exterior del tanque. Pero como las redes cristalinas de los materiales metálicos no son perfectas, es posible encontrar huecos o espacios vacíos dentro de las mismas, y las moléculas de hidrógeno se forman dentro de estos huecos. Como el hidrógeno no puede difundirse, la presión del hidrógeno dentro de estos huecos aumenta y puede alcanzar cientos de atmósferas ( $1 \text{ atm} = 101,3 \text{ kPa}$ ), presión suficiente para romper muchos materiales metálicos.

También a veces las ampollas se deben a que el hidrógeno naciente es capaz de reducir cualquier tipo de óxido que esté presente para formar agua intersticial, la que también puede producir ampollas o levantamientos de las capas superficiales del metal o aleación. El mecanismo exacto de la fragilidad por hidrógeno no se conoce tan bien como en el caso anterior pero de todas formas la causa de su origen es la misma: la penetración del hidrógeno atómico dentro de la estructura metálica.

## **2.2 Protección contra la corrosión.**

La protección consiste en las operaciones que se realizan para evitar la corrosión. Se distingue entre protección pasiva y activa.

Protección pasiva.

La protección pasiva consiste en la aplicación sobre la superficie exterior del recipiente de un revestimiento continuo a base de brea de hulla, betún de petróleo, materias plásticas u otros materiales, de forma que la resistencia eléctrica, adherencia al metal,

impermeabilidad al aire y al agua y resistencia mecánica sean adecuadas a la naturaleza del lugar donde están ubicados (Uhlig, 1963).

Protección activa.

Consiste en la conexión del metal a proteger con otro metal auxiliar originando o inyectando una corriente de sentido contrario a la que se originaría de forma natural, que ocasione solamente la corrosión del metal auxiliar. Se trata de la llamada protección catódica.

La protección activa consiste en una protección catódica que logre un potencial entre el recipiente y el suelo medido respecto a un electrodo de referencia cobre-sulfato de cobre, que sea igual o inferior a  $-0,85$  V. Dicho potencial será de  $-0,95$  V como máximo cuando hay riesgo de corrosión por bacterias sulforeductoras. En el caso que existan corrientes parásitas, ya sea por proximidad de líneas férreas u otras causas, deberá adoptarse medidas especiales para la protección catódica, según las exigencias de cada caso. Cuando las corrientes parásitas puedan provocar variaciones en el potencial de protección, el potencial podrá alcanzar mayores valores que los indicados, sin limitación de valor, para puntas casi instantáneas, durante un tiempo máximo de un minutos y valores máximos de hasta  $-0,5$  V durante un tiempo máximo de cinco minutos, siempre que la duración total acumulada de estas puntas en 24 horas no sobre pase una hora.

### **CAPÍTULO III. PROPUESTA DE INSPECCIÓN PARA DETERMINAR EL ESTADO TÉCNICO DE RECIPIENTES DE AMONIACO ANHIDRIDO PARA EL TRANSPORTE POR CARRETERA.**

#### **3.1 Normativas y reglamentaciones nacionales e internacionales que rigen la inspección de las cisternas para el trasiego y transporte de amoniaco.**

Durante la búsqueda de literatura y normativas cubanas específicas relacionadas con la inspección de vehículos para el trasiego de amoniaco por carretera, no se pudo

evidenciar la existencia de una norma específica para este fin, no obstante, existen normas relacionadas para uso y aplicaciones.

- NC 341: 2005 Seguridad y salud en el trabajo - Trabajos en espacios confinados - Requisitos generales de seguridad.
- NC 924: 2012 Recipientes a presión y sistemas de tuberías — Requisitos de instalación y ensayo de los dispositivos de alivio de la presión.
- Resolución 44 2014 “REGLAMENTO PARA LA EXPLOTACIÓN SEGURA DE LOS RECIPIENTES A PRESIÓN”
- Código ANSI/API-510 Pressure Vessel Inspection Code del American Petroleum Institute.

Adicionalmente, durante la búsqueda de información se encontraron normativas ramales que nos pudieran aportar información relacionada con las inspecciones técnicas de estos vehículos, no lográndose los resultados esperados que pudieran aportar al presente trabajo.

Por lo antes expuesto, nuestro trabajo se enmarcó en 2 direcciones:

- 1) Aplicar las normativas cubanas para establecer las frecuencias y tipos de ensayos.
- 2) Aplicar las normas extranjeras para las técnicas de ensayos.

### **Normativas y resoluciones cubanas.**

Dentro de las principales normativas cubanas de aplicaciones obligatorias que rigen en Cuba se encuentra la Ley 106 del código del trabajo teniendo en cuenta la seguridad y salud del trabajo, estableciéndose en la Gaceta Oficial # 30 extraordinaria de 26 de junio del 2014 y más específicamente la Resolución No. 44-2014 Reglamento para la explotación segura de los recipientes a presión.

#### **3.1.1. Resolución No. 44-2014 Reglamento para la explotación segura de los recipientes a presión.**

La Resolución No. 44-2014 Reglamento para la explotación segura de los recipientes a presión contenida en la de la Gaceta Oficial establece los requisitos de seguridad

aplicables a los recipientes que trabajan a presión sin fuego, referidos tanto a las propiedades y características exigibles a dichos equipos como a las formas adecuadas de su explotación.

#### Objetivos y alcance.

Las disposiciones contenidas en este Reglamento son de obligatorio cumplimiento para las entidades que explotan recipientes que trabajan a presión sin fuego, para los trabajadores vinculados a las mismas, así como para los Organismos de la Administración Central del Estado, los órganos del Poder Popular, entidades estatales, cooperativas y demás organizaciones económicas y sociales y sus representantes, además del sector no estatal de la economía, que de alguna forma se encuentren responsabilizados con dicha actividad, o con su supervisión.

#### Inspección técnica.

La entidad que explota los equipos, está obligada a someterlos a inspección técnica total, que consta de los siguientes aspectos:

1. Inspección exterior.
2. Inspección interior.
3. Prueba hidráulica.

La inspección exterior del recipiente está orientada a comprobar el estado de este y de sus accesorios y aditamentos. Dicha inspección siempre se realiza con el recipiente en funcionamiento.

