



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

**Facultad de Estudios Superiores  
Zaragoza**

**Análisis del mecanismo de falla por  
corrosión en un sistema de  
transporte por ducto de amoniaco**

**TESIS**

Que para obtener el título de  
**Ingeniero Químico**

**P R E S E N T A N**

Castro Cruz Laura Isabel

Zúñiga Galván Edgar

**DIRECTOR DE TESIS**

I.Q. Delfino Galicia Ramírez



**Ciudad de México, 2018**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES

\*ZARAGOZA\*

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

OFICIO: FESZ/JCIQ/705/17

ASUNTO: Asignación de Jurado

Alumno (a): Zúñiga Galván Edgar

PRESENTE

En respuesta a su solicitud de asignación de jurado, la jefatura a mi cargo, ha propuesto a los siguientes sinodales:

PRESIDENTE	I.Q. ADA JOSEFA MEZA MEZA
VOCAL	I.Q. DELFINO GALICIA RAMÍREZ
SECRETARIO	M. EN C. ANA LILIA MALDONADO ARELLANO
SUPLENTE	I.Q. BLAS MALDONADO SÁNCHEZ
SUPLENTE	I.Q. JUAN ÁNGEL LUGO MALDONADO

Sin más por el momento, reciba un cordial saludo.

ATENTAMENTE

“POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU”

México D.F. a 24 de Noviembre de 2017.

JEFA DE CARRERA

I.Q. DOMINGA ORTÍZ BAUTISTA



INGENIERIA QUIMICA  
JEFATURA DE CARRERA

## **Agradecimientos**

A la Universidad Nacional Autónoma de México y a la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza por todas las experiencias, enseñanzas y por haber permitido formarnos dentro de esta gran casa de estudios. Orgullosamente UNAM.

A nuestro asesor Ing. Delfino Galicia, por su valiosa ayuda, enseñanzas, dirección y apoyo a lo largo de todo el desarrollo de este trabajo.

A los ingenieros del Centro de Administración de Integridad de Ductos, Fidel Espíndola, Carmen Díaz, Sandra Mora y Alberto Montoya por su valioso apoyo y enseñanzas brindadas para la realización de este trabajo.

A nuestros sinodales, Ada Meza, Ana Lilia Maldonado, Blas Maldonado y Juan Lugo por sus enseñanzas, disposición y tiempo dedicado a la revisión de este trabajo.

A todas las personas que nos brindaron su apoyo en la realización de este trabajo.

**Edgar e Isabel**

### **Dedicatoria**

Este trabajo se lo dedico a mis padres **Edgar Zúñiga, Consuelo Galván** y a mi hermana **Paulina Zúñiga**, quienes con su ejemplo de esfuerzo y dedicación, me han enseñado que ningún obstáculo es impedimento para superarse y lograr las metas que uno se propone. Gracias por todo su apoyo, este logro es de ustedes.

### **Agradecimientos**

A mis abuelos, tíos y primos Zúñiga y Galván, por estar siempre pendientes de mí, apoyarme en todo momento y brindarme cariño, risas y alegrías.

A Isabel Castro, que sin importar lo difícil que sea la aventura, siempre me acompaña brindándome su confianza, apoyo y amor. Gracias, este trabajo es resultado del esfuerzo de los dos.

A mis amigos de la facultad, Ángel, Nahyr, Iván (pingüino) y Alejandro (Batman), por brindarme su amistad, compartir conocimientos, aventuras, risas, sustos y experiencias durante toda la carrera.

**Edgar**

*“No importa lo que pase, no importa lo lejos que parezca estar el lugar donde quieres estar, nunca dejes de creer que algún día, de alguna manera, lo lograrás” Les Brown.*

## **Agradecimientos**

A mis padres **Gregoria Cruz** y **Lauro Castro** por brindarme su apoyo incondicional en todo momento y guiarme para lograr mis metas, por enseñarme que puedo lograr todo lo que me proponga. Gracias por ser un gran ejemplo y darme su amor incondicional, siempre estaré agradecida por todo lo que me han enseñado.

A mis hermanos **Olivia Castro, Edmundo Castro, Amanda Castro, Aurora Castro y Moisés Castro** porque siempre han luchado por lo que quieren y me han enseñado que no hay camino equivocado, que con esfuerzo se puede llegar muy lejos, estoy orgullosa de ustedes. Gracias por apoyarme siempre y estar conmigo en cualquier momento.

A **Edgar Zúñiga**, por estar a mi lado siempre y hacer que diera lo mejor de mí, por no dejar que me rindiera en ningún momento. Te amo mucho, gracias por ser una parte muy importante de mi vida.

A **Claudia Yeo**, por ser más que una amiga y siempre estar a mi lado. Gracias por todos los momentos compartidos, por todas las alegrías y risas que hemos vivido juntas.

A mis amigos de la facultad, **Alejandra, Carla, Edith, Nahyr, Iván, Edgar** por compartir experiencias nuevas, risas, alegrías y por su apoyo a lo largo de la carrera. Gracias por su apoyo, por acompañarme a mis partidos e hidratarme.

