



**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA SEDE DE  
CONCEPCIÓN - REY BALDUINO DE BÉLGICA**

**PROCEDIMIENTO DE INSPECCION DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO EN  
LA INDUSTRIA PETROQUIMICA, SEGÚN API 653.**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO  
DE INGENIERO DE EJECUCIÓN MECÁNICA DE PROCESOS Y MANTENIMIENTO  
INDUSTRIAL.**

**ALUMNO: RODRIGO ANTONIO ILUFÍ PACHECO  
PROFESOR GUIA: Sr. VICTOR VALDEBENITO CARTES**

## **Sigla y simbología.**

### **SIGLA.**

**API:** American petroleum institute (Instituto americano del petróleo).

**ASME:** American society of mechanical engineers (Sociedad Americana de ingenieros mecánicos).

**ISO:** International organization for standardization (Organización internacional de la estandarización).

**END:** Ensayos no destructivos.

**LPG:** Gas licuado de petróleo.

### **SIMBOLOGIA.**

**cm:** Centímetro.

**mm:** Milímetro.

**m:** Metro.

**kg:** Kilogramo.

**hr:** Hora.

**min:** Minuto.

**s:** Segundos.

**N:** Newton.

**L:** Litro.

**\$:** Peso chileno (CLP)

## **RESUMEN.**

Este trabajo de título tiene como finalidad generar procedimientos de inspección a los tanques de almacenamiento de la industria petroquímica. Dichos tanques tienen diferentes tipos y clases para distintos uso y sustancias, generar los procedimientos de evaluación para poder mantener en óptimas condiciones estos tanques de almacenamiento y disponibles para el servicio es una necesidad en la industria, debido a que cumplen roles importantes dentro de ellas.

Los tanques de almacenamiento al trabajar con sustancias y fluidos, inflamables, reactivos, de difícil almacenaje, entre otras, sufren los efectos de la corrosión y otras averías provocadas por esta misma, por lo cual las reparaciones no siempre son efectivas debido a la poca información que se tiene de las averías como de los equipos, por lo que se estudia los mayores defectos, averías y fallas en los distintos equipos para poder entregar mayor información y generar procedimientos más precisos a la hora de reparar los equipos.

La industria petroquímica trabaja con los tanques diseñados y fabricados bajo la norma API, por lo tanto, cualquier tipo de procedimiento a realizarse al equipo debe estar estandarizado en la norma, todas las inspecciones y evaluaciones están bajo la normativa vigente y actualizada para dar cumplimiento a las exigencias de la industria.

## ÍNDICE

### ÍNDICE

Sigla y simbología.....	2
SIGLA.....	2
SIMBOLOGÍA.....	2
RESUMEN.....	3
CAPÍTULO I.....	9
INTRODUCCIÓN.....	9
1.Introducción.....	10
1.1  Objetivo general.....	11
1.2  Objetivos específicos.....	11
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>12</b>
<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>12</b>
<b>1.  Planteamiento del problema.....</b>	<b>13</b>
<b>2.  Justificación del problema.....</b>	<b>14</b>
<b>3.  Motivación.....</b>	<b>14</b>
CAPÍTULO II.....	15
MARCO TEÓRICO.....	15
2.  Tanques de almacenamiento.....	16
2.1.  Definición.....	16
2.1.1.Uso.....	16
2.1.2 Forma.....	16
2.2.  Clasificación de tanques de almacenamiento.....	17
2.2.1.Tanques de almacenamiento techo fijo.....	17
2.2.2.Tanques de almacenamiento con techo flotante.....	18
2.2.3.Tanques cilíndricos horizontales.....	20

2.2.4.Esferas .....	20
2.3. Tipo de tanque según producto almacenado.....	21
2.4. Normas de fabricación, diseño e inspección aplicables. ....	22
3. Causas de averías en los tanques de almacenamiento. ....	22
3.1. Corrosión en tanques de almacenamiento. ....	23
3.1.1.Tipos de corrosión en tanques de almacenamiento. ....	23
3.2. Daños en las estructuras y partes esenciales debido a la corrosión.....	25
3.2.1.Daños en el interior.....	25
3.2.2.Daños en el exterior.....	26
3.2.3.Daños concurrentes en el tanque. ....	27
4. Plan de inspección y mantenimiento de estanque de almacenamiento. ....	29
4.1. Mantenimiento.....	29
4.2. Objetivos del mantenimiento.....	30
4.3. Tipos de mantenimiento. ....	31
4.4. Mantenimiento correctivo.....	31
4.5. Mantenimiento preventivo.....	32
4.6. Mantenimiento predictivo.....	33
4.7. Objetivos de la inspección.....	34
4.8. Definición del plan de inspección. ....	34
4.9. Consideraciones para la frecuencia de inspección. ....	34
4.10. Tipos de inspección para un tanque de almacenamiento según API 653.....	35
4.10.1. Inspección interna. ....	35
4.10.2. Inspección externa. ....	35
4.11. Responsables. ....	36
4.11.1. Departamento de mantenimiento. ....	36
4.11.2. Inspectores calificados. ....	36
CAPÍTULO IV .....	37

DISEÑO DE SOLUCIÓN.....	37
5. Plan de inspección.....	38
5.1. Propósito.....	38
5.2. Alcance.....	38
5.3. Objetivo.....	38
5.4. Disponibilidad de servicio de tanques de almacenamiento según API 653.....	39
5.5. Procedimiento de inspección.....	39
5.5.1.Prácticas de trabajo seguro.....	39
5.5.2.Inspección de techo del tanque.....	40
5.5.2.1. Techo fijo.....	40
5.5.2.2. Techo flotante.....	40
5.5.3.Inspección del cuerpo del tanque.....	40
5.5.3.1. Determinación del espesor actual.....	41
5.5.3.2. Distorsiones.....	42
5.5.3.3. Imperfectos.....	42
5.5.3.4. Soldaduras de cuerpo.....	42
5.5.3.5. Penetraciones del cuerpo.....	42
5.5.4.Inspección del fondo del tanque.....	43
5.5.4.1. Causas de las fallas de fondo.....	43
5.5.4.2. Detección de fuga en el fondo.....	44
5.5.4.3. Medidas de espesor de piso del fondo.....	44
5.5.5.Inspección de la fundación del tanque.....	44
5.5.5.1. Pernos de anclaje.....	45
5.5.6.Ensayos no destructivos.....	45
5.5.7.Registros.....	47
5.5.7.1. Redacción de informe final.....	47
CAPÍTULO V.....	48

ANÁLISIS ECONÓMICO.....	48
6. Costos de inspección. ....	49
6.1. Inversión insumos.....	50
6.2. Inversión equipos.....	50
7. Costos directos.....	51
8. Ingresos proyectados. ....	51
9. Utilidades.....	51
10. Análisis de costos. ....	52
CAPÍTULO VI.....	53
CONCLUSIÓN.....	53
11. CONCLUSIÓN. ....	54
BIBLIOGRAFÍA.....	55
Glosario. ....	56

## ÍNDICE DE FIGURAS.

Fig. 1 Clasificación de tanques según su forma. ....	16
Fig. 2 Tanques techo fijo tipo cónico. ....	17
Fig. 3 Tanque techo fijo curvo. ....	17
Fig. 4 Tanque con techos flotantes. ....	18
Fig. 5 Tanque techo flotante tipo pontón.....	18
Fig. 6 Techo flotante tipo doble cubierta.....	19
Fig. 7 Techo flotante con techo fijo.....	19
Fig. 8 Tanques cilíndricos horizontales.....	20
Fig. 9 Tanque esférico.....	21
Fig. 10 Clasificación de tanque según producto.....	21
Fig. 11 Pared tanque de almacenamiento con perforaciones pasantes.....	23
Fig. 12 Tanque afectado por corrosión uniforme.....	24
Fig. 13 Tanque afectado por corrosión por picaduras.	
Fig. 14 Accesorios corroídos por la erosión.....	24

Fig. 15	Accesorio corroído por esfuerzo.	
Fig. 16	Accesorio con corrosión galvánica. ....	24
Fig. 17	Corrosión fondo del tanque. ....	25
Fig. 18	Corrosión pared de tanque. ....	26
Fig. 19	Corrosión techo interno flotante. ....	26
Fig. 20	Daño por corrosión en el exterior de un tanque. ....	27
Fig. 21	Unión soldada corroída. ....	27
Fig. 22	Corrosión localizada en fondo del tanque. ....	27
Fig. 23	Disminución de espesor en pared. ....	28
Fig. 24	Perforaciones pasantes. ....	28
Fig. 25	Acciones del mantenimiento. ....	29
Fig. 26	Objetivos del mantenimiento. ....	30
Fig. 27	Mantenimiento preventivo. ....	32
Fig. 28	Determinación espesor actual. ....	41
Fig. 29	Inspección de fondo. ....	43
Fig. 30	Aplicación líquido penetrante. ....	45
Fig. 31	Partículas magnéticas. ....	46
Fig. 32	Aplicación equipo de fuga por flujo magnético. ....	46
Fig. 33	Registro de inspecciones. ....	47
Fig. 34	Inversión insumos. ....	50
Fig. 35	Inversión equipos. ....	50
Fig. 36	Costos generales aproximados. ....	51
Fig. 37	Ingresos proyectados semestrales. ....	51
Fig. 38	Utilidades semestral. ....	51

**CAPÍTULO I**  
**INTRODUCCIÓN**

## **1.Introducción.**

Los estanques de almacenamiento son utilizados en casi todas las industrias a nivel mundial, como ya sabemos en la industria petroquímica es fundamental conservar y preservar los productos de la mejor forma posible y es ahí donde los tanques de almacenamiento tienen un rol clave para el proceso de obtención y manejo de estos productos.