- a) La entidad está obligada a realizar inspecciones técnicas totales no programadas, en los siguientes casos:
- b) Después de la reconstrucción o reparación con soldadura de las partes del recipiente que trabajan a presión.
- c) Si el recipiente, antes de su puesta en marcha, ha permanecido inactivo por espacio mayor de un año.
- d) Si el recipiente fue desmontado y reinstalado en un nuevo lugar.
- e) Antes de aplicar la cubierta de protección a las paredes del recipiente, cuando esta operación sea realizada por la unidad explotadora.

La entidad está obligada a efectuar la inspección exterior de los recipientes como mínimo, una vez al año, con la inclusión en esta de la medición del espesor del recipiente.

La inspección interior se dirige a comprobar el estado de las superficies interiores y exteriores y la influencia de la sustancia de trabajo en las paredes de los recipientes, atendiendo a la presencia de los siguientes defectos:

- a) En las superficies interiores y exteriores del recipiente: fisuras, desgarraduras, corrosión de las paredes (en especial en los lugares de rebordes y ángulos, flexiones), vejigas y abolladuras (fundamentalmente en los recipientes con camisas, así como en recipientes con calentamiento por gas o electricidad) y porosidad (en los recipientes de hierro fundido).
- b) En las costuras soldadas: defectos de soldadura, fisuras, desgarraduras, socavaduras.
- c) En los recipientes con superficies protegidas: roturas del revestimiento (incluyendo inconsistencia de las capas del mismo), fisuras en las cubiertas de goma, plomo u otras sustancias, rotura del esmalte, fisuras y vejigas o abolladuras en los casquillos metálicos y efecto en el metal de las paredes del recipiente en los lugares donde presente rotura del revestimiento.

Las entidades están obligadas a realizar la inspección interior de los recipientes en un período de un año y cinco meses como mínimo, a excepción de los que trabajan con sustancias que provocan la corrosión del metal, los cuales se someten a inspección interior como mínimo una vez al año.

Así mismo, efectúan la prueba hidráulica con inspección interior previa, cada seis años como mínimo.

### **3.1.2. NC 341: 2005 Seguridad y salud en el trabajo - Trabajos en espacios confinados - Requisitos generales de seguridad.**

Esta Norma Cubana establece los requisitos generales de seguridad, para la protección del personal de inspección, contra los peligros de ingreso, ejecución de tareas y egreso de los espacios confinados.

Los requisitos generales de seguridad establecidos por la NC 341: 2005 se describen a continuación:

Para una inspección interna, el recipiente debe ser ventilado mediante la apertura de sus esclusas u otros métodos, para de esa forma eliminar los riesgos de contaminación de la atmósfera en su interior con restos de líquidos, gases, o vapores.

El recipiente debe ser drenado, purgado, limpiado, ventilado, y probarse la no existencia de gas en su interior.

El personal de inspección deberá utilizar correctamente el equipo de protección personal de acuerdo con los controles de ingeniería y las prácticas laborales para protegerse adecuadamente.

Los equipos de ensayos no destructivos utilizados en la inspección deben cumplir requisitos de seguridad comúnmente seguido en atmósfera gaseosa.

En el proceso de inspección estarán presentes un supervisor de trabajo que será el responsable de determinar si se cumplieron las condiciones requeridas para permitir el ingreso a un espacio confinado y supervisar las operaciones que se realizarán en el mismo, un asistente que se ubicará en el exterior del espacio confinado, con la responsabilidad de controlar que todas las personas que accedan al recinto tengan autorización de ingreso y esté preparada para auxiliar en caso de emergencia, y los autorizados, que son aquellas personas autorizada por la organización para entrar en un espacio confinado con la finalidad de realizar la inspección.

Antes de comenzar la inspección, todas las personas autorizadas a ingresar deberán conocer todos los riesgos que enfrentarán al ingresar, incluyendo información sobre forma, señales o síntomas y consecuencias de su exposición.

Las personas que se encuentran trabajando dentro del recipiente deben comunicarse con el asistente tantas veces como sea necesario para posibilitar a éste monitorear el estado de los autorizados, y alertar sobre la necesidad de evacuar el espacio confinado al producirse cualquiera de las condiciones siguientes:

- a) Si el asistente detecta una condición insegura.
- b) Si el asistente detecta efectos de exposición a riesgos en el comportamiento de un autorizado.
- c) Si el asistente detecta fuera del espacio confinado una situación que signifique peligro para los autorizados.

Las herramientas y los equipos de seguridad personal, empleados para la inspección del recipiente deben ser chequeados antes de la inspección. Los supervisores de ingreso deben verificar que los equipos de rescate estén disponibles y que se disponga de los medios adecuados para dar la alarma de emergencia.

### **3.1.3 Código ANSI/API-510 Pressure Vessel Inspection Code del American Petroleum Institute.**

El código API 510 cubre los procedimientos de mantenimiento, inspección, reparación y modificación de recipientes a presión usados por la industria del petróleo y de procesos. El uso de este código está restringido a organizaciones que tienen acceso a una agencia de inspección autorizada, a personal de ingeniería e inspección o a organizaciones que están técnicamente calificadas para llevar adelante el mantenimiento, la reparación, la alteración o la recalificación de recipientes a presión. También este código se aplica a recipientes a presión construidos de acuerdo con el código API/ASME de recipientes a presión para líquido y gases derivados del petróleo, con la sección VIII del ASME [3], otros códigos de construcción reconocidos, recipientes no estándar y recipientes de aprobación especial por las jurisdicciones.

### **3.2 Propuesta del sistema de inspección para la determinación del estado técnico de las cisternas para trasiego de amoniaco anhídrido.**

Tanto la Resolución No. 44-2014 Reglamento para la explotación segura de los recipientes a presión como los códigos ASME y API 510 ya mencionados, dan elementos generales a tener en cuenta durante la inspección de recipiente a presión. Sin embargo, debido a la naturaleza de estos documentos no se enfoca el proceso de inspección desde un punto de vista sistémico, que oriente, agilice y facilite a los especialistas en inspecciones de este tipo a decidir sobre las acciones requeridas en determinados casos; las que, cabe resaltar, están fuertemente condicionadas por los códigos y las exigencias específicas de carácter legal, económico y social. Tomando como base los elementos antes citados se propone el sistema mostrado en la figura 3.5. A continuación se expondrá los elementos que contemplan cada una de estas etapas.