**Isabel**

## Índice

<b>Introducción</b> .....	8
<b>Objetivo general</b> .....	9
<b>Objetivos particulares</b> .....	9
<b>Alcance</b> .....	9

### **Capítulo 1: Fundamentos de corrosión**

1.1 Definición de corrosión metálica.....	11
1.2 Tipos de corrosión.....	11
1.3 Corrosión electroquímica .....	12
1.4 Celdas de corrosión .....	13
1.5 Electroodos de referencia .....	15
1.6 Series galvánicas .....	18

### **Capítulo 2: La Corrosión como mecanismo de falla en ductos**

2.1 Ductos de transporte .....	20
2.2 Amenazas a los ductos de transportes.....	21
2.3 Amenazas por corrosión a los ductos .....	23
2.4 Corrosión externa en ductos .....	24
2.5 Corrosión en suelos .....	25
2.6 Tipos de corrosión externa en ductos.....	28

### **Capítulo 3: Prevención, detección y mitigación de la corrosión externa en ductos**

3.1 Prevención, detección y reparación de la corrosión externa en ductos ....	36
3.2 Métodos de prevención .....	36
3.2.1 Especificaciones de diseño.....	36
3.2.2 Recubrimientos.....	37
3.2.3 Protección catódica .....	40
3.2.4 Medidas de control de fugas .....	44
3.3 Métodos de detección .....	45
3.3.1 Inspecciones ILI.....	45
3.3.2 Estudios de evaluación directa para corrosión externa .....	50
3.4 Métodos de reparación.....	52

### **Capítulo 4: Evaluación de la corrosión externa en ductos**

4.1 Administración de integridad de ductos.....	56
4.2 Proceso de administración de integridad de ductos .....	56
4.3 Identificación de peligros potenciales .....	58
4.4 Información y recopilación de datos .....	58
4.5 Evaluación de riesgo en ductos.....	59
4.6 Probabilidad de falla.....	59
4.7 Consecuencias de falla .....	60
4.8 Estimación del riesgo .....	62
4.9 Evaluación del riesgo por corrosión externa.....	63
4.10 Evaluación de integridad .....	63
4.11 Respuesta a la evaluación de integridad .....	63



## **Capítulo 5: Caso de aplicación**

5.1 Introducción al caso de aplicación.....	66
5.2 Descripción del sistema de transporte de amoniaco Cosoleacaque - Salina Cruz .....	67
5.3 Metodología del análisis.....	69
5.4 Análisis del mecanismo de falla por corrosión externa .....	72
5.4.1 Descripción del ducto de amoniaco Loma Larga – Salina Cruz ..	72
5.4.2 Zonas de altas consecuencias.....	75
5.4.3 Entorno del ducto.....	77
5.4.4 Historial de fallas .....	79
5.4.5 Inspecciones al ducto .....	79
5.4.6 Protección contra la corrosión externa.....	80
5.4.7 Resultados del análisis de riesgo por corrosión externa .....	84
<b>Conclusiones .....</b>	<b>94</b>
<b>Observaciones .....</b>	<b>96</b>
<b>Anexos .....</b>	<b>98</b>
<b>Referencias.....</b>	<b>109</b>

## Índice de figuras

### **Capítulo 1**

Figura 1.1 Ejemplo de una celda de corrosión .....	14
Figura 1.2 Ejemplo de electrodo cobre-sulfato de cobre.....	16
Figura 1.3 Series de potencial estándar .....	17
Figura 1.4 Serie galvánica de metales en agua de mar .....	18

### **Capítulo 2**

Figura 2.1 Transporte de hidrocarburos por ducto .....	20
Figura 2.2 Formación de zonas anódicas y catódicas .....	24
Figura 2.3 Celda de corrosión externa en un ducto .....	25
Figura 2.4 Corrosión selectiva de la costura .....	29
Figura 2.5 Corrosión MIC .....	30
Figura 2.6 Corrosión galvánica .....	31
Figura 2.7 Grietas por SCC.....	32
Figura 2.8 Condiciones de SCC.....	32
Figura 2.9 Corrosión por corrientes parasitas .....	33
Figura 2.10 Celda de aireación diferencial .....	34
Figura 2.11 Picaduras por aireación diferencial .....	34

### **Capítulo 3**

Figura 3.1 Esquema de un sistema de protección catódica por ánodos de sacrificio	41
Figura 3.2 Esquema de un sistema de protección catódica por corriente impresa ....	42
Figura 3.3 Partes de un diablo instrumentado MFL .....	45
Figura 3.4 Operación de MFL .....	46
Figura 3.5 Principio de operación UT .....	47
Figura 3.6 Configuración del envío de un diablo .....	48

## **Capítulo 4**

Figura 4.1 Diagrama de flujo de la administración de integridad de ductos ..... 57

## **Capítulo 5**

Figura 5.1 Molécula de amoníaco ..... 66

Figura 5.2 Uso del amoníaco ..... 66

Figura 5.3 Distribución de amoníaco..... 67

Figura 5.4 Trazo del ducto Cosoleacaque-Salina Cruz..... 69

Figura 5.5 Trazo del ducto de amoníaco Loma Larga – Salina Cruz..... 73

Figura 5.6 Instalaciones Superficiales del ducto Cosoleacaque – Salina Cruz..... 75

Figura 5.7 ZAC zona urbana de Salina Cruz..... 76

## Índice de tablas

### **Capítulo 1**

Tabla 1.1 Características de los tipos de corrosión.....	12
--	----

### **Capítulo 2**

Tabla 2.1 Clasificación de fluidos transportados por ductos .....	21
Tabla 2.2 Rangos de corrosividad basados en la resistividad del suelo .....	27
Tabla 2.3 Clasificación de suelos de acuerdo a su composición .....	28

### **Capítulo 3**

Tabla 3.1 Comparación de los sistemas de protección catódica .....	43
Tabla 3.2 Criterios para suelos de alta resistividad.....	44
Tabla 3.3 Clasificación de defectos en estudio DCVG.....	51