Al utilizar los tanques de almacenamiento tenemos en cuenta que existen una variedad de tipos de estos equipos donde cada una de sus características entrega una solución al almacenamiento de los productos de distinta naturaleza, los cuales en la industria petroquímica son altamente reactivos, inflamables o tóxicos al ambiente y para la vida humana, con estas características se busca mejorar la manipulación y control de estas sustancias.

Todos estos equipos suelen estar en constante combate a los defectos por la corrosión, la cual ataca de distinta manera, en distintas áreas, y al no tener información suficiente de estas nos produce pérdidas de disponibilidad de estos equipos.

Al existir diferentes tipos y clases de tanques de almacenamiento los cuales están regulados bajo la norma API 650 que cubre su fabricación y diseño en la industria petroquímica, podemos entregar soluciones a las diferentes fallas que puedan producirse en los equipos deben estar bajo la normativa API.

La norma API 653 cubre todo lo que es inspección, evaluación, y reparación de estos tanques de almacenamiento, para generar reparaciones más eficaces en la industria se debe obtener la mayor información posible al problema, donde esta norma nos indica donde son las áreas que mayormente se pueden ver afectadas a dichas fallas, y cuál es el procedimiento estándar para inspeccionar y evaluar la disponibilidad de servicio de los equipos.

Mantener los estanques de almacenamiento disponibles por el mayor tiempo posible y de la mejor forma es una necesidad dentro de la industria petroquímica, con los procedimientos de inspección y evaluación adecuados y actualizados bajo la norma API 653, aseguramos aportar la mayor información posible sobre el equipo inspeccionado entregando todas las herramientas para poder generar procedimientos de reparación específicos y eficaces para que cumplan su servicio óptimo y de calidad los tanques de almacenamiento.

## **1.1 Objetivo general.**

Elaborar un procedimiento de inspección de tanques de almacenamientos, que cumpla con las condiciones y disposiciones de la norma API 653, y sea aplicable de manera eficiente en la industria petroquímica.

## **1.2 Objetivos específicos.**

- Evaluar condiciones a las que esté expuesto el tanque, como sus parámetros durante su tiempo operativo.
- Proporcionar procedimientos actualizados bajo la normativa vigente, en la que trabaja la empresa.
- Planificar acciones a ejecutar para las inspecciones mecánicas de las zonas afectadas por los distintos tipos de fallas, corrosión, fisuras, defectos en la soldadura.

**CAPÍTULO III**  
**PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.**

## **1. Planteamiento del problema.**

En la empresa química de OXY Chile, se trabaja con productos de difícil manejo y contención, por lo cual el uso de tanques de almacenamiento se hace indispensable y necesario en la industria mantener estos equipos en óptimas condiciones asegurando la calidad y seguridad del producto.

Estos equipos del almacenamiento se clasifican de distinta manera según sus tipos y usos, OXY Chile utiliza de manera regular y dependiente estos tanques de almacenamiento para poder almacenar sus distintos tipos de productos, con los cuales deben mantener la calidad de los productos guardados para poder manipularlos y hacer uso de ellos para sus distintos fines.

Los tanques de almacenamiento deben estar siempre operativos en la industria petroquímica debido a su uso, en los casos que el tanque de almacenamiento presenta defectos se generan planes de reparación para ellos, los cuales generan problemas por las normas asociadas a la reparación de estos, por lo cual sus reparos no son del todo efectivos y al tiempo vuelven a fallar, y no generan una confiabilidad en el equipo. Como problema mayor la disponibilidad de estos, el desconocimiento de las fallas y la poca prevención de estas fallas asociadas a los tanques de almacenamiento, se plantea en esta tesis un procedimiento de inspección que aporte las soluciones a esta problemática de trabajo, generando un mayor conocimiento sobre las fallas de los equipos para poder actuar de manera eficaz en los procedimientos de reparación de los tanques de almacenamiento.

## **2. Justificación del problema**

La industria petroquímica utiliza los tanques de almacenamiento para casi todos sus procesos por lo que es necesario mantener óptimos sus equipos, para aumentar su disponibilidad y confiabilidad de los estanques debemos obtener la mayor información posible de los tanques de almacenamiento para poder generar planes de reparación precisos para estos asociados a la norma API con la cual trabaja la empresa y los tanques.

Proporcionar la información del comportamiento de estos equipos es cada vez más necesario para verificar su estado y actuar de manera óptima al presentarse alguna falla o defecto en el equipo o asociado al equipo, debemos mantener la calidad del producto y del equipo, obteniendo así una mayor confiabilidad.

Un procedimiento de inspección bajo la norma API 653, aporta información del estado actual del equipo, definiendo zonas de inspección, mostrando fallas o defectos presentes o que pueden aparecer en el equipo, como también define según la naturaleza del producto cuando realizar las inspecciones, con esta información podemos generar procedimientos de reparación más específicos para los tanques de almacenamiento, por lo que aumenta la disponibilidad y confiabilidad de estos equipos.

## **3. Motivación.**

Como principal motivación para la aplicación de un procedimiento de inspección es aumentar la disponibilidad y confiabilidad del servicio de almacenamiento que lo ejecutan los tanques, aportando conocimiento e información de los equipos en base a la norma API 653, que cubre todo lo que inspección de los equipos, con esto se puede efectuar procedimientos de reparación más efectivos en el equipo, reduciendo detenciones inesperadas como también los costos de estas reparaciones.

Mantener la seguridad de los tanques de almacenamiento disponibles y óptimos conforme a los requerimientos exigidos para garantizar la operatividad y seguridad de los productos depositados en los estanques, priorizando que el producto se mantenga en buen estado y conserve su calidad, evitando fugas o derrames o que se genere corrosión contaminante en el equipo.

**CAPÍTULO II**  
**MARCO TEORICO**

## 2. Tanques de almacenamiento.

### 2.1. Definición.

Un estanque de almacenamiento es un depósito utilizado para almacenar diferentes tipos de sustancias. Hay varios tipos de estanques, que son utilizados en las industrias o en procesos. La mayor parte de estos son utilizados para almacenar sustancias o fluidos de distinta naturaleza, este tipo de recipientes suelen llamarse tanques. Estos tanques de almacenamiento se pueden clasificar según su uso y su forma.

#### 2.1.1. Uso.

Estos tanques los podemos agrupar en tanques de almacenamiento y de procesos, los de almacenamiento solo sirven para guardar fluidos a presión y de acuerdo con sus servicios sus nombres varían.

#### 2.1.2 Forma.

Los estanques pueden dividirse en cilíndricos o esféricos. Los estanques cilíndricos suelen ser horizontales o verticales, son utilizados para almacenar a poca o alta presión y de vez en cuando poseen mecanismos que aportan o reducen temperatura del fluido interno en él.

Los esféricos generalmente los usan para almacenar fluidos de grandes volúmenes a alta presión. Debido a que su forma esférica facilita el manejo de las sustancias a altas presiones, es una de las formas más económica para almacenar, pero debido a su construcción sus costos son elevados.

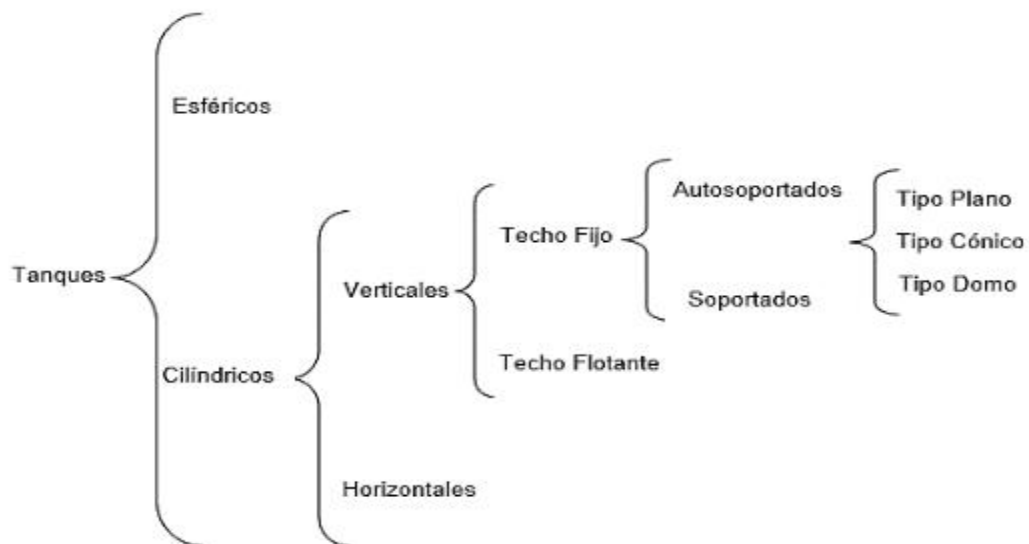


Fig. 1 Clasificación de tanques según su forma.

## 2.2. Clasificación de tanques de almacenamiento.

### 2.2.1. Tanques de almacenamiento techo fijo

Los tanques de techo fijo tienen un bajo costo de construcción además de que cumplen los requisitos mínimos para almacenar fluidos o sustancias de distinta naturaleza según norma, su techo no se mueve, tienen una superficie superior sólida que va unida directamente con la carcasa, dependiendo del uso, fecha de fabricación y diseño, pueden ser herméticos o no herméticos al vapor o a otro líquido, estos se clasifican según el tipo de techo:

- **Cónico**: estos estanques poseen la forma de su techo de un cono recto y estos operan a presión atmosférica aproximadamente, este tipo de tanque techo fijo son los más utilizados en las empresas.