#### **3.2.1 Datos iniciales.**

A la hora de establecer el proceso de inspección de los recipientes para transporte de amoniaco por carretera es necesario solicitar a la empresa la carpeta técnica del recipiente que se inspeccionará, la misma deberá contener los siguientes datos:

1. Fecha de fabricación
2. Códigos utilizados en su construcción.
3. Dibujo del conjunto con los detalles constructivos.
4. Material de fabricación
5. Presión de diseño.
6. Temperatura de diseño.
7. Historial de ensayos e inspecciones.
8. Reparaciones previas si se han realizado.

### **3.2.2 Preparación del recipiente antes de realizar la inspección.**

Antes de someter un recipiente a un proceso de inspección este debe ser preparado previamente por la empresa explotadora, donde se le debe haber realizado una serie de actividades descritas a continuación:

1. Descarga completa del contenido.
2. Lavado del recipiente con agua.
3. Ventilado y secado del recipiente.
4. Desgasificado del recipiente para eliminar cualquier resto de hidrocarburo que pudiera quedar en el interior.

### **3.2.3 Preparación de la superficie.**

Una vez comprobado que el recipiente ha sido correctamente limpiado internamente por la unidad explotadora se procederá a realizar la limpieza de la superficie exterior. Para esto se deberá usar un cepillo de alambre rotatorio, ya que dicho proceso permite la eliminación de cualquier elemento adherido a la superficie del recipiente sin que produzca ningún tipo de marca o ranura sobre su superficie. En el caso que exista una capa de óxido gruesa se debe recurrir a la utilización de pistola de agujas como método de limpieza. Se debe hacer especial hincapié en la limpieza de las uniones soldadas, tanto en la zona fundida afectada por el calor de la soldadura como en las partes que componen el recipiente y de las tubuladuras que están soldadas al cuerpo.

### **3.2.4 Medición de espesores.**

La medición de espesores se realizará por ultrasonido mediante la técnica de haz recto. Con esta técnica además de medir los espesores de las partes a inspeccionar, se persigue también detectar laminaciones paralelas a la superficie de la zona inspeccionada, como vacíos y porosidades, en la figura 3.1 se muestra una imagen de un medidor ultrasónico de espesores.



Figura 3.1 Medidor ultrasónico de espesores.

Aun cuando las normas nacionales e internacionales ya mencionadas no establecen ninguna zona en particular para la inspección de los recipientes usados para el transporte de amoníaco por carretera con este método, es recomendado por los inspectores con experiencia el mallado de las zonas más importantes del recipiente con unas cuadrículas de 229 x 229 mm para de esa forma tener una idea más completa de su estado. Es necesario aclarar que en las zonas donde por inspección visual se detectaron falta de espesores, el mallado tendrá que ser más fino. Se podrá tomar puntos aislados de inspección en zonas de corrosión o desgaste críticas.

Las zonas más importantes en las cuales debe hacerse esta medición son:

- a) Alrededor de las intercepciones de uniones longitudinales y circunferenciales.
- b) Alrededor de las uniones longitudinales y circunferenciales, principalmente las uniones entre el cuerpo y los fondos.
- c) Zonas aleatorias en la parte inferior del recipiente.
- d) Áreas cercanas a conexiones o aberturas.
- e) Áreas adyacentes al pin de arrastre y mesa de tracción.
- f) Alrededor de los dispositivos de alivio de presión.

### 3.2.5 Cálculo de la velocidad de corrosión.

El cálculo de la velocidad de corrosión debe realizarse sobre las bases de las mediciones de espesores, para dicho cálculo se siguen dos expresiones, la expresión para el cálculo de la velocidad de corrosión a largo plazo (LT) en mm/ años (ver ecuación 3.2.1) y la expresión para el cálculo de la velocidad de corrosión a corto plazo (ST) en mm/ años (ver ecuación 3.2.2). Para ello es necesario tener bien claro el espesor original de recipiente o las mediciones realizadas en inspecciones previas. De igual manera es necesario tener presente el tiempo que ha transcurrido desde el montaje o desde la última inspección.

$$\text{velocidad de corrosión (LT)} = \frac{t_{\text{inicial}} - t_{\text{real}}}{\text{tiempo (años) entre } t_{\text{previo}} \text{ y } t_{\text{real}}} \quad (3.2.1)$$

$$\text{velocidad de corrosión (ST)} = \frac{t_{\text{previo}} - t_{\text{real}}}{\text{tiempo (años) entre } t_{\text{previo}} \text{ y } t_{\text{real}}} \quad (3.2.2)$$

Donde:

$t_{\text{real}}$ : Espesor real medido durante la inspección en cierta localización del componente (mm).

$t_{\text{inicial}}$ : Espesor en la misma localización que el  $t_{\text{real}}$  medido al inicio de la instalación o en el comienzo de un ambiente con una nueva velocidad de corrosión (mm).

$t_{\text{previo}}$ : Espesor en la misma localización que el  $t_{\text{real}}$  medido en una inspección previa (mm).

### 3.2.6 Evaluación del espesor mínimo.

Para la evaluación del espesor mínimo se utilizarán los resultados obtenidos durante la medición de espesores y el cálculo de la velocidad de corrosión, unido a las ecuaciones particulares de diseño con las cuales se diseñó el recipiente o en su ausencia se pueden utilizar las dadas por ASME Parte VIII División 1 UG 27 y UG 32 donde se expresa que para el cálculo del espesor mínimo de este tipo de recipiente, el cual está sometido a presión interna, se siguen dos expresiones, la expresión para el cálculo del espesor mínimo del cuerpo cilíndrico (ver ecuación 3.2.3) y la expresión para el cálculo

del espesor mínimo de las tapas (ver ecuación 3.2.4). En el caso de las tapas, semielípticas.

$$t = \frac{PR}{SE-0,6P} \quad (3.2.3)$$

$$t = \frac{PD}{2(SE)-0,2P} \quad (3.2.4)$$

Donde:

t: Espesor mínimo requerido del cuerpo en mm.