### **Capítulo 5**

Tabla 5.1 Instalaciones superficiales del sistema Cosoleacaque-Salina Cruz.....	68
Tabla 5.2 Segmentos del sistema Cosoleacaque-Salina Cruz .....	68
Tabla 5.3 Parámetros para evaluación de riesgo por corrosión externa .....	72
Tabla 5.4 Datos técnicos del ducto Loma Larga Salina Cruz .....	74
Tabla 5.5 Instalaciones superficiales del ducto Loma Larga – Salina Cruz.....	74
Tabla 5.6 Zonas de altas consecuencias.....	75
Tabla 5.7 Cruces ZAC 6.....	76
Tabla 5.8 Tipo de suelo .....	78
Tabla 5.9 Indicaciones detectadas por ILI .....	79
Tabla 5.10 Anomalías reparadas.....	80
Tabla 5.11 Rectificadores del sistema de protección catódica Loma Larga – Salina Cruz .....	81
Tabla 5.12 Nivel de protección catódica .....	83
Tabla 5.13 Indicaciones DCVG.....	83
Tabla 5.14 Nivel de tolerancia (LOF) .....	83
Tabla 5.15 Tipos de cruces.....	89

Tabla 5.16 Clasificación del nivel de riesgo..... 93

**Índice de graficas**

Gráfica 5.1 Tipo de suelo ..... 77

Gráfica 5.2 Perfil de profundidad de anomalías por corrosión externa en el ducto.... 80

Gráfica 5.3 Datos de inspección CIS ..... 82

Gráfica 5.4 Medición de potenciales al ducto ..... 84

Gráfica 5.5 Comportamiento del LOF a lo largo del ducto ..... 85

Gráfica 5.6 COF por impacto al ambiente ..... 88

Gráfica 5.7 COF por impacto a la población..... 89

Gráfica 5.8 COF por impacto al negocio..... 90

Gráfica 5.9 COF totales..... 90

Gráfica 5.10 Comportamiento de LOF, COF y ROF por CE a lo largo del ducto ..... 91

Gráfica 5.11 Comparación de riesgos por CE ..... 92

Gráfica 5.12 Nivel de riesgo por CE en el ducto..... 92

## **Introducción**

El transporte por ducto es una actividad de gran importancia para la industria petrolera, ya que es el método más rentable y seguro para el transporte hidrocarburos. A pesar de ser el método de transporte más seguro, este no está exento de riesgos. Debido a las grandes distancias que cubren, los ductos enfrentan distintas amenazas a lo largo de toda su trayectoria, entre las que destaca la corrosión.

La corrosión es la degradación de un metal por reacción química con el entorno que lo rodea. Las condiciones que propician este fenómeno son muy variadas, generalmente un metal corroído presenta una combinación de distintos tipos de corrosión.

Los ductos de transporte pueden presentar corrosión en la pared externa e interna del ducto, sin embargo la corrosión externa es una amenaza presente en todos los ductos de transporte ya sean submarinos, subterráneos o aéreos. La corrosión externa en ductos subterráneos puede ser provocada por el tipo de suelo, bacterias, corrientes parasitas, diferencia de concentración de oxígeno entre otros mecanismos.

A pesar de que la corrosión es un fenómeno muy difícil de evitar, se puede prevenir y controlar si se conoce el entorno al que se encuentra sometido el ducto y se realizan acciones adecuadas de prevención, detección y mitigación de la corrosión.

El proceso de Administración e Integridad consiste en la identificación de los mecanismos de falla a los que está sujeto un ducto durante su vida de servicio (corrosión externa e interna, clima, defectos de fabricación entre otros) integrando datos que permita llevar a cabo un análisis de riesgo. Los resultados del análisis de riesgo permite elaborar planes de prevención y evaluación de integridad para posteriormente dar paso a la mitigación de estos peligros potenciales

## **Objetivo General**

Aplicar el proceso de administración de integridad de ductos para conocer y analizar el mecanismo de falla por corrosión externa en un ducto de transporte.

## **Objetivos Particulares**

- Estudiar el fenómeno de corrosión externa en el amoniaducto Loma Larga – Salina Cruz 10”.
- Identificar las variables que propician la corrosión externa en el ducto.
- Conocer los métodos de prevención, detección y mitigación de la corrosión externa.
- Conocer el estado de corrosión externa que tiene el ducto.

## **Alcance**

Conocer el estado de corrosión externa del ducto Loma Larga – Salina Cruz utilizando el proceso de administración de integridad de ductos establecido en la Norma Oficial Mexicana **NOM-027-SESH-2010**: Administración de la Integridad de Ductos de Recolección y Transporte de Hidrocarburos. En este trabajo solo será considerada la amenaza por Corrosión Externa.

# Capítulo 1: Fundamentos de corrosión

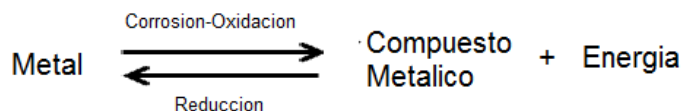
---



## 1.1 Definición de corrosión metálica

La corrosión es la degradación de un metal ya sea por reacción química o electroquímica con su entorno. Aunque existen factores físicos como el agrietamiento, erosión, esfuerzo entre otros que afectan las propiedades físicas de un metal, no se denomina corrosión si no ocurre una reacción química de por medio. (3)

Los metales se corroen debido a que son utilizados en ambientes donde son termodinámicamente inestables. La mayoría de los metales no se pueden encontrar en la naturaleza en su estado metálico, sino que se extraen a partir de minerales. Al ser extraídos en su forma pura son termodinámicamente inestables debido a que están en un estado de alta energía y tienden a buscar un estado de energía más bajo donde el metal forma compuestos como los óxidos para llegar a un estado de menor energía. (3)



## 1.2 Tipos de corrosión

Debido a las condiciones ambientales en las que se encuentra el metal, la corrosión metálica se puede dar de dos maneras:

**Corrosión química o seca:** Este tipo de corrosión es debido al ataque directo del metal por los gases presentes en el ambiente, generalmente se da a temperaturas superiores a los 600 °C, ya que existe una mayor reactividad en la mayoría de los metales.