*Fig. 2 Tanques techo fijo tipo cónico.*

- **Curvo**: Estos estanques tienen un techo de forma similar a una esfera y están apoyados por el manto del estanque generalmente.



*Fig. 3 Tanque techo fijo curvo.*

### 2.2.2. Tanques de almacenamiento con techo flotante.

Este tipo de tanque es utilizado para almacenar fluidos o sustancias que requieran una presión constante generalmente, como lo son los hidrocarburos volátiles. Este tipo de techo fue desarrollado para disminuir o anular la cámara de aire, entre el fluido y el techo, además de adicionar un sello aislante para el líquido y reducir la transferencia de calor del ambiente, evitando formación de gases, que pueda ser perjudicial para el equipo o medio ambiente, debido al riesgo de inflamación de estas sustancias.



Fig. 4 Tanque con techos flotantes.

- **Techo flotante de pontón:** Nombrados habitualmente como techo de cubierta individual, están compuestos por varias cámaras cerradas por mamparas radiales, por lo que aumenta su estabilidad en su techo, la proporción de cada pontón por el área de la cubierta total es determinado por el tamaño del tanque y el líquido almacenado. Este tipo de tanque tiene como déficit la falta de seguridad contra la evaporación, es uno de los más económicos y de fácil instalación.

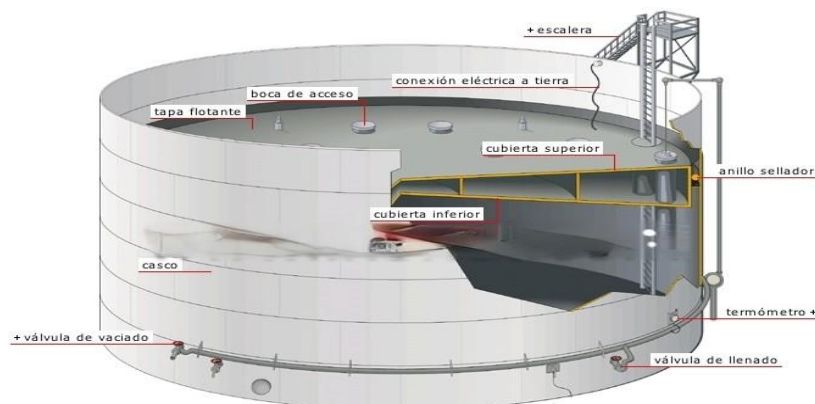
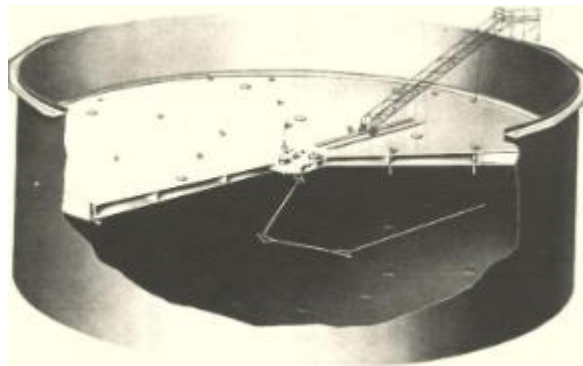


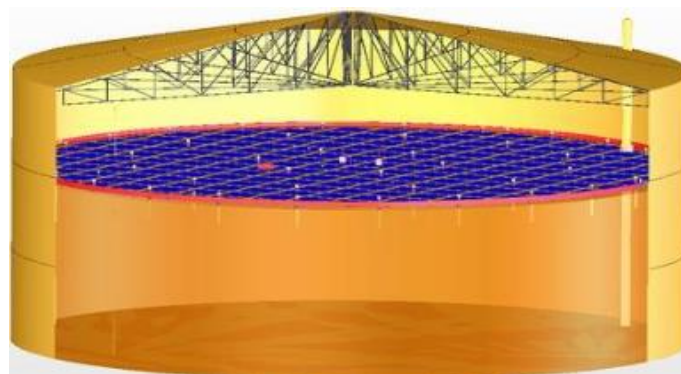
Fig. 5 Tanque techo flotante tipo pontón.

- **Techo flotante doble cubierta:** Este tipo de tanque compuesto por dos cubiertas de placas de acero separadas por toda la superficie del tanque. De esta manera el fluido no tiene contacto con el lado inferior del techo que está expuesto al clima, aumentando la seguridad contra la evaporación o inflamación de gases. La cubierta superior esta inclinada hacia abajo para el drenaje de agua de lluvia, el espacio entre cubiertas se llama bahía flexible, poseen varias secciones separadas por las mamparas radiales, esta bahía flexible puede subir o bajar según el nivel de agua de lluvia para facilitar su drenaje. Su fabricación e instalación asume mayores costos, dado que el techo debe mantenerse flotando, su volumen es relativamente alto, por lo que en los soportes y las uniones de las mamparas pueden provocar grietas o fatigas en el techo, hundimiento o alargamiento del techo suelen ser sus consecuencias.



*Fig. 6 Techo flotante tipo doble cubierta.*

- **Techo flotante con cubierta:** Es conocido como tanque de techo flotante interno, tiene un techo fijo externo, sobre el techo flotante interno del tanque, este tipo de recipiente ofrece protección contra lluvias intensas, nieve y también heladas extremas, lo que reduce el mantenimiento en estos estanques y sus costos de reparación, hay riesgos de corrosión por la zona ventilada que tiene entre el techo flotante y el fijo.



*Fig. 7 Techo flotante con techo fijo.*

### 2.2.3. Tanques cilíndricos horizontales.

Al licuar algún tipo de gas como puede ser el gas licuado de petróleo o cloro gas, se requieren tanques que puedan mantener la presión y el frío, para el control y manipulación de estos gases, estos tanques de igual forma están diseñados de acuerdo con las normas API y ASME en la sección VII.

Los estanques cilíndricos horizontales se utilizan hasta un determinado volumen, volúmenes mayores es usado el tanque tipo esfera, estos estanques se utilizan para volúmenes bajos debido a que sufren fallas por flexión y corte, los beneficios de este tanque es que cuando se dan de baja de servicio, se puede generar una inspección visual total de ellos.



*Fig. 8 Tanques cilíndricos horizontales.*

### 2.2.4. Esferas

Los tanques esféricos son utilizados para almacenar gases y líquidos bajo una presión calculada por la norma ASME, al tener una forma esférica ofrece una distribución uniforme de la tensión interna, un almacenamiento presurizado de mucha eficiencia, sus costos son bajos en tanto a las fundiciones, accesorios, revestimientos y tuberías para mayor conexión.

Las esferas pueden almacenar muchos fluidos, sustancias o gases como el amoníaco anhidro, gas licuado de petróleo, gas licuado natural, gasolina, nafta, butadieno, etileno, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, argón, biogás y aguas residuales.



*Fig. 9 Tanque esférico*

### 2.3. Tipo de tanque según producto almacenado.

En la siguiente tabla, se observa los tipos de tanque de almacenamiento sugeridos para los fluidos, sustancias o productos a almacenar.

<b>Producto almacenado</b>	<b>Tipo de tanque de almacenamiento</b>
Gasolina, petróleo crudo, productos livianos y volátiles.	Estanque techo flotante.
Gasolina de aviación, crudo liviano.	Estanque techo fijo con techo flotante interno.
Agua, diésel, asfalto petróleo crudo, productos no volátiles y pesados, a temperaturas ambiente.	Estanque techo fijo cónico
Agua no potable, agua para línea de emergencias.	Estanque sin techo
GLP, gas licuado natural, oxígeno, hidrógeno, etc. (bajo volúmenes)	Recipiente cilíndrico horizontal
GLP, gas licuado natural, oxígeno, hidrógeno, etc. (altos volúmenes)	Esfera

*Fig. 10 Clasificación de tanque según producto.*

## 2.4. Normas de fabricación, diseño e inspección aplicables.

- **API 650: (Welded Steel tanks for oil storage)** Es la norma que fija la construcción y diseño de tanques soldados para almacenamientos. La presión interna a la que pueda llegar a estar sometidos es de 15psig. Y una temperatura máxima de 90° C. Con estas características son aptos para almacenar la mayoría de los productos en la industria petroquímica.

Para productos que requieran una mayor presión como en el caso de los gases licuados, existen otras normas que rigen su construcción y pueden ser complementarias.

- **API 653: (Tank inspection, repair, alteration and reconstruction)** Esta norma cubre los tanques de almacenamiento de aceros construidos bajo la norma API 650 y API12C su predecesor. Proporciona requisitos mínimos para el mantenimiento íntegro de los tanques, direcciones de inspección, reparación, modificación, traslado y reconstrucción

Esta norma emplea los principios de la API 650, son en muchos casos complementaria, pero ante cualquier conflicto entre norma prevalecerá la API 653, debido a que trabaja de forma autónoma.