P: Presión interna de diseño en MPa.

S: Valor máximo de tensión admisible.

E: Eficiencia de la unión soldada (1 para uniones radiografiadas al 100 %; 0,85 para uniones controladas por secciones y 0,7 para uniones soldadas no controladas).

R: Radio interno en mm.

D: Diámetro interno en mm.

Sobre la base de estos elementos y teniendo en cuenta las condiciones actuales de operación del recipiente se podrá determinar si este posee condiciones desde el punto de vista de resistencia para seguir operando.

De acuerdo a los resultados logrados pueden surgir dos alternativas:

1. El recipiente posee un espesor superior al mínimo establecido, en este caso se prosigue la inspección mediante otras técnicas no destructivas al resto del recipiente.
2. El recipiente posee un espesor inferior al mínimo establecido en su diseño, en este caso el recipiente no podrá seguir siendo utilizado para el almacenamiento y transporte del amoníaco anhídrido.

### **3.2.7 Técnicas no destructivas a emplear para la detención de fallas en las cisternas para transporte de amoniaco por carretera.**

Las fallas mencionadas anteriormente en del capítulo II pueden ser detectadas por ensayos no destructivos (END), los que se definen como aquellos métodos de ensayos que son utilizados para examinar un objeto, material o sistema sin afectar su utilidad futura.

Debido a las características de las fallas antes mencionadas, los métodos de inspección superficiales que mejores resultados podrían arrojar son los siguientes:

1. Inspección visual.
2. Inspección por líquidos penetrantes.
3. Inspección ultrasónica.
4. Inspección radiográfica.

#### **3.2.7.1 Inspección visual.**

La inspección visual es el ensayo no destructivo por excelencia, es la técnica más barata y económica, pues requiere muy pocos recursos para su ejecución. Este método proporciona indicaciones inmediatas que frecuentemente pueden precisar o no de otras técnicas de ensayos no destructivos.

La inspección visual siempre está vinculada a un examen completo del recipiente, otorgándose especial atención a las partes más susceptibles de este. A través de esta técnica se pueden detectar en los recipientes de los carros cisternas de amoniaco los siguientes defectos:

- a) Oxidación superficial en las en áreas desprotegidas.
- b) Reducción de espesores del cuerpo y los fondos en zonas de corrosión.
- c) Grietas en el cuerpo del recipiente.
- d) Cortes, abolladuras y rasgaduras provocadas por impactos.
- e) Desprendimiento de elementos internos.
- f) Deformaciones, desgaste o fractura en la zona del pin de arrastre y la mesa de tracción.

Es necesario destacar que la calidad de la inspección visual depende en gran medida de la preparación que se realice de la superficie a inspeccionar, pues en la medida que se encuentre más limpia, mejor se podrán detectar los defectos. El porcentaje de superficie a controlar por dicho método será siempre 100%. El ensayo se deberá realizar según el capítulo IX de la Resolución No. 44-2014. La inspección visual de los recipientes a presión usados para el transporte de amoníaco por carretera se realiza tanto exterior como interiormente.

### **3.2.7.2 Inspección visual exterior.**

Durante la inspección visual exterior todas las partes del recipiente deben ser inspeccionadas para detectar corrosión, distorsión, grietas u otras condiciones descritas anteriormente. La inspección exterior se debe realizar en las zonas siguientes:

- a) En las cisternas articuladas, la zona del pin de arrastre y la mesa de tracción, con el objetivo de detectar corrosión, grietas, desgastes o deformaciones que podrían provocar una ruptura en esta área.
- b) Todas las uniones soldadas de los fondos con el cuerpo del recipiente.
- c) Todas las uniones de los cilindros que conforman el cuerpo del recipiente, para encontrar cualquier tipo de daño, ya que esta zona está constantemente sometida a flexión cuando el recipiente se encuentra cargado.
- d) La protección del cuerpo del recipiente, aún, cuando la protección esté en buenas condiciones es aconsejable quitar una pequeña porción del recubrimiento para determinar su condición y la condición de la superficie del recipiente.
- e) El soporte del recipiente debe chequearse para que permita una adecuada expansión y contracción, como puede ser el caso de obstrucción en los soportes del recipiente mediante una tornillería muy ajustada.
- f) Los componentes que están en el exterior del recipiente y que son accesibles sin desarmarlos deben inspeccionarse, estos se describen a continuación:
  - Los registros, placas de refuerzos, tuberías, acoplamientos y otras conexiones deben examinarse para detectar grietas, deformaciones u otros defectos.
  - Los tornillos y las tuercas deben examinarse para detectar corrosión o defectos.

### **3.2.7.3 Inspección interior.**

La inspección interior se dirige a comprobar el estado de las superficies interiores y la influencia de la sustancia de trabajo en el interior del recipiente. Se comprobará que el recipiente ha sido previamente preparado y desgasificado, para esto se retirará la tapa de registro y con un explosímetro se verifica que está libre de gas para poder realizar la inspección mediante la entrada del personal autorizado al interior del recipiente, para esto el inspector deberá estar provisto de algún elemento no inflamable y a prueba de chispas que le proporcione buena iluminación. Además, deberá disponer de un adecuado sistema de ventilación o, en su defecto, de un respirador.

La inspección interna se debe realizar a las siguientes zonas:

- a) Todas las intercepciones de las uniones longitudinales y circunferenciales, fundamentalmente de las zonas de unión entre el cuerpo y los fondos, con el fin de encontrar grietas en las soldaduras o en zonas cercanas a ellas.
- b) Todas las uniones de los cilindros que conforman el cuerpo del recipiente.
- c) Todas las conexiones soldadas al cuerpo del recipiente como tuberías de drenaje y llenado.
- d) Las uniones de los rompeolas con las paredes del recipiente. Estas serán analizadas con el objetivo de detectar grietas, desgarraduras u otro fallo.
- e) Accesorios de medición y control.