**Corrosión electroquímica o húmeda:** Es el tipo de corrosión más común y se da a partir de la formación de zonas anódicas y catódicas a lo largo del metal, debido a

la diferencia de potenciales eléctricos y en presencia de un medio conductor o electrolito, si este no se encuentra presente entonces la corrosión no ocurre.

**Tabla 1.1 Características de los tipos de corrosión**

Corrosión química	Corrosión electroquímica
Temperaturas elevadas (600°C)	Temperatura ambiente
Ausencia de electrolito	Requiere de un electrolito
Reacción catódica gas agresivo	Reacción catódica el oxidante más fuerte
Corrosión generalizada	Corrosión localizada
Circulación de electrones a través de una película de oxido	Circulación de electrones a través del metal

### 1.3 Corrosión electroquímica

La corrosión electroquímica es la tendencia natural de los metales a perder su alto estado de energía mediante la formación de compuestos de menor energía por reacción con el medio que lo rodea en presencia de una solución conductora (electrolito).

El mecanismo de corrosión electroquímica empieza cuando en un metal existen zonas con un nivel de energía mayor que otras, esta diferencia de energía genera una diferencia de potencial.

Las zonas del metal con mayor energía (zonas anódicas) desprenden átomos del metal que pasan al electrolito en forma de iones positivos, los electrones del átomo que se desprende fluyen por el metal a las zonas con menor nivel de energía (zonas catódicas), donde reaccionan con un compuesto reducible del electrolito.

La velocidad en la que el metal pierda electrones se ve afectada por la velocidad en la que son consumidos por el cátodo. Cuando la diferencia de potencial del cátodo sea suficiente para oponerse al flujo de electrones la corrosión se detendrá.

Reacción de oxidación o anódica: En esta reacción los átomos del metal se desprenden de la estructura metálica y pasan al electrolito en forma de iones positivos.



Reacción de reducción o catódica: Es la reacción en la que el elemento tiene una reducción en su carga.



La corrosión electroquímica es una reacción de óxido-reducción completa en la que la energía liberada por una reacción espontánea se convierte en energía eléctrica, que se aprovecha para provocar una reacción química no espontánea, la unión de las semirreacciones de oxidación y reducción nos dan una reacción completa:



#### **1.4 Celdas de corrosión**

Para que la corrosión electroquímica se lleve a cabo se debe formar una celda de corrosión que consta de:

Ánodo: Superficie del metal que se encuentra en un estado de energía más alto, lugar donde se lleva a cabo la oxidación y por lo tanto la pérdida de metal.

Cátodo: Lugar donde se consumen los electrones producidos en el ánodo.

Electrolito: Sustancia que contiene iones libres y permite la conducción de energía. Provee los reactantes para la reacción catódica.

Conductor metálico: Ruta por la cual los electrones desprendidos del ánodo pasan al cátodo.

Si alguno de estos elementos no está presente en la celda, la corrosión se detiene o no ocurre.

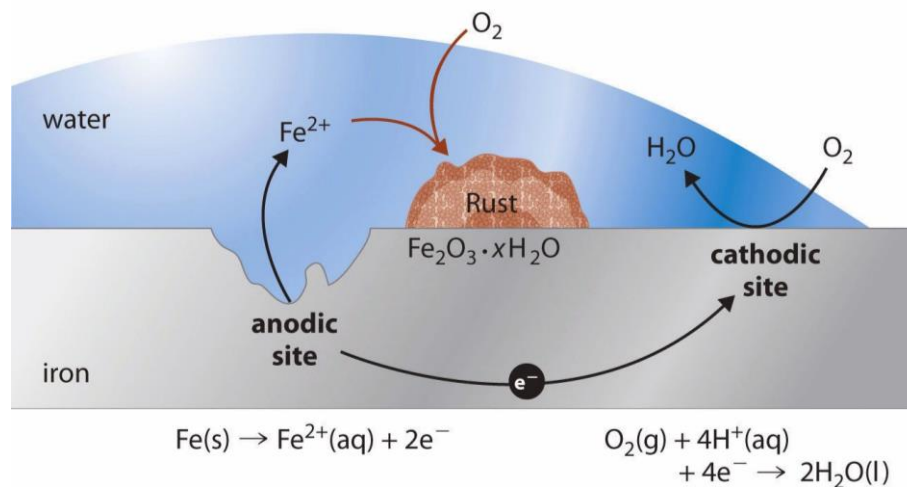


Figura 1.1 Ejemplo de una celda de corrosión

Existen tres tipos de celdas de corrosión:

#### Celda de electrodos diferenciales

Es una celda formada por dos electrodos diferentes, que pueden ser metales diferentes o un mismo metal con tratamiento diferente en presencia de un mismo electrolito y conectados eléctricamente.

#### Celda de concentración

Celda con electrodos iguales, en contacto con electrolitos de diferente composición. Dentro de este tipo se distinguen dos clases:

*Celda de concentración salina:* en la cual un electrodo está sumergido en una solución diluida, mientras que el otro se encuentra sumergido en una solución concentrada, el ánodo es electrodo expuesto a la solución diluida.

*Celda de aireación diferencial:* los dos electrodos se encuentran sumergidos en una misma solución con la misma concentración, pero diferentes niveles de aireación. La diferencia en la concentración de oxígeno produce una diferencia de potencial, el electrodo expuesto a la solución con mayor aireación es el cátodo.