- **API 620:(Design and construction of large, welded, low-pressure storage tanks)** el estándar API 620 cubre el diseño y construcción de los tanques verticales de baja presión, soldados y de acero al carbono.
- **\*API 510:( Pressure vessel inspection code)** Este código establece las condiciones y requerimientos aplicables a la inspección y el mantenimiento de recipientes a presión construidos de acuerdo con la Sección VIII del Código ASME, API 575, 653, entre otras normas reconocidas, una vez que han sido puestos en servicio. Alcanza a las tareas de Inspección de mantenimiento, reclasificación, reparación y alteraciones de recipientes a presión utilizados en la industria del petróleo, de procesos y química.
- **API 575: (Inspection of atmospheric and low-pressure storage tanks)** Esta norma cubre la inspección de los tanques de almacenamiento atmosféricos y de baja presión que han estado en servicio. Esta práctica recomendada describe los diferentes tipos de tanques de almacenamiento y los estándares para su construcción y mantenimiento, a su vez está destinada para complementar la norma estándar API 653.
- **ASME VIII:(Boiler and pressure vessel code) división I y división II,** comprenden las áreas de construcción de recipientes a presión como también el estudio y análisis de equipos sometidos a presión, al usar este tipo de normas las empresas garantizan confiabilidad, calidad y seguridad en sus equipos de servicio

## 3. Causas de averías en los tanques de almacenamiento.

A nivel mundial en las industrias se genera una importante pérdida de utilidades, debido a problemas asociados a los tanques de almacenamiento, fugas, corrosión, fallas mecánicas, etc. Esto implica costos asociados a las reparaciones de estos equipos, como también produce paros en las líneas de producción.

Ahora la tecnología dispone de equipos y mejoras en la revisión e inspección de los tanques, existe una variedad de ensayos para poder tener un control más exhaustivo y confiable en los equipos de almacenamiento, que son una pieza clave en los procesos de la industria.

Estos tanques de almacenamiento sufren mayormente la corrosión por los productos que se almacenan, debido a que son altamente reactivos al medio ambiente, por ejemplo, el cloro gas licuado, es un gas relativamente más pesado que el agua y altamente reactivo, al tener contacto con el oxígeno produce corrosión en el tanque como en sus accesorios, cañerías, etc.



*Fig. 11 Pared tanque de almacenamiento con perforaciones pasantes.*

### **3.1. Corrosión en tanques de almacenamiento.**

Se le puede definir como el deterioro de un material producido por el ataque químico de su ambiente, ya que la corrosión es una reacción química, la velocidad de esta reacción tiene relación directa a la temperatura, a la concentración de reactivos y los productos. Otros factores como el esfuerzo mecánico y la erosión también pueden influir en la corrosión.

La corrosión es sin duda la mayor causante de problemas en los tanques de almacenamiento, debido que su nivel de afectación abarca todas las partes constitutivas de los recipientes.

#### **3.1.1. Tipos de corrosión en tanques de almacenamiento.**

Existen diferentes formas de corrosión, es así como dependiendo del aspecto del metal corroído se puede clasificar en corrosión uniforme o corrosión localizada.

- **Corrosión uniforme:** Es un tipo de corrosión que afecta de forma general sobre toda la superficie del metal en contacto con el ambiente corrosivo, se caracteriza por una reacción electroquímica y representa el grado más alto de destrucción del material.



*Fig. 12 Tanque afectado por corrosión uniforme.*

- **Corrosión localizada:** Esta forma de corrosión es aquella donde se aprecia un deterioro superior del metal solamente en ciertas zonas, en los tanques de almacenamiento se pueden observar en el fondo del tanque o en su pared, pero mayormente en los techos de los tanques de almacenamiento. En este tipo de corrosión se encuentra la corrosión por picaduras, galvánicas, agrietamiento, por esfuerzo y la erosión, ya que estas también se clasifican por corrosión localizada.



*Fig. 13 Tanque afectado por corrosión por picaduras.*



*Fig. 14 Accesorios corroídos por la erosión.*



*Fig. 15 Accesorio corroído por esfuerzo.*



*Fig. 16 Accesorio con corrosión galvánica.*

### 3.2. Daños en las estructuras y partes esenciales debido a la corrosión

La corrosión más crítica se ubica en los componentes principales del tanque de almacenamiento, como son el techo, su estructura de soporte, el cuerpo o pared y el fondo del tanque.

Esta corrosión se produce internamente por la condensación de los gases que reaccionan con el oxígeno que ingresa al tanque, mientras que en la parte exterior es causado por el ambiente al cual se encuentre el tanque y que debe soportar día a día, como son las lluvias, bajas y altas temperaturas, nieve extrema, entre otras.

Debido a esto el material tiende a perder sus propiedades, dañando gravemente la confiabilidad de los equipos, por lo que es necesario conocer estas causas, e implementar la inspección de estos daños.

#### 3.2.1. Daños en el interior.

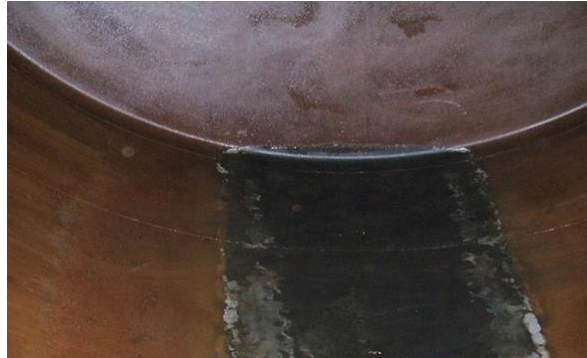
Es originada por los niveles altos de reactivos que poseen los productos almacenados en estos tanques de almacenamiento, además del movimiento de los fluidos internos, que generan roces en la estructura interna del tanque.

- **Fondo del tanque:** En este caso se producen daños en su fondo debido a la formación de lodos, debido al agua existente en el terreno o de los sedimentos que se acumulen sobre este.



*Fig. 17 Corrosión fondo del tanque.*

- **Cuerpo del tanque:** en el cuerpo del tanque, la corrosión afecta de forma general en los anillos inferiores por los niveles de los fluidos.



*Fig. 18 Corrosión pared de tanque.*

- **Techo del tanque:** La corrosión en el techo se genera en el espacio entre el techo y la superficie del producto, se origina por el mecanismo de condensación del agua, en esta misma afectan los agentes reactivos del producto.



*Fig. 19 Corrosión techo interno flotante.*

### **3.2.2. Daños en el exterior.**

Todos los componentes externos estarán expuestos a la corrosión, este daño por corrosión se presenta por los sólidos y todo tipo de partículas que el viento lleva hacia el tanque, como también a la acción de los diferentes agentes como el óxido de nitrógeno o dióxido de carbono, que son gases presentes en el ambiente.

Este daño se asocia al tipo de corrosión uniforme, afecta mayormente al cuerpo del tanque, además de los accesorios de este. La parte externa del fondo se verá afectada por el tipo de suelo, la humedad que penetra entre la cimentación o la presencia de cuerpos extraños como piedras y otros.



*Fig. 20 Daño por corrosión en el exterior de un tanque.*

### 3.2.3. Daños concurrentes en el tanque.

- **Defectos en uniones soldadas**: se generan por la corrosión que afecta a las líneas de soldadura, con el tiempo producen desgaste, ocasionando fugas del producto almacenado.



*Fig. 21 Unión soldada corroída.*

- **Disminución de espesor de fondo del tanque**: es producida por la humedad y la formación de sedimentos lo que provoca corrosión por picadura, en algunos casos puede ser muy dañino para el equipo.



*Fig. 22 Corrosión localizada en fondo del tanque.*

- **Perdida en el espesor de pared en el tanque:** ocurre por la presencia de corrosión en un determinado rango de tiempo, tanto en la parte interior como exterior de las paredes del cuerpo. En la parte inferior puede causar graves daños debido a la acumulación de sedimentos exterior fondo – cuerpo, reaccionando con el elemento interno o agua no drenada. En la parte superior ocurre en mayor proporción por los gases que emanan algunos fluidos o sustancias y la condensación del agua.



*Fig. 23 Disminución de espesor en pared.*

- **Perforaciones pasantes:** Las áreas afectadas con la corrosión con el tiempo el desgaste del material se irá perforando, atravesando todo el espesor de la plancha del tanque, lo que lleva a una fuga de producto y muchas otras fallas graves en el equipo, los puntos críticos son los apoyos de los accesorios del tanque, boquillas y todo acceso al tanque de almacenamiento.



*Fig. 24 Perforaciones pasantes.*

#### 4. Plan de inspección y mantenimiento de estanque de almacenamiento.

##### 4.1. Mantenimiento.

Como definición del mantenimiento, son todas las acciones que se realizan con la finalidad de que los equipos, máquinas, componentes e instalaciones involucradas dentro del proceso industrial estén en las condiciones requeridas de funcionamiento para el cual fue diseñado, instalado y puesto en servicio.

El mantenimiento es un proceso de gestión integral que debe comenzar cuando el equipo esta nuevo, es decir, desde el inicio del ciclo de vida de los equipos, como ingeniería es la especialidad la gestión del mantenimiento y abarca un campo amplio de aplicaciones.

Las funciones del mantenimiento abarcan muchas actividades, trabajos, gestiones, para controlar y mantener los equipos en buen estado y su rendimiento, las inspecciones, periódicas o programadas, reparos inusuales o paros programados de empresa, también se encuentra dentro de la función del mantenimiento, otras de estas son de forma secundaria como son verificar y controlar el inventario de equipos, el stock de repuestos críticos, hasta el asesoramiento de compras.

Las acciones que cumple el mantenimiento dentro de la industria deben tener como objetivo mantener, reparar o reemplazar todo equipo, proceso, o sistema, pueden tener diferentes formas o métodos de accionar, incluyendo desde actividades técnicas hasta decisiones administrativas correspondientes. Esta serie de acciones exigen capacidades estrictas para asegurar su confiabilidad, rige en la experiencia, habilidad y trabajo en equipo, con cada una de estas los indicadores de nuestra industria seguramente alcancen sus metas.