### **3.2.7.4 Inspección por líquidos penetrantes**

Una vez terminada la inspección visual, se procederá a realizar la inspección por líquidos penetrante. Esta técnica puede ser capaz de revelar defectos no detectados en una inspección visual. Es un método muy versátil capaz de detectar e identificar discontinuidades presentes en la superficie examinada. El método utiliza el principio de la capilaridad y la baja tensión superficial de productos derivados del petróleo. En la figura 3.2 se muestran los líquidos usados para esta inspección.

Para la realización de la inspección mediante este método se seguirán los siguientes pasos:

1. Se debe preparar la superficie de la parte a inspeccionar mediante limpieza y desengrasado.
2. Aplicar el líquido penetrante a la superficie, y permitir un período de tiempo para que se introduzca en cualquier discontinuidad.
3. Eliminar el exceso de líquido de una manera que garantice la retención del penetrante en cualquier discontinuidad, para retirar correctamente el líquido sobrante se debe utilizar trapo o papel absorbente.
4. Aplicar el líquido revelador, de existir daños, luego de varios minutos el líquido penetrante sale hacia el exterior de la discontinuidad, entonces el líquido revelador hace un contraste entre la superficie y la indicación del defecto, permitiendo proporcionar una indicación mejorada de las discontinuidades.
5. Examinar y evaluar las discontinuidades visualmente bajo condiciones de observación aproximadas. Luego limpiar la parte inspeccionada.



Líquido limpiador

Líquido penetrante

Líquido revelador

Figura 3.2 Líquidos usados para la inspección por líquidos penetrantes.

El porcentaje de superficie a controlar por dicho método es siempre el 100%. La inspección se realizará en las siguientes zonas:

- a) En las cisternas articuladas, las zonas cercanas al pin de arrastre y la mesa tractora.
- b) Los registros, placas de refuerzos, tuberías, acoplamientos y otras conexiones.

- c) Las uniones longitudinales y circunferenciales tanto en el exterior como en el interior de la cisterna.
- d) Las intercepciones de las uniones circulares con las longitudinales, fundamentalmente de las zonas de unión entre el cuerpo y las tapas, exterior e interiormente.
- e) En el interior de la cisterna, las uniones de los rompeolas con las paredes del recipiente.

### **3.2.7.5 Inspección ultrasónica.**

La aplicación de la inspección ultrasónica, constituye una técnica que ayuda a complementar la información proveniente de las técnicas aplicadas con anterioridad. La inspección de todas las uniones soldadas presentes en el cuerpo de la cisterna se realizará mediante la técnica A-Scan, esta técnica es usada para la detección de discontinuidades en la soldadura y el material base. La inspección se realiza con el uso de palpadores de ultrasonido convencional mediante zapatas angulares que transmiten ondas cortantes en el material de tal manera que dicha onda al encontrar una discontinuidad sea reflejada y de esta manera obtener una señal en la pantalla del equipo para posteriormente ser analizada.

La inspección ultrasónica mediante A-Scan se realizará en las siguientes zonas:

- a) Las uniones soldadas de los cilindros que conforman el cuerpo de la cisterna.
- b) Las uniones de las tapas con el cuerpo de la cisterna.
- c) Las intercepciones de las costuras circulares y longitudinales, fundamentalmente de las zonas de unión entre el cuerpo y las tapas.
- d) Las uniones de los rompeolas con el cuerpo del recipiente.

Es necesario aclarar que las zonas antes descritas no se inspeccionarán al 100%, si no, en los puntos donde el inspector determine necesario basado en normas y su experiencia personal.



Figura 3.3 Ejemplo de una inspección ultrasónica de soldadura.

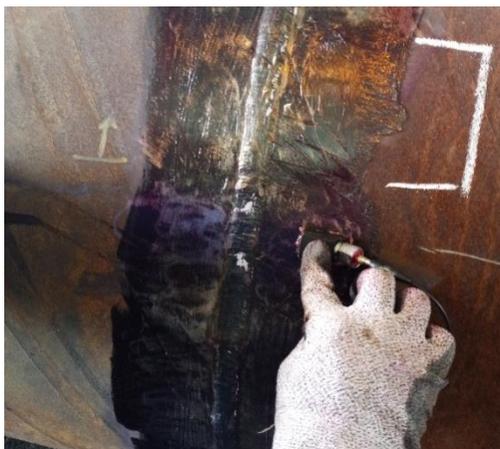


Figura 3.4 Equipo de ultrasonido para la inspección de soldaduras.

### **3.2.7.6 Inspección radiográfica.**

Como se ha descrito anteriormente, una buena inspección visual puede ser un modo muy efectivo de inspeccionar un recipiente de este tipo. Pero una buena inspección visual no puede, por supuesto, detectar defectos debajo de la superficie examinada. Para muchas aplicaciones, por tanto, se requiere un control no destructivo volumétrico y uno de los métodos principales para hacer esto es la radiografía.

La utilización de la inspección radiográfica debe tenerse en cuenta durante las inspecciones de los recipientes usados para el transporte del amoníaco, para esto se deberá tener en cuenta los siguientes aspectos:

- a) sí es un recipiente con poco tiempo de servicio.
- b) sí es un recipiente con muchos años de explotación.

Si es un recipiente con poco tiempo de servicio solo se deberá radiografiar si anteriormente el mismo ha sido sometido a un proceso de reparación. Esto es particularmente importante cuando existen evidencias de que en el diseño del referido recipiente han sido tomados un alto nivel de eficiencia de la junta. Esta prueba se debe efectuar al 100% de las soldaduras que se hayan aplicado para la reparación del recipiente.

En caso de que el recipiente no se halla sometido a ningún proceso de reparación, pero tenga muchos años de explotación se deberán tener en cuenta para la inspección radiográfica del recipiente las zonas donde por otras inspecciones se hallan detectado defectos.

Las zonas más críticas del recipiente donde se deberá aplicar la inspección radiográfica son las siguientes:

Las intercepciones de las uniones longitudinales y circunferenciales, siempre y cuando sean accesibles.

El 10% de las uniones longitudinales y circunferenciales cuando se tenga acceso a ellas tomando muestras aleatorias de 150 mm de longitud.