### Celda de temperatura diferencial

Electrodos del mismo metal a diferentes temperaturas, expuestos a soluciones de la misma composición y concentración inicial.

#### **1.5 Electrodo de referencia**

Las pilas que se forman sobre la superficie del metal tendrán un determinado potencial que será diferente para cada metal y electrolito.

El diferencial de potencial de una pila no se puede medir de manera directa por lo cual se utiliza un electrodo de valor ya conocido como referencia para determinar que especies son oxidantes y que especies son reductoras.

Un electrodo de referencia debe tener un potencial reproducible, constante, estable e insensible a la composición de estudio. Los electrodos de referencia miden el mismo potencial cualquiera que sea la naturaleza de la solución en que se introduzcan.

Para hacer un electrodo de referencia con un potencial reproducible, un metal es inmerso en un electrolito de una composición química reproducible, con un contenido específico de iones.

El electrodo de referencia más común es el electrodo de hidrógeno, el cual se considera un valor de cero (0) y respecto a él, bajo condiciones de laboratorio y utilizando agua destilada como electrolito, se obtiene la serie electroquímica de los metales.

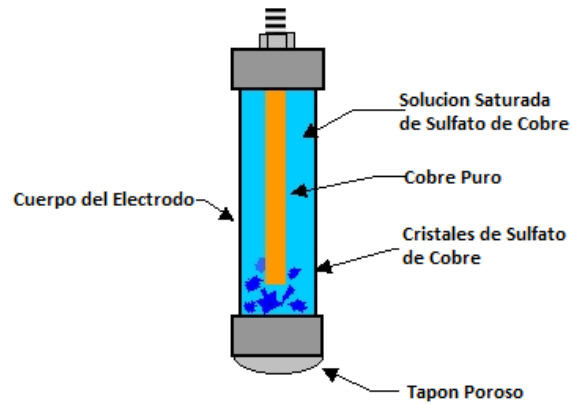


Figura 1.2 Ejemplo de electrodo cobre-sulfato de cobre

Los electrodos de referencia más usados son:

Electrodo de referencia plata-cloruro de plata: Es usado en condiciones de laboratorio y de campo, donde el metal es la plata y se utiliza una solución de cloruro de plata como electrolito. Este electrodo es comúnmente usado para medir potenciales de metales en agua de mar. (1)

Electrodo de referencia cobre-sulfato de cobre: Consiste en una varilla de alambre de cobre inmersa en una solución saturada de sulfato de cobre. El contacto entre el electrolito de sulfato de cobre y el electrolito externo es por medio de un tapón poroso. Este electrodo de referencia es utilizado para medir potenciales en estructuras enterradas. (1)

Semirreacción producida en el electrodo	Potencial estándar reducción, E° (V)	Comportamiento de la especie o del electrodo
$F_2 + 2e \leftrightarrow 2F^-$	2,87	<p><b>ESPECIES OXIDANTES</b> FRENTE AL ELECTRODO DE HIDRÓGENO. PRODUCEN LA REACCIÓN <math>H_2 \leftrightarrow 2H^+ + 2e</math> Y EN EL PROCESO SE REDUCEN (SEMIRREACCIÓN DE REDUCCIÓN: CÁTODO)</p>
$Co^{3+} + 1e \leftrightarrow Co^{2+}$	1,82	
$H_2O_2 + 2H^+ + 2e \leftrightarrow 2H_2O$	1,78	
$MnO_4^- + 4H^+ + 3e \leftrightarrow MnO_2 + 2H_2O$	1,68	
$Ce^{4+} + 1e \leftrightarrow Ce^{3+}$	1,61	
$MnO_4^- + 8H^+ + 5e \leftrightarrow Mn^{2+} + 4H_2O$	1,49	
$ClO_4^- + 8H^+ + 8e \leftrightarrow Cl^- + 4H_2O$	1,37	
$Cl_2 + 2e \leftrightarrow 2Cl^-$	1,36	
$Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ + 6e \leftrightarrow 2Cr^{3+} + 7H_2O$	1,33	
$Au^{3+} + 3e \leftrightarrow Au$	1,31	
$O_2 + 4H^+ + 4e \leftrightarrow 2H_2O$	1,23	
$MnO_2 + 4H^+ + 2e \leftrightarrow Mn^{2+} + 2H_2O$	1,21	
$ZlO_3 + 12H^+ + 10e \leftrightarrow I_2 + 6H_2O$	1,19	
$IO_3^- + 6H^+ + 6e \leftrightarrow I^- + 3H_2O$	1,08	
$Br_{2(l)} + 2e \leftrightarrow 2Br^-$	1,06	
$NO_3^- + 4H^+ + 3e \leftrightarrow NO + 2H_2O$	0,96	
$2Hg^{2+} + 2e \leftrightarrow Hg_2^{2+}$	0,90	
$ClO^- + H_2O + 2e \leftrightarrow Cl^- + 2OH^-$	0,90	
$Hg_2^{2+} + 2e \leftrightarrow Hg$	0,85	
$Ag^+ + e \leftrightarrow Ag$	0,80	
$Hg_2^{2+} + 2e \leftrightarrow 2Hg$	0,80	
$NO_3^- + 2H^+ + 1e \leftrightarrow NO_2 + H_2O$	0,78	
$Fe^{3+} + 1e \leftrightarrow Fe^{2+}$	0,77	
$O_2 + 2H^+ + 2e \leftrightarrow H_2O_2$	0,68	
$MnO_4^- + 1e \leftrightarrow MnO_4^{2-}$	0,56	
$I_2 + 2e \leftrightarrow 2I^-$	0,53	
$Cu^+ + 1e \leftrightarrow Cu$	0,52	
$Cu^{2+} + 2e \leftrightarrow Cu$	0,34	
$Cu^{2+} + 1e \leftrightarrow Cu^+$	0,16	
$Sn^{4+} + 2e \leftrightarrow Sn^{2+}$	0,15	
$2H^+ + 2e \leftrightarrow H_2$	0,00	Electrodo referencia hidrógeno Potencial 0,00V tomado arbitrariamente
$Fe^{3+} + 3e \leftrightarrow Fe$	-0,04	<p><b>ESPECIES REDUCTORAS</b> FRENTE AL ELECTRODO DE HIDRÓGENO. PRODUCEN LA REACCIÓN DE <math>2H^+ + 2e \leftrightarrow H_2</math> Y EN EL PROCESO SE OXIDAN (SEMIRREACCIÓN DE OXIDACIÓN, ÁNODO)</p>
$Pb^{2+} + 2e \leftrightarrow Pb$	-0,13	
$Sn^{2+} + 2e \leftrightarrow Sn$	-0,14	
$Ni^{2+} + 2e \leftrightarrow Ni$	-0,23	
$Co^{2+} + 2e \leftrightarrow Co$	-0,28	
$Cd^{2+} + 2e \leftrightarrow Cd$	-0,40	
$Cr^{3+} + 1e \leftrightarrow Cr^{2+}$	-0,41	
$Fe^{2+} + 2e \leftrightarrow Fe$	-0,44	
$Cr^{3+} + 3e \leftrightarrow Cr$	-0,74	
$Zn^{2+} + 2e \leftrightarrow Zn$	-0,76	
$Mn^{2+} + 2e \leftrightarrow Mn$	-1,03	
$Al^{3+} + 3e \leftrightarrow Al$	-1,67	
$Ce^{3+} + 3e \leftrightarrow Ce$	-2,33	
$Mg^{2+} + 2e \leftrightarrow Mg$	-2,37	
$Na^+ + 1e \leftrightarrow Na$	-2,71	
$Ca^{2+} + 2e \leftrightarrow Ca$	-2,76	
$Ba^{2+} + 2e \leftrightarrow Ba$	-2,90	
$K^+ + 1e \leftrightarrow K$	-2,92	
$Li^+ + 1e \leftrightarrow Li$	-3,04	