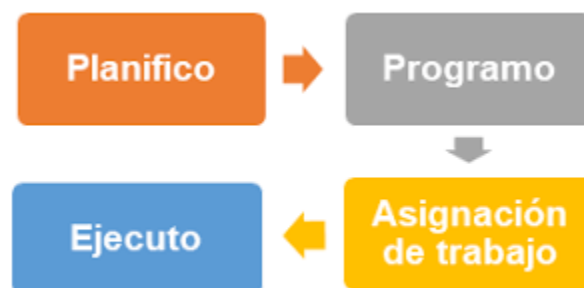


Fig. 25 Acciones del mantenimiento

## 4.2. Objetivos del mantenimiento.

La directriz que existe en cuanto a los objetivos del mantenimiento que en muchas empresas últimamente radica, uno es lograr una mayor capacidad de producción logrando el mínimo costo posible, obteniendo siempre un pensamiento de querer generar la mayor ganancia y de manera constante, aumentar la productividad, reducir gastos conlleva a una serie de técnicas para lograr esos resultados, con ayuda de los siguientes objetivos del mantenimiento los indicadores en nuestra industria producirán mejores efectos en ella.

- Aumentar y mantener la disponibilidad de los equipos el mayor tiempo posible o un valor determinado.
- Aumentar y mejorar la confiabilidad de los equipos en la industria.
- Asegura una larga vida útil al equipo, desde su instalación, y puesta en servicio.
- Inspeccionar, reparar, gestionar, planificar, ejecutar, todas estas acciones son parte fundamental del mantenimiento.
- Cumplir todos estos objetivos ajustándose a presupuestos, mejorando el rendimiento de la industria y un mantenimiento óptimo.



*Fig. 26 Objetivos del mantenimiento.*

### 4.3. Tipos de mantenimiento.

El mantenimiento se puede dividir en 3 tipos, en el cual cada uno de los distintos grupos evalúa de manera distinta los indicadores e intenta llegar a dar la solución adecuada a la situación, cada uno de estos tipos actúa de manera distinta, pero similar en los procesos y planificaciones, varían estudios, análisis, inspecciones, y otros métodos, los 3 tipos generales del mantenimiento son:

- **Mantenimiento correctivo.**
- **Mantenimiento preventivo.**
- **Mantenimiento predictivo.**

### 4.4. Mantenimiento correctivo.

Este tipo de mantenimiento se aplica cuando el equipo o máquina deja de operar, debido a que presenta una falla, avería de manera repentina, y tiene como objetivo principal poner en marcha el equipo lo antes posible, afectando lo menos posible a la productividad. Generalmente se repara o se reemplaza el equipo en cuestión en el menor tiempo posible.

El mantenimiento correctivo es utilizado mayormente en empresas que no poseen conocimientos, herramientas, personal calificado, presupuestos asignados y tecnologías modernas para usar otro tipo de mantenimientos. Este mantenimiento correctivo es costoso, y se activa por el error del equipo en la línea de producción no se alcanza a diagnosticar en el tiempo, requiere una mayor precisión para determinar la falla y su solución, y al no poder cumplir este objetivo se genera una orden de trabajo el cual aumentaría los costos por no encontrar el problema y mantener el equipo con fallas en la línea de trabajo.

Este mantenimiento correctivo posee dos tipos de ejecución habitualmente.

- **Mantenimiento correctivo no programado:** Este mantenimiento inicia cuando falla un equipo o máquina sin previo aviso, produciendo una parada, por lo que se debe reparar o reemplazar el equipo en el menor tiempo posible, es un mantenimiento que requiere personal calificado, y un buen manejo de stock de repuestos, es un tipo de mantenimiento correctivo costoso.
- **Mantenimiento correctivo programado:** El correctivo programado se realiza cuando se detecta que un componente de un sistema, esta próximo o posible a fallar, se genera un programa para reparar la falla puntual detectada, de igual manera se requiere personal calificado y las herramientas adecuadas para mejorar el tiempo de reparo o reemplazo del equipo.

#### 4.5. Mantenimiento preventivo.

Este tipo de mantenimiento se basa en actividades o acciones programadas para ejecutarse en periodos ya definidos, este programa tiene como fin asegurar los equipos, sistemas y procesos dentro de la industria, que puedan cumplir sus funciones con la mayor eficiencia y seguridad. Los métodos para prevenir estas fallas inesperadas hacen referencia a distintas acciones, como cambios, reemplazos, inspecciones, reparaciones, evaluaciones y estudio de todas las averías comunes en los equipos de la compañía.

Los objetivos más importantes en este mantenimiento son:

- **Disponibilidad:** se define como la probabilidad de que un equipo esté disponible para trabajar cada vez que se le requiera.
- **Confiability:** es la probabilidad de que la maquina este trabajando y no presente fallas mientras está en servicio o cuando se le requiera.

Las principales acciones que cubre este tipo de mantenimiento son:

- **Cobertura:** Revisar el total de equipos o sistemas críticos, para detallar el programa de mantenimiento preventivo.
- **Ejecución:** revisar el total de trabajos programados durante la jornada de trabajo, y que ya han sido ejecutados.
- **Trabajos repetitivos:** es el número de acciones ejecutadas desde el momento en el que fueron solicitados, que provienen de los programas de mantenimiento preventivo realizados.



Fig. 27 Mantenimiento preventivo.

#### **4.6. Mantenimiento predictivo.**

Una de las definiciones del mantenimiento predictivo, es que en este tipo de mantenimiento se asocia los parámetros físicos con el desgaste o estado de la máquina. Este tipo de mantenimiento tiene en cuenta los valores de las mediciones, se le genera seguimiento a los equipos y a su vez se monitorea regularmente los parámetros de estos, desde la instalación y cada vez que está en servicio, asocia habitualmente las fallas más comunes y regulares, buscando síntomas por los cuales el equipo puede fallar, cuál es su causa, y cómo repararlo antes de que ocurran. El mantenimiento predictivo, gestiona avisos de posibles fallas y modos de actuar según todas las variables monitoreadas.

Este mantenimiento en especial tiene una técnica de predecir fallas en los equipos, o de los componentes de este, con este método, se aprovecha el tiempo para monitorear los inventarios de repuestos, se pueden generar planes de mantenimientos más efectivos, reduciendo los tiempos muertos de equipos por falta de información, alargando la vida útil de los componentes y equipos de la industria.

El mantenimiento predictivo posee una serie de pruebas para evaluar los comportamientos de los equipos y poseer más información de los equipos utilizados, generar seguimientos de operación de estos, para predecir y captar síntomas de fallas, averías o roturas de componentes o equipos. Aplicando estas evaluaciones nombradas técnicas predictivas, tiene como ventaja que el equipo al momento de reparar no necesita grandes desmontajes o tiempos de reparo excesivo, y en muchos casos ni siquiera la línea de producción es detenida.

Las técnicas predictivas para estudio y análisis generalmente son:

- Análisis de vibraciones.
- Radiografía / Termografía.
- Inspecciones visuales.
- Análisis de aceites.
- Ultrasonido.
- Análisis de combustión.
- Control de espesores.
- Análisis rayos UV.

#### **4.7. Objetivos de la inspección.**

El objetivo principal del plan de inspección es fijar pautas y puntos clave para determinar y controlar un equipo en específico, en este caso, nos basaremos según la norma API 653, el propósito de esta inspección es asegurar la disponibilidad, confiabilidad y calidad del tanque.

#### **4.8. Definición del plan de inspección.**

Este plan de inspección para tanques de almacenamiento para la industria petroquímica corresponde a desarrollar, desde el momento en el que se entrega el equipo por la empresa mandante. Define las acciones para realizar la inspección y abarca desde la limpieza como la entrega de documentación.

El plan de inspección se hará por un inspector calificado.

#### **4.9. Consideraciones para la frecuencia de inspección.**

Los factores determinantes para fijar la frecuencia de las inspecciones de los tanques de almacenamiento según la norma API 653, son los siguientes:

- Naturaleza del producto.
- Resultados de los chequeos visuales de mantenimiento.
- Tolerancias de corrosión.
- Condiciones en inspecciones previas.
- Métodos y materiales de construcción y/o reparación.
- Ubicación y localización geográfica del equipo.
- Riesgo potencial de contaminación de aire o agua.
- Sistema de detección de fuga.
- Cambios en el modo de operación.
- Cambios en el servicio.
- La existencia de doble fondo o de una barrera de prevención.

## **4.10. Tipos de inspección para un tanque de almacenamiento según API 653.**

### **4.10.1. Inspección interna.**

Este tipo de inspección se necesita para:

- Asegurar el fondo, revisión de espesores de corrosión interno.
- Identificar y evaluar el asentamiento de fondo.
- Revisión y recolección de datos de información sobre espesores del cuerpo y fondo.

Esta inspección interna tiene el propósito de estimar la condición e integridad del fondo del tanque, esta inspección se puede evaluar en conjuntos a los sensores de inspección en algunos tanques mientras están en servicio. Para este tipo de inspección se requiere un individuo con el conocimiento y experiencia en metodologías de inspección, y el inspector calificado es el responsable de este servicio quien debe asegurar calidad y seguridad en el tanque.

### **4.10.2. Inspección externa.**

Este tipo de inspección se realiza a los siguientes componentes:

- Cuerpo del tanque.
- Techo.
- Componentes del tanque.
- Reparaciones de tanque específicas.
- Toma de tierra del equipo.
- Cañerías del equipo.

Se debe realizar una inspección visual por un inspector calificado, además de cada 5 años se requiere una inspección en el cuerpo, para determinar el espesor del cuerpo y compararlo con medidas anteriores, y las medidas del espesor mínimas requeridas para el tanque, el tanque puede estar en servicio para realizar este tipo de inspección.