### **3.2.8 Inspección de los dispositivos de alivio de presión.**

Durante la inspección de los recipientes para el transporte del amoníaco por carretera a los dispositivos de alivio de presión se les deberá realizar una inspección visual exterior, además deberán ser inspeccionados internamente, probados y ajustados en talleres especializados por personal capacitado y con experiencia en su mantenimiento, dicha inspección se deberá realizar según indica la norma cubana NC 924: 2012 Recipientes

a presión y sistemas de tuberías — Requisitos de instalación y ensayo de los dispositivos de alivio de la presión [8].

Los aspectos a inspeccionar en los dispositivos de alivio durante la inspección de los recipientes contendrán como mínimo los siguientes:

- a) Inspección de fugas o salideros por las bridas o por elementos del cuerpo.
- b) Estado de limpieza exterior.
- c) Estado de los elementos de fijación y soportes.
- d) Verificar la no obstrucción del conducto de descarga.

### **3.2.9 Prueba de resistencia mecánica y hermeticidad.**

Cuando sea necesario se realizará una prueba de presión hidráulica para comprobar la resistencia mecánica a la tracción de las uniones soldadas y otros elementos que conforman el cuerpo del recipiente. Esta prueba se realizará cada 6 años atendiendo a las exigencias del capítulo IX de la Resolución No. 44-2014 Reglamento para la explotación segura de los recipientes a presión.

Antes de la prueba hidráulica se deben seguir los pasos que se describen a continuación:

- a) Limpiará minuciosamente toda la estructura.
- b) Ubicar el carro cisterna o el semirremolque en un terreno plano.
- c) Se desmontarán los dispositivos de alivio de presión, medidor de nivel de líquido, válvula de máximo llenado, termómetro y manómetro.
- d) Cerrar herméticamente las válvulas, grifos y registro de fondo.
- e) Suspender el chasis sobre una estructura de apoyo para evitar que el peso del recipiente cargado con agua recaiga sobre los neumáticos.
- f) Cercar perimetralmente el área de pruebas y permitir el acceso solo al personal técnico autorizado a realizar la prueba.

Según el artículo 116 de la Resolución No. 44-2014, la prueba hidráulica de resistencia se realiza con agua u otro líquido que no sea corrosivo, tóxico, explosivo o viscoso, a la presión que se indica en la tabla 3.1.

Tabla 3.1 Presión de prueba para la prueba hidráulica según el tipo de recipiente y la presión de trabajo. Fuente (Resolución No. 44-2014)

<b>TIPO DE RECIPIENTE</b>	<b>PRESION DE TRABAJO (Pt) EN kgf/cm<sup>2</sup></b>	<b>PRESION DE PRUEBA (Pp) EN kgf/cm<sup>2</sup></b>
Todos los recipientes excepto los fundidos	No mayor que 5	1,5 Pt, pero no menos de 2
	Mayor que 5	1,25 Pt, pero no menos de (Pt + 3)
Recipientes fundidos	Independiente de la presión	1,5 Pt, pero no menos de 3

Como los recipientes de los carros cisternas no son recipientes fundidos y trabajan a una presión mayor que 5kgf/cm<sup>2</sup>, la presión de prueba (Pp) será 1,25 por la presión de trabajo (Pt) pero nunca menos de (Pt + 3).

La prueba hidráulica debe realizarse a temperatura ambiente y se deberán aplicar los siguientes pasos:

- a) Se procederá a cerrar todas las aperturas con tapones adecuados, excepto las que se encuentren en la parte superior.
- b) Seguidamente se llena el recipiente totalmente con agua hasta que esta salga por la parte superior logrando expulsar todo el aire del interior y se colocan tapones en las aperturas de la parte superior del recipiente con el fin de sellar totalmente el recipiente.
- c) Luego se conecta a la toma de llenado una bomba mecánica y con la ayuda de esta y un manómetro se eleva gradualmente la presión, no superior a 3,5 kgf/cm<sup>2</sup> por minuto hasta alcanzar la presión de prueba y se mantendrá la presión durante un tiempo no mayor a 5 minutos con el fin de evitar que se creen tensiones residuales que podrían provocar fallas futuras.
- d) Posteriormente se bajará la presión lentamente, no superior a 3,5 kgf/cm<sup>2</sup> por minutos hasta alcanzar la presión máxima de trabajo del recipiente. Llegado a este punto se realiza la inspección de todas las partes del recipiente para detectar

señales de roturas, grietas, deformaciones residuales visibles, fugas o sudoración en las costuras. Solo se aceptarán las que se presenten en los cierres temporales para la prueba, estas últimas deben ser corregidas para que el recipiente sea reexaminado.

Se considera que los recipientes han pasado satisfactoriamente la prueba hidráulica si:

- a) No se observan señales de roturas.
- b) No se detectan fugas ni sudoraciones en las costuras.
- c) No se detectan deformaciones residuales visibles.

Al finalizar la prueba hidráulica se procede al despresurizado del recipiente, para esto se evacua la presión lo más lentamente posible para evitar el colapso del mismo. Después se evacuará el agua por los medios apropiados ubicados en la parte inferior del recipiente y se secará totalmente el mismo.

Terminada la prueba de resistencia mecánica el recipiente con todos sus accesorios y dispositivos de alivio instalados correctamente se someterá a una prueba neumática elevando la presión hasta alcanzar la presión máxima de trabajo, la cual debe ser mantenida hasta comprobar la hermeticidad del recipiente mediante la aplicación de espuma (puede usarse agua jabonosa) en todas las conexiones y uniones soldadas.

### **3.2.10 Determinación de la vida remanente y establecimiento del nuevo período de inspección.**

Para determinar la vida remanente y establecer el nuevo período de inspección se utilizarán los resultados obtenidos en las mediciones de espesores realizadas con anterioridad y la determinación de la velocidad de corrosión anual.

Se deben llevar a cabo un número representativo de mediciones de espesor en el recipiente para de esa forma satisfacer los requisitos de la inspección. Por ejemplo, el espesor de los componentes de mayor tamaño como son el cuerpo y las tapas, también se deben medir y registrar una muestra representativa de las boquillas. Para establecer de esa forma la vida restante y el próximo intervalo de la inspección.