Figura 1.3 Series de potencial estándar

Las series electroquímicas o de potencial estándar son una referencia para medir el potencial de una celda electroquímica.

## 1.6 Series galvánicas

Los metales y aleaciones tienen tendencia a corroerse en diferentes ambientes. Las series galvánicas son una lista de los potenciales de los metales en un ambiente específico, son útiles para saber el comportamiento de un metal frente a otro en una celda de corrosión en determinado medio ambiente.

En las series galvánicas se ordenan a los metales del más activo (ánodo) al más noble (cátodo), a mayor diferencia de potencial entre los dos metales en la serie, mayor será la corrosión que muestre el metal más activo.

	No.	MATERIAL	VOLTAGE RANGE	RELATIVE POSITION
← LEAST NOBLE (ANODIC)	1	Magnesium	-1.60 to -1.67	
	2	Zinc	-1.00 to -1.07	
	3	Beryllium	-0.93 to -0.98	
	4	Aluminum Alloys	-0.76 to -0.99	
	5	Cadmium	-0.66 to -0.71	
	6	Mild Steel	-0.58 to -0.71	
	7	Cast Iron	-0.58 to -0.71	
	8	Low Alloy Steel	-0.56 to -0.64	
	9	Austenitic Cast Iron	-0.41 to -0.54	
	10	Aluminum Bronze	-0.31 to -0.42	
	11	Brass (Naval, Yellow, Red)	-0.31 to -0.40	
	12	Tin	-0.31 to -0.34	
	13	Copper	-0.31 to -0.40	
	14	50/50 Lead/Tin Solder	-0.29 to -0.37	
	15	Admiralty Brass	-0.24 to -0.37	
	16	Aluminum Brass	-0.24 to -0.37	
	17	Manganese Bronze	-0.24 to -0.34	
	18	Silicon Bronze	-0.24 to -0.30	
	19	Stainless Steel (410, 416)	-0.24 to -0.37 (-0.45 to -0.57)	
MOST NOBLE (CATHODIC) →	20	Nickel Silver	-0.24 to -0.30	
	21	90/10 Copper/Nickel	-0.19 to -0.27	
	22	80/20 Copper/Nickel	-0.19 to -0.24	
	23	Stainless Steel (430)	-0.20 to -0.30 (-0.45 to -0.57)	
	24	Lead	-0.17 to -0.27	
	25	70/30 Copper Nickel	-0.14 to -0.25	
	26	Nickel Aluminum Bronze	-0.12 to -0.25	
	27	Nickel Chromium Alloy 600	-0.09 to -0.15 (-0.35 to -0.48)	
	28	Nickel 200	-0.09 to -0.20	
	29	Silver	-0.09 to -0.15	
	30	Stainless Steel (302, 304, 321, 347)	-0.05 to -0.13 (-0.45 to -0.57)	
	31	Nickel Copper Alloys (400, K500)	-0.02 to -0.13	
	32	Stainless Steel (316, 317)	0.00 to -0.10 (-0.35 to -0.45)	
	33	Alloy 20 Stainless Steel	0.04 to -0.12	
	34	Nickel Iron Chromium Alloy 825	0.02 to -0.10	
	35	Titanium	0.04 to -0.12	
	36	Gold	0.20 to 0.07	
	37	Platinum	0.20 to 0.07	
	38	Graphite	0.36 to 0.19	

Figura 1.4 Serie galvánica de metales en agua de mar



## Capítulo 2: La corrosión como mecanismo de falla en ductos

---

## 2.1 Ductos de transporte

La norma de referencia de Pemex *NRF-030-PEMEX-2009 “Diseño, Construcción, Inspección y Mantenimiento de Ductos Terrestres para Transporte y Recolección de Hidrocarburos”*, define un ducto de transporte como una tubería que conduce hidrocarburos en una fase o multifase, entre estaciones y/o plantas para su proceso, en el que durante su traslado no se presenta ningún proceso físico o químico de los fluidos.