Se deben chequear las condiciones del techo, cañerías anexas, componentes, pasa manos y escaleras del equipo, además de los sistemas de incendios del tanque.

## **4.11. Responsables.**

### **4.11.1. Departamento de mantenimiento.**

El departamento de mantenimiento tiene objetivo implementar el plan de inspección para los tanques de almacenamiento, mantener actualizados según la norma requerida, exigir el conocimiento de los planes y la norma.

### **4.11.2. Inspectores calificados.**

El inspector autorizado a realizar este plan de implantación tiene que cumplir los siguientes objetivos:

- Comprender y conocer el plan de inspección para los tanques de almacenamiento.
- Cumplir el plan de inspección programado.
- Realizar sugerencias y comentarios para fomentar la mejora continua de los planes de inspección.

**CAPÍTULO IV**  
**DISEÑO DE SOLUCIÓN.**

## **5. Plan de inspección.**

### **5.1. Propósito.**

Mantener los tanques de almacenamiento operativos conforme a los requerimientos exigidos para garantizar la operatividad de los productos depositados en los estanques, priorizando que el producto se mantenga buen estado y conservación, evitar fugas o derrames, o que se genere contaminación en los químicos dentro de los tanques.

### **5.2. Alcance.**

Este procedimiento comprende todas las áreas y/o actividades que se deberán inspeccionar a los tanques de almacenamientos, para evitar fallas futuras inesperadas y controlar los equipos en la empresa, donde conforme a las normativas a aplicar (API 653) para inspección de estanques de almacenamiento.

### **5.3. Objetivo.**

En este procedimiento tenemos como objetivo primordial, realizar inspecciones en tanques de almacenamiento según la norma API 653, evitando problemas de seguridad, calidad del producto y aumentar la confiabilidad, como también la disponibilidad de los estanques, para garantizar la integridad del estanque durante su estado de operación.

#### **5.4. Disponibilidad de servicio de tanques de almacenamiento según API 653.**

Los resultados de la inspección determinaran la disponibilidad del servicio, al presentar variaciones, desde la condición física original del equipo, se deberá generar una evaluación a sus componentes para indicar su puesta en servicio.

Las siguientes evaluaciones tienen como objetivo precisar que el tanque existente está en un estado óptimo y disponible para trabajar de manera segura, para los que no pasan las evaluaciones se les rectificara adecuadamente según la normativa vigente para la reparación. Los criterios que observar en estas evaluaciones serán:

- Corrosión interna en función del producto almacenado.
- Corrosión externa por la localización del equipo.
- Propiedades de los productos.
- La fundación de los tanques.
- Análisis de las propiedades mecánicas del equipo.
- Distorsiones en el equipo.
- Condiciones de operación.

#### **5.5. Procedimiento de inspección.**

##### **5.5.1. Prácticas de trabajo seguro**

Se genera una evaluación sobre los riesgos potenciales en el equipo y entorno, a los que están expuestos los responsables de las actividades a desarrollar, los procedimientos serán ejecutados de acuerdo con los planes de seguridad de la empresa, y normas anteriores API Std. 2015, incluyendo la seguridad y salud del personal, prevención de explosiones y fuego accidental, y a daños a la propiedad.

Se pueden generar procedimientos especiales de seguridad para las actividades descritas en esta inspección, y cumplirán cualquier regulación de seguridad con respecto a la entrada de espacios confinados o a cualquier área que sea relevante, y que se deban ejecutar tareas.

### **5.5.2. Inspección de techo del tanque.**

La estructura completa del techo y de los componentes de este, deben ser verificados, cualquier lámina del techo corroída con espesor menor 0.2286 [cm] en cualquier área de 254 [cm<sup>2</sup>] o láminas del techo con perforaciones pasantes, deberán ser cambiadas o rectificadas.

#### **5.5.2.1. Techo fijo.**

Todos los componentes del sistema de soporte del techo deben ser inspeccionados para determinar el estado por el inspector a cargo, componentes con averías, corroídos, dañados o deformados, deben ser evaluados y/o reparados en el caso que se necesite. En la inspección al techo del tanque, se tiene que puntualizar la revisión de las columnas huecas corroídas, buscando zonas severas de corrosión, que se dificulta observar en la inspección interna.

#### **5.5.2.2. Techo flotante.**

Cualquier área en las láminas del techo que se presente fisura, grietas o perforaciones pasantes, deben ser reemplazadas o reparadas, áreas que se observen picaduras deben pasar a evaluación, para verificar el espesor de estas, y prediciendo picaduras pasantes en próximas inspecciones. Los sistemas de soporte del techo, los sellos perimetrales, escaleras, sistema de drenaje de agua, sistemas de ventilación, deben ser evaluados si se observan cambios en la inspección.

### **5.5.3. Inspección del cuerpo del tanque.**

En esta inspección, se verifican los desperfectos, averías y cualquier otra condición defectuosa que puedan influir en el servicio y desempeño del equipo, deben ser evaluados para determinar su puesta en servicio. Esta inspección debe ser realizada por inspector calificado, experimentado en las normas de diseño.

La corrosión en el cuerpo del tanque afecta de varias maneras y tienen grados de intensidad, en los cuales pueden generar fallas en el cuerpo. Se pueden encontrar picaduras, pero para cada caso se considera como único y la inspección debe determinar la extensión y el grado en cada caso, para poder informar para generar el procedimiento de reparación. usualmente las picaduras no representan un daño severo o significativo al cuerpo del tanque, pero tienen un criterio para saber su grado de amenaza al equipo.



### **5.5.3.2. Distorsiones.**

Lo que se le denomina distorsiones el cuerpo del tanque son las áreas que se observe una falta de redondez, áreas con hundimiento, espacios planos, y ondulaciones en las juntas soldadas.

Estas distorsiones pueden deberse a muchos factores tales como, problemas en el fondo del tanque con respecto al suelo, bajas o altas presiones no habituales en el equipo, el clima al cual puede estar localizado el tanque, fallas o problemas debido a una mala fabricación o reparaciones defectuosas ejecutadas en el equipo, etc.

Las distorsiones ya mencionadas deben ser inspeccionadas y evaluadas de manera única cada una para determinar de manera óptima si el equipo puede continuar en servicio.

### **5.5.3.3. Imperfectos.**

Para determinar la gravedad de los detalles defectuosos en el equipo deben ser inspeccionados a fondo, con esta examinación se verifica el grado del defecto en el tanque, y si es necesario la reparación del error. Cada falla debe evaluarse caso a caso para asegurar la reparación y la confiabilidad en el equipo, cualquier grieta en la soldadura unión cuerpo-fondo debe ser quitada.

### **5.5.3.4. Soldaduras de cuerpo**

El estado en el que se encuentren las soldaduras del cuerpo del tanque tiene que ser inspeccionados y evaluado para determinar su puesta en servicio, todo defecto en la soldadura por corrosión o picadura deber ser examinado resolviendo con los procedimientos de reparación correspondientes según la norma.

### **5.5.3.5. Penetraciones del cuerpo**

Las penetraciones del cuerpo, se refiere a todas las entradas existentes en el cuerpo tales como inyectores, manholes, puertas de limpieza, cañerías, cleanout, etc. Estas aberturas deben ser inspeccionadas para corroborar el estado íntegro del tanque. En esta inspección revisa detalles a los reparos que este expuesto el equipo en sus penetraciones del cuerpo, como refuerzos de soldadura, los grosores y esparcimiento, evaluando su tipo y grado. Las soldaduras que se encuentren en el cuerpo que no pueden ser reparadas o modificadas por norma API 650 Standard, pueden ser aceptadas para su puesta en servicio del equipo, solo si son revisadas con el método de partículas magnéticas, y que no se observen fallas o defectos que sean causa de rechazo. Cualquier defecto por corrosión o por otra causa, debe determinarse el grado y evaluarse de manera particular caso a caso. Para eliminar desperfectos en la soldadura, pulir es aceptado solamente si cumple con los requisitos de grosor el cuerpo del tanque y el tamaño de la soldadura.

#### **5.5.4. Inspección del fondo del tanque.**

Lo importante en esta inspección es determinar el estado en el que se encuentra el fondo para evitar daños ambientales por fuga de producto por el fondo. La corrosión es el punto clave para decidir la integridad del fondo por la cual cada zona que presente se debe evaluar, como también otros puntos de falla por el revestimiento o por grietas que puedan producir fugas inesperadas. Para mantener la integridad del tanque y el equipo en servicio se debe inspeccionar rutinariamente el fondo, adicionalmente de las inspecciones interiores programadas. El monitoreo constante de los equipos y sensores en los tanques satisfacen el requerimiento de inspección periódica para el fondo del tanque de almacenamiento.

Un factor importante por inspeccionar es el asentamiento del fondo con la fundación con el tanque debido a que si observa un asentamiento excesivo de la fundación se debe evaluar su puesta en servicio.



*Fig. 29 Inspección de fondo.*

##### **5.5.4.1. Causas de las fallas de fondo.**

Las causas más comunes en las fallas de fondo del tanque de almacenamiento, las cuales debemos considerar para los procedimientos de reparación correspondientes son:

- Picaduras internas.
- Corrosión en las uniones soldadas.
- Agrietamientos en las juntas de la soldadura.
- Esfuerzos aplicados a las láminas del fondo por las cargas del techo y el asentamiento del cuerpo.
- Corrosión en el piso del fondo.
- Drenaje inadecuado.
- Problemas por el asentamiento desigual.