Para determinar el número y la localización de las mediciones de espesores, se deben tener en cuenta los resultados de las inspecciones previas, si están disponible y el potencial de consecuencias de la pérdida de contención del recipiente.

El número de mediciones de espesor y su localización (TMLs), permiten establecer las velocidades de corrosión de manera general para las diferentes secciones del recipiente. Un número mínimo de TMLs son aceptables cuando la velocidad de corrosión establecida es baja y no localizada.

Para la vida remanente del recipiente se utilizará la ecuación 3.2.3.

$$\text{velocidad de corrosión (LT)} = \frac{t_{\text{inicial}} - t_{\text{real}}}{\text{tiempo (años) entre } t_{\text{previo}} \text{ y } t_{\text{real}}} \quad (3.2.1)$$

$$\text{vida remanente (año)} = \frac{t_{\text{real}} - t_{\text{requerido}}}{\text{velocidad de corrosión}} \quad (3.2.3)$$

Donde:

$t_{\text{real}}$ : Espesor real medido durante la inspección en cierta localización del componente (mm).

$t_{\text{requerido}}$ : Espesor requerido por el componente en la misma localización que el  $t_{\text{real}}$ , el mismo está determinado por las fórmulas de diseño (ejemplo la presión, y estructura) antes de que se le adicione los sobre espesores por corrosión y la tolerancia de fabricación (mm).

$t_{\text{inicial}}$ : Espesor en la misma localización que el  $t_{\text{real}}$  medido al inicio de la instalación o en el comienzo de un ambiente con una nueva velocidad de corrosión (mm).

$t_{\text{previo}}$ : Espesor en la misma localización que el  $t_{\text{real}}$  medido en una inspección previa (mm).

### 3.2.11 Llenado de la documentación.

El correcto llenado de la documentación es un paso final del proceso de inspección (ver anexo), ya que en el mismo se plasman los elementos detectados durante la realización de la mencionada operación, quedando constancia escrita de los mismos. Este paso, a pesar de su simplicidad constituye un elemento de obligatorio

cumplimiento, pues garantiza el cumplimiento del ciclo de inspección a que debe estar sometido el recipiente.

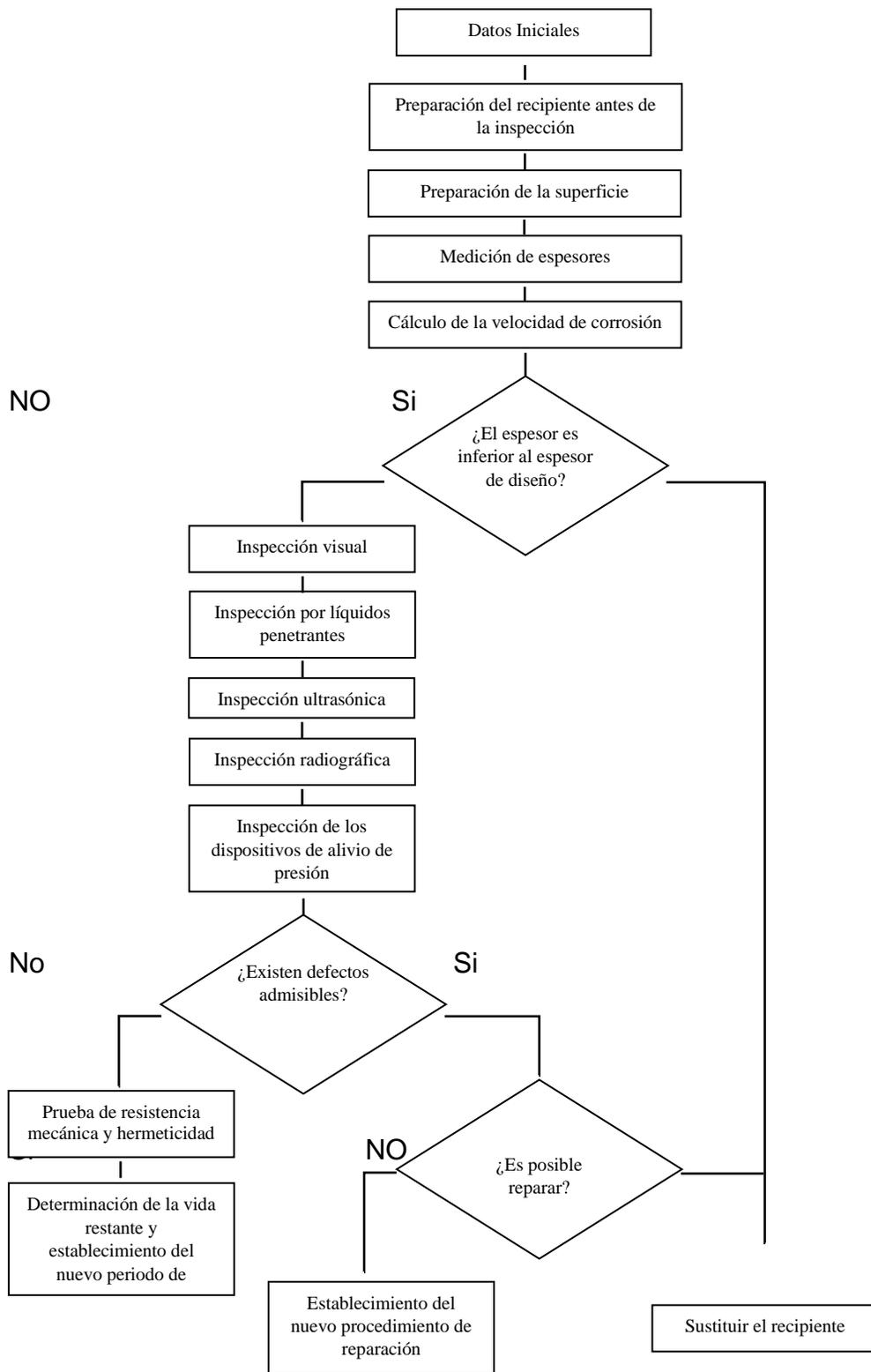


Figura 3.5 Diagrama de flujo para la inspección de recipientes para el transporte del amoniaco por carretera.