Los ductos para transporte de hidrocarburos son fabricados en su mayoría de acero, en diámetros que van desde las 4” hasta 48” pulgadas dependiendo la capacidad del mismo. Las líneas de diámetro pequeño son utilizadas como ductos de recolección que son los que transportan hidrocarburos desde las zonas de producción (pozos) hasta las plantas de separación y almacenamiento. De estas instalaciones salen ductos con diámetros más grandes que son las líneas de transporte y distribución, las cuales cuentan con grandes longitudes y mueven los hidrocarburos por todo el país, desde las áreas de producción a refinerías y complejos petroquímicos, y posteriormente a las áreas de utilización o distribución final de los productos.

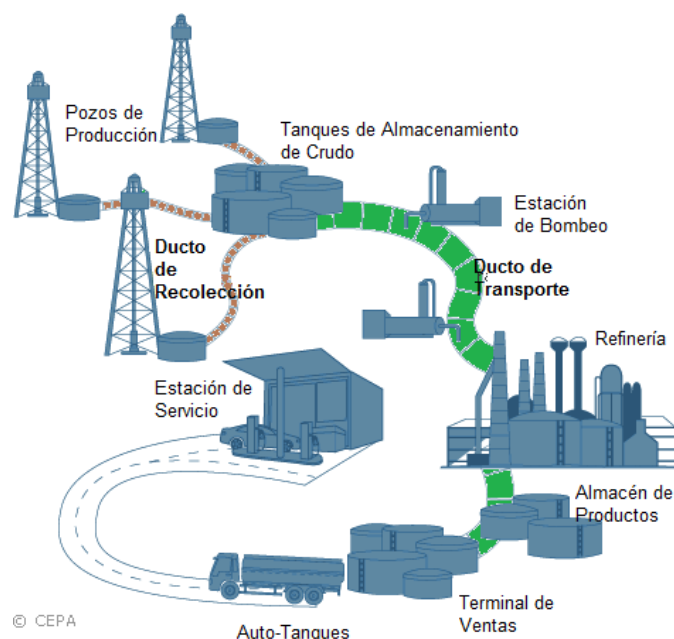


Figura 2.1 Transporte de hidrocarburos por ducto

Los fluidos transportados por ducto se clasifican de acuerdo al peligro potencial que representa el fluido que se mueve por el ducto de acuerdo con la siguiente tabla:

**Tabla 2.1 Clasificación de fluidos transportados por ductos**

Categoría	Descripción	Ejemplo
<b>A</b>	Fluidos no inflamables, no tóxicos y estables que se mantienen en forma líquida a temperatura ambiente y a 50 kPa por encima de la presión atmosférica; y con una presión de vapor menor a 150 kPa a temperatura ambiente	Agua, lodos
<b>B</b>	Fluidos inflamables, inestables o tóxicos que se mantienen en forma líquida a temperatura ambiente y a 50 kPa por encima de la presión atmosférica; y con una presión de vapor mayor a 150 kPa a temperatura ambiente	Petróleo crudo estabilizado, gasóleo
<b>C</b>	Fluidos no inflamables, no tóxicos y estables que se mantienen en forma gaseosa o en mezcla gas-líquido a temperatura ambiente y a 50 kPa por encima de la presión atmosférica; y con una presión de vapor mayor a 150 kPa a temperatura ambiente	Nitrógeno, dióxido de carbono
<b>D</b>	Fluidos inflamables, inestables o tóxicos que se mantienen en forma gaseosa o en mezcla gas-líquido 50 kPa por encima de la presión atmosférica; y con una presión de vapor mayor a 150 kPa a temperatura ambiente	Gas natural, LPG, amoniaco

## 2.2 Amenazas a los ductos de transporte

El transporte por ducto es la forma más barata, segura y eficiente de transporte de hidrocarburos frente a otras formas de transporte como auto-tanques y ferrocarriles, sin embargo debido a la naturaleza del trazo y la longitud del mismo, los ductos se encuentran sujetos a distintas amenazas a lo largo de todo su trayecto. Estas amenazas ponen en riesgo su integridad y pueden causar fallas.

La norma oficial mexicana *NOM-027-SESH-2010 "Administración de la Integridad de Ductos de Recolección y Transporte de Hidrocarburos"* identifica nueve amenazas a los ductos de transporte de hidrocarburos.

### Amenazas dependientes del tiempo

*Corrosión externa:* Falla debido a la interacción química de la pared externa del ducto con el ambiente que lo rodea (tipo de suelo, agua, bacterias, etc.) que si no es tratada adecuadamente puede ocasionar una ruptura y fuga de producto

*Corrosión interna:* Falla debido a la interacción química de la pared interna del ducto con el producto que transporta. Generalmente es causada por impurezas contenidas en el producto transportado, al igual que la corrosión externa puede causar una ruptura y fuga

*Stress Corrosion Cracking (SCC):* También llamada agrietamiento por corrosión bajo esfuerzos, se da por la acción combinada de ataques localizados de corrosión y tensiones a las que se encuentra sujeto el metal. Se forman pequeñas grietas debido a la corrosión que posteriormente se propagan en dirección perpendicular al esfuerzo de tensión sobre el material.