- Movimientos inadecuados en los soportes del techo y otros soportes soldados.
- Rellenos del fondo.
- Sumideros defectuosos.

#### **5.5.4.2. Detección de fuga en el fondo.**

Para detectar fugas es necesario que el equipo albergue un sistema de detección de fugas que suelen instalarse cuando se remueve una lámina del fondo o plancha para reparación. Con este indicador localizaremos si es que se presenta fuga en el fondo del tanque y su instalación se debe observar externamente del tanque.

#### **5.5.4.3. Medidas de espesor de piso del fondo.**

Para evaluar la corrosión por debajo de las planchas del fondo existen varios métodos. Los métodos de fuga por flujo magnético y equipos de ultrasonido son los equipos para determinar los espesores de corrosión, el método de fuga por flujo magnético consiste a través de la magnetización del área a evaluar de un material ferromagnético, generando un campo magnético que, al presentar una variación de espesor, provoca una fuga de ese campo, obteniendo como señal, pérdida de material.

Todos los resultados obtenidos son analizados en conforme a la norma API 653, la cual determina los espesores mínimos requeridos para el funcionamiento del equipo o de rechazo para ejecutar procedimientos de reparación de fondo de estanque según se requiera.

#### **5.5.5. Inspección de la fundación del tanque.**

Las causas más comunes de averías en la fundación del tanque, es en el concreto que sufre agrietamientos, erosión, y otros deterioros por el agua que fluye por debajo del fondo, ataques de ácidos o alcalinos, y las heladas expuestas y calcinamiento.

El calcinamiento es la pérdida de agua por hidratación por mantenerse a temperaturas altas por un determinado tiempo, lo que provoca que al enfriarse el concreto absorba humedad, que lo lleva a inflarse y a agrietarse, perdiendo su resistencia.

### 5.5.5.1. Pernos de anclaje.

La alteración en los tornillos de anclaje y fisuras y/o agrietamientos, presentes en la estructura usualmente de concretos, son señales de que la fundación del tanque está sometida a cargas irregulares y debe evaluarse, debido a puede presentar problemas de asentamiento de la fundación o un levantamiento sobre presión en el tanque.

### 5.5.6. Ensayos no destructivos.

Los equipos para utilizar en los ensayos no destructivos para este procedimiento de inspección son utilizados mayormente por la eficacia que poseen para identificar defectos o averías en las secciones o áreas en la que se apliquen los distintos métodos en los equipos a inspeccionar.

- **Líquidos penetrantes:** este tipo de prueba nos ayuda a determinar daños superficiales, como fisuras, discontinuidades o defectos en las áreas a inspeccionar detalladas. Identificar estas fallas nos ayuda a prevenir posibles fallas futuras. Este líquido se aplica sobre el área a revisar, la cual debe estar limpia ajena de cualquier tipo de contaminante, como también los restos de óxido si es que se presenta, luego de aplicar el líquido penetrante del método a elección, se limpiará el exceso del líquido penetrante y aplicará el revelador del líquido para poder inspeccionar finalmente las averías que puede presentar la sección revisada.

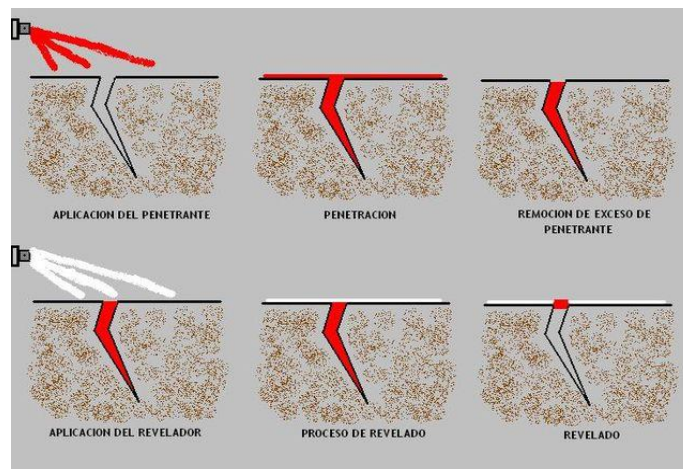


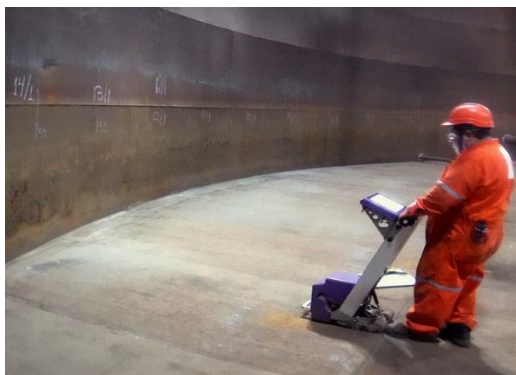
Fig. 30 Aplicación liquido penetrante.

- **Partículas magnéticas:** este tipo de prueba se utiliza en materiales ferromagnéticos en la cual el área a revisar se magnetiza mediante un dispositivo compuesto de imanes, el cual después de aplicar la magnetización, se esparce un polvo metálico o fluido líquido (partículas magnéticas) que al presentar fugas del campo magnético en las discontinuidades que estén en el área magnetizada se adhieren, identificando las averías y defectos en el área.



*Fig. 31 Partículas magnéticas.*

- **Fuga por flujo magnético:** este tipo de END es utilizado para detectar la disminución o pérdida de espesor debido a la corrosión en materiales ferromagnéticos. Los equipos que se utilizan para esta prueba poseen magnetos con una capacidad de magnetización alta sobre la sección por la cual están puestos, lo que produce un campo magnético en el espesor del tanque, cuando se presenta una variación de espesor debido a la corrosión, se producen fugas en el campo magnético, por lo cual el equipo lo lee como una señal digital y lo relaciona con una pérdida de espesor, lo cual lo interpola en una serie de valores por lo que arroja la intensidad de la disminución o pérdida de espesor en el área o sección revisada.



*Fig. 32 Aplicación equipo de fuga por flujo magnético.*

### 5.5.7. Registros.

Los registros de inspección forman base para efectuar todos los trabajos como los planes de mantenimiento y procedimientos de reparación dentro de los equipos de la industria petroquímica, por lo que la toma de estos datos es esencial y proporcionar un buen registro de inspecciones y un informe de inspección final con todo lo requerido nos aporta un mejor manejo en el control de la industria.

Como primer registro aplicaremos un programa de registro de inspecciones en el cual debemos rellenar con los datos pedidos en el registro y marcar con una X las acciones ejecutadas en el equipo.

REGISTRO DE INSPECCIONES									
Orden de trabajo			Producto almacenado						
Estanque			Díámetro				Inspector		
ítem	Inspección						Revisión		
	Actividad	Tipo	Fecha	Fecha	Fecha	Fecha	Fecha	Fecha	Fecha
Piso	Inspección visual								
	Medición de espesores								
	Informe								
Fundación	Inspección visual								
	Medición de espesores								
	Informe								
Techo	Inspección visual								
	Medición de espesores								
	Informe								
Cuerpo	Inspección visual								
	Medición de espesores								
	Informe								
Entradas	Inspección visual								
	Medición de espesores								
	Informe								
Accesorios	Inspección visual								
	Medición de espesores								
	Informe								
Observaciones									

Fig. 33 Registro de inspecciones.

#### 5.5.7.1. Redacción de informe final.

La información que debe presentar este informe debe estar documentada del siguiente formato:

- Antecedentes.
- Especificaciones y características del equipo.
- Normas aplicables (API 653).
- Equipos END utilizados.
- Registro fotográfico.
- Resultados de inspección (inspección visual, medición de espesores).
- Análisis de datos.
- Descripción de problemas detectados.
- Conclusiones y recomendaciones.

**CAPÍTULO V**  
**ANÁLISIS ECONÓMICO**

## **6. Costos de inspección.**

Todos los costos para este procedimiento están mayormente asociados a los ensayos no destructivos que se aplicarán a los tanques de almacenamiento evaluados, los cuales serán aplicados por los inspectores calificados y sus ayudantes técnicos en área.

Los insumos para los ensayos no destructivos que se utilizaran son los siguientes:

- **Líquidos penetrantes.**
- **Partículas magnéticas.**
- **Elementos de limpieza.**
- **Elementos de medición.**
- **Elementos de protección personal.**
- **Artículos de oficina.**

Los equipos para las inspecciones y evaluaciones serán los siguientes:

- **Equipo de mediciones de espesores.**
- **Yugo magnético.**
- **Detectores de gases.**
- **Equipos de limpieza.**
- **Equipos eléctricos de trabajos.**

Y estas inspecciones tienen como personal de trabajo:

- **Inspectores calificados.**
- **Técnicos especialistas.**
- **Ayudantes técnicos.**
- **Ingeniero a cargo.**
- **Dibujante técnico.**

### 6.1. Inversión insumos.

<b>INSUMOS.</b>	<b>VALOR (\$CLP).</b>
<b>Líquidos penetrantes.</b>	<b>\$ 162.792.</b>
<b>Partículas magnéticas.</b>	<b>\$ 636.290.</b>
<b>Elementos de limpieza.</b>	<b>\$ 150.000.</b>
<b>EPP.</b>	<b>\$ 300.000.</b>
<b>Artículos de oficina.</b>	<b>\$ 50.000.</b>
<b>PRESUPUESTO.</b>	<b>\$ 1.299.082.</b>