### 3.3 Cálculo de espesor mínimo del cuerpo y los fondos de un recipiente semirremolque para el transporte del amoniaco.

A modo de ejemplo a continuación se desarrollará el cálculo del espesor mínimo del cuerpo y las tapas de un recipiente para el transporte del amoniaco. Estos resultados deben ser comparados con los espesores obtenidos durante la medición de espesores.

#### Datos de construcción:

Material del cuerpo: SA-612

Material de los fondos: SA-455

Diámetro interior (D): 2.33 m = 2330 mm

Radio interior (R): 1165 mm = D/2

Presión de diseño (P): 14 kgf/cm<sup>2</sup> = 1,37 MP<sub>a</sub>

Radiografiado: 100%

E = 1 (para uniones radiografiadas al 100%)

Datos obtenidos de ASME Sección II Parte D, tabla 1A páginas 26 y 30 respectivamente:

Para SA-455: Tensión máxima admisible (S) = 148 MP<sub>a</sub>

Para SA-612: Tensión máxima admisible (S) = 159 MP<sub>a</sub>

Cálculo del espesor mínimo para el cuerpo del cilindro.

$$t = \frac{PR}{SE - 0,6P}$$

$$t = \frac{1,37 \times 1165}{159 \times 1 - 0,6 \times 1,37}$$

$$t = \frac{1596,05}{158,18}$$

$$t = 10,09\text{mm} = 1,00 \text{ cm}$$

Cálculo del espesor mínimo para las tapas del recipiente.

$$t = \frac{PD}{2(SE) - 0,2P}$$

$$t = \frac{1,37 \times 2330}{2(148 \times 1) - 0,2 \times 1,37}$$

$$t = \frac{3192,1}{295,73}$$

$$t = 10,79 \text{ mm} = 1,07 \text{ cm}$$

## Conclusiones

1. Debido a sus condiciones de trabajo y a los años en servicio, los recipientes usados en el transporte de amoníaco por carretera están expuestos a una serie de fallas, por lo que se hace necesario que a la hora de inspeccionarlos se cuente con un adecuado sistema por donde se rija dicha inspección de modo que no permita que se obvie ningún elemento.
2. El sistema de inspección propuesto para la inspección de los recipientes empleados en el transporte de amoníaco, permite auxiliar al personal técnico que dirige, supervisa y realiza este tipo de actividad. Este sistema de inspección no pretende suplantar el trabajo de las normas y códigos que regulan estas tareas, sino complementarlo garantizando que se consideren todos los complejos factores que intervienen en la inspección para lograr una culminación exitosa y totalmente segura de dichos trabajos.

## **Recomendaciones**

1. Se recomienda a la empresa de servicios técnicos CENEX aplicar esta metodología de inspección para la determinación del estado técnico de los recipientes usados para el transporte de cisternas para amoniaco por carretera y estandarizar la aplicación a todos los especialistas de la entidad.
2. Se recomienda orientar a todas las entidades implicadas y poseedoras de estos medios de transporte que sometan sus equipos y cisternas a las inspecciones técnicas establecidas en las regulaciones obligatorias existentes en Cuba.

## Bibliografía

- ASME BPVCV, (2007). *Boiler and Pressure Vessel Code. & Section V, Nondestructive Examination*. American Society of Mechanical Engineers.
- ASME BPVCV, (2007). *Boiler and Pressure Vessel Code. & Section VIII. Rules for Construction of Pressure Vessels. Division 1*. American Society of Mechanical Engineers.
- Cuba. Gaceta Oficial de la República, (2014). *Reglamento para la explotación segura de los recipientes a presión. Resolución No. 44/2014*.
- Hurtado de Mendoza Martin, A. (2013). *Camión cisterna de Amoniaco*. (Tesis Trabajo de Grado). Universidad de España.
- NC 341: 2005, (2005). Seguridad y salud en el trabajo —Trabajos en espacios confinados — Requisitos generales de seguridad.
- NC 924: 2012, (2012). Recipientes a presión y sistemas de tuberías — Requisitos de instalación y ensayo de los dispositivos de alivio de la presión.
- Normativa ADR 2013, (2013). Para el transporte de mercancías peligrosas. *Boletín Oficial del Estado España, (63)*.
- Pérez Arboláez, A. (2011). *Sistema de inspección para el establecimiento del estado técnico de los recipientes horizontales de almacenamiento del amoniaco de 2,5 m3, sobre la base de API 510/NBIC* [Tesis de Diploma]. Universidad Central Marta Abreu de Las Villas.
- Perry, J. (1998). *Chemical Engineers Handbook*. Mc Graw Hill Edition.
- Ricaurte Granizo, M. G. (2004). API 510. Pressure Vessel Inspection Code: In & Service Inspection, Rating, Repair, and Alteration. American Petroleum Institute.
- Todt, F. (1959). *Corrosión y Protección*. Aguilar.
- Tomashov, N. D. (1971). *Theory of Corrosion and Protection of Metals*. Revolucionaria.
- Uhlig, H. H. (1963). *Corrosion Handbook*. John Wiley and Sons edition.
- Uhlig, H. H. (1966). *Corrosion and Corrosion Control*. Revolucionaria edition.
- Unión Nacional Eléctricos en Cuba. (UNE-EN). (2012). Equipos y accesorios para GLP. Tanques de acero & soldados para amoniaco. Diseño y fabricación de camiones cisterna.

**Anexo**

**Reporte de inspección de recipientes para transporte de amoniaco anhídrido por carretera.**

Entidad solicitante: \_\_\_\_\_

Entidad de inspección: \_\_\_\_\_

Número de chapilla del recipiente: \_\_\_\_\_

Conclusiones finales de inspección: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

El recipiente se encuentra:

Apto para su operación \_\_\_\_\_

No apto para su operación \_\_\_\_\_

Observaciones: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Inspector de Ensayos No Destructivos

\_\_\_\_\_

Jefe de grupo de control

\_\_\_\_\_

Director de operaciones