*Fig. 34 Inversión insumos.*

### 6.2. Inversión equipos.

<b>EQUIPOS.</b>	<b>VALOR (\$CLP).</b>
<b>Equipos de medición de espesores.</b>	<b>\$ 2.800.000.</b>
<b>Yugo magnético.</b>	<b>\$ 529.860.</b>
<b>Equipo detector de gases.</b>	<b>\$ 2.580.000.</b>
<b>Equipos de limpieza.</b>	<b>\$ 1.118.480.</b>
<b>Equipos eléctricos de trabajo.</b>	<b>\$ 328.990.</b>
<b>Camioneta</b>	<b>\$ 18.000.000</b>
<b>PRESUPUESTO.</b>	<b>\$ 25.357.330.</b>

*Fig. 35 Inversión equipos.*

**7. Costos directos.**

<b>COSTOS GENERALES MENSUALES APROX.</b>	
<b>COSTOS DIRECTOS.</b>	<b>VALOR (\$CLP).</b>
Sueldos y remuneraciones.	\$ 5.020.000.
Traslados.	\$ 500.000.
Luz, agua, internet, telefonía.	\$ 250.000.
Certificación de equipos.	\$ 300.000.
Calificación de personal.	\$ 250.000.
Colaciones.	\$ 1.860.000.
<b>PRESUPUESTO.</b>	<b>\$ 8.180.000.</b>
<b>PRESUPUESTO SEMESTRAL.</b>	<b>\$49.080.000.</b>

*Fig. 36 Costos generales aproximados.*

**8. Ingresos proyectados.**

<b>INGRESOS.</b>	
<b>DETALLE.</b>	<b>VALOR (\$CLP).</b>
VALOR INSPECCIÓN POR DIA.	\$ 1.500.000.
20 DÍAS POR MES APROXIMADO.	\$ 30.000.000.
<b>INGRESO TOTAL SEMESTRAL</b>	<b>\$ 180.000.000.</b>

*Fig. 37 Ingresos proyectados semestrales.*

**9. Utilidades.**

<b>UTILIDADES DE LA EMPRESA.</b>	
<b>DETALLES.</b>	<b>VALOR (\$CLP).</b>
INVERSIÓN INICIAL.	\$ -26.656.412.
COSTOS SEMESTRALES.	\$ -49.080.000.
INGRESOS SEMESTRALES.	\$ 180.000.000
<b>UTILIDAD SEMESTRAL.</b>	<b>\$ 104.263.588.</b>

*Fig. 38 Utilidades semestral.*

## **10. Análisis de costos.**

El procedimiento de inspección necesita de implementos y personal para llevarse a cabo, por lo cual se debe hacer una inversión para ello, ya que proporciona una confiabilidad en el trabajo que se está generando y aportando un valor agregado al servicio por el cual la industria petroquímica solicita. Según las tablas anteriores, donde podemos analizar las inversiones de insumos y equipos, los costos directos asociados a las inspecciones y movimientos de personal en el equipo de trabajo, con esos datos proporcionamos y proyectamos el valor de los procedimientos de inspecciones para la industria petroquímica.

Invertir en los equipos e insumos, como también en el personal para las inspecciones, nos entregan una utilidad de 16 millones de pesos mensuales aproximados que pueden ser invertidos en la investigación e implementación de nuevos métodos de inspección.

Como podemos analizar de igual forma que los costos asociados a la inspección son altos debido al personal a cargo que debe mantenerse para poder entregar el servicio y que es indispensable, donde cada uno del personal posee un rol importante dentro los procedimientos de inspección para tanques de almacenamiento según la norma API 653.

**CAPÍTULO VI**  
**CONCLUSIÓN.**

## **11. CONCLUSIÓN.**

Este procedimiento permite definir, conocer y aplicar las diferentes actividades de inspección de los tanques de almacenamiento.

Definir los tanques de almacenamiento nos aporta mayor conocimiento sobre el área en la que trabajamos, por lo que era una necesidad dentro de este programa, además de identificar y reconocer las fallas que puedan producirse en él y lo dañino e importante que es la corrosión en este sentido para los equipos de almacenamiento, ya que con esta información podemos realizar las distintas evaluaciones para saber en el estado en el que está el equipo el nivel de daño por la corrosión y a que componentes está mayor afectado. La identificación de estas averías o discontinuidades son esenciales en la inspección, ya que se pueden generar los procedimientos de reparación adecuados para mantener y preservar los equipos de almacenamiento en buen estado tanto como los productos que almacena.

La norma API nos aportó toda la información para estandarizar la inspección y evaluación de estos equipos, agregándole una seguridad y cumpliendo con los requisitos que pide la industria petroquímica.

Como procedimiento de inspección es clave generar registros de estas para mantener la información resguardada y ordenada para el uso continuo de la información, la cual será utilizada para generar los procedimientos específicos para las fallas que se presenten en los tanques, cumpliendo con mantener óptimos los equipos de almacenamiento y aportando a la mejora continua de los equipos.

## **BIBLIOGRAFÍA**

“API 650, welded steel tanks of oil storage”, 2007

“API 653, tank inspection, repair, alteration, and reconstruction”, 2005

“API 575, guidelines and methods for inspection of existing atmospheric and low - Pressure storage”, 2005

“API 651, cathodic protection of above ground petroleum storage tanks”, 2007

Codinsa.cl

"Corrosión de tanques de almacenamiento" Laura Sofia Reyes, 2017

"Corrosión en tanques de almacenamiento" Autor desconocido, 2015

“Elaboración del procedimiento para la reparación de tanques de almacenamiento de crudo, de techo cónico, de 20.000 barriles, según la norma api 653, para la empresa Solmaquitrans s.a.” Byron sisa, 2015

“Fuga de flujo magnético”, Piesadec, 2022.

<https://www.wattco.com/es/2021/06/tipos-de-tanques-de-almacenamiento>

<http://www.osinerg.gob.pe/newweb/pages/gfh/253.htm?1>

"La corrosión" Alejandra Hernández, 2016

“Manual para la construcción, inspección y reparación de tanques cilíndricos verticales” Pemex, 2005

Poster científico “ensayos tecnológicos y no destructivos” Laura Carro David rodríguez, 2014

“Procedimiento de uso de partículas magnéticas” ilogsa, 2012

“Procedimiento de aplicación líquidos penetrantes” aeisa.com

“Procedimientos de inspección y mantención de estanques de almacenamiento de fluidos líquidos”  
Francisco Reiner, 2012

“Tanques de almacenamiento de hidrocarburos”, ing. Daniela romano, 2004

“Tanques de almacenamiento” ing. Javier Andrés Martínez, 2016

Vignolatienda.cl

[www.applus.com](http://www.applus.com) "ensayos no destructivos"

**Anexos.**

REGISTRO DE INSPECCIONES									
Orden de trabajo	Estante	Inspección	Producto almacenado			Inspector			
			Tipo	Fecha	Fecha	Fecha	Fecha	Fecha	
		Actividad	Fecha	Fecha	Fecha	Fecha	Fecha	Fecha	Fecha
<b>Piso</b>		Inspección visual							
		Medición de espesores							
		Informe							
<b>Fundación</b>		Inspección visual							
		Medición de espesores							
		Informe							
<b>Techo</b>		Inspección visual							
		Medición de espesores							
		Informe							
<b>Cuerpo</b>		Inspección visual							
		Medición de espesores							
		Informe							
<b>Entradas</b>		Inspección visual							
		Medición de espesores							
		Informe							
<b>Accesorios</b>		Inspección visual							
		Medición de espesores							
		Informe							
<b>Observaciones</b>									



## **Glosario.**

### **Corrosión.**

Proceso de deterioro de materiales metálicos mediante reacciones químicas

### **Petróleo.**

Es un aceite natural, compuesto por hidrocarburos y otros elementos en menor medida.

### **Cloro industrial.**

Es un químico obtenido a través de la electrólisis de la sal.

### **Crudo.**

Petróleo crudo.

### **Inspección externa.**

Es una inspección realizada bajo la supervisión de un inspector calificado, para conocer todos los aspectos del tanque sin parada de servicio.

### **Inspección interna.**

Una inspección completa supervisada por un inspector autorizado para ingresar a todas las superficies internas del estanco.

### **Kerosene.**

Un líquido inflamable que se obtiene a través de la destilación del petróleo crudo.

### **Manhole.**

Entrada o salida de acceso en equipos de almacenamiento habilitado para personas.

### **Campo magnético.**

Un campo magnético define una zona donde existen fuerzas magnéticas.

### **Magnetización.**

Es el proceso en el cual un elemento adquiere propiedades magnéticas, mediante la aplicación de un campo magnético.

### **Cleanout.**

Entrada o salida de acceso de limpieza en equipos de almacenamiento habilitado para personas.

### **Petroquímica.**

Son industrias que trabajan con petróleo y sus derivados, como también con químicos de distinta naturaleza.

### **Tanque de almacenamiento.**

Son recipientes de almacenamiento utilizados para almacenar productos de distinta naturaleza en la industria.

**Espacios confinados.**

Es un espacio cerrado que presenta riesgos para los trabajadores al momento de ingresar como entradas de difícil acceso, mala ventilación o riesgos de incendio o atrapamiento, entre otras.

**Condensación.**

Es el cambio de estado de gaseoso a líquido a partir de la disminución de la temperatura del gas.

**Evaporación.**

Es el cambio de estado en el cual el estado líquido pasa a gaseoso a través del aumento de la temperatura del líquido.

**Destilación.**

Es un proceso de separación de sustancias a través de la ebullición y condensación de productos.

**Fuerzas magnéticas.**

La fuerza magnética es causada por las fuerzas electromagnéticas, y se debe al movimiento de las cargas en los objetos.

**Ebullición.**

Se refiere al acto o acción de hervir.