### Amenazas no dependientes del tiempo

*Daños por terceras partes:* Daño a los ductos ocasionado por personas ajenas a la empresa que opera el ducto, engloba golpes y perforaciones accidentales al ducto, vandalismo, sabotaje y tomas clandestinas.

*Operaciones incorrectas:* Daño ocasionado por el personal operario del ducto, que puede incluir errores de operación, personal mal capacitado, aplicación incorrecta de procedimientos o baja calidad de los mismos.

*Clima y fuerzas externas:* Daño ocasionado a los ductos por eventos naturales como sismos, tormentas eléctricas, lluvias torrenciales, inundaciones, desbordamientos, deslaves, entre otros.

### Amenazas estables

*Defectos de fabricación:* Fallas ocasionados por defectos en la fabricación del ducto como, defectos en el metal base, fallos en la costura longitudinal.

*Defectos de construcción:* Fallas debido a defectos en la construcción del ducto como soldadura circunferencial defectuosa, mal alineación del ducto, doblez por flexión o pandeo del ducto.

*Equipo:* Falla en el ducto ocasionada por fallos en el equipo de operación como bombas, compresores, válvulas, empaques, sistema de seguridad etc.

Debido a esto es necesario que en el diseño de ductos se contemplen las amenazas a las que estará expuesto el ducto, considerando factores como:

- Características físicas y químicas del fluido a transportar
  - Condiciones de operación en el ducto
  - Condiciones geográficas de la localización del ducto
  - Condiciones medio ambientales a las que se encontrará expuesto el ducto
  - Requerimientos de seguridad
  - Sistemas de monitoreo de la condición del ducto
- Sistemas de mantenimiento al ducto

### **2.3 Amenazas por corrosión a los ductos**

Los ductos de transporte son contruidos de acero, por lo que la corrosión es una amenaza siempre presente. Las amenazas por corrosión identificadas en la NOM – 027 solo son tres: corrosión externa, corrosión interna y el stress corrosion cracking (SCC). Los tres tipos se dan bajo el mismo principio, la aparición de una celda de corrosión que propicia perdida de metal, afectando la pared interna y externa del ducto y en caso del SCC con la formación de grietas en la pared del ducto.

La corrosión externa es una amenaza a la que todos los ductos de transporte se encuentran sujetos ya sean sumergidos, enterrados o aéreos, ya que la pared externa del ducto casi siempre está expuesta a un electrolito ya sea agua, humedad en el ambiente o el mismo suelo. Generalmente los ductos son protegidos con recubrimientos y sistemas de protección catódica que inhiben la

corrosión de la pared externa del ducto, sin embargo si alguna protección falla el ducto se corroe. Es por esto que la corrosión externa es la amenaza que más afecta a un ducto de transporte y por lo tanto es la amenaza que se analizará en este trabajo.

## 2.4 Corrosión externa en ductos

La corrosión metálica es la degradación de un metal por reacción química con el ambiente que lo rodea en presencia de un electrolito. Esta inicia con la formación de una celda de corrosión que consiste en la presencia de un ánodo, un cátodo, un electrolito y un conductor metálico.

En el caso de los ductos la corrosión se genera por la aparición de zonas anódicas y catódicas a lo largo de la pared del ducto. Las tuberías de acero debido al proceso de fabricación y calidad del material (nivel de impurezas disueltas) presentan una configuración granulada. Lo que causa que cada uno de estos granos se comporte como un electrodo, dando paso a la formación de las zonas anódicas y catódicas. (27)

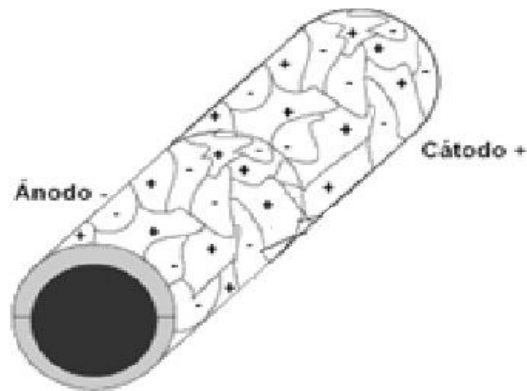


Figura 2.2 Formación de zonas anódicas y catódicas

Como los ductos pueden ser aéreos, sumergidos o enterrados, el electrolito puede ser el suelo, el ambiente atmosférico, aguas subterráneas, superficiales entre otros y el paso metálico es el ducto mismo.

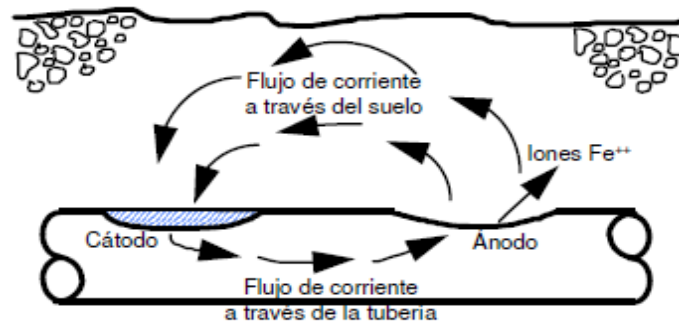


Figura 2.3 Celda de corrosión externa en un ducto

La velocidad con la que el ducto sufre corrosión dependerá del ambiente al que se encuentra expuesto el ducto y las acciones de mitigación que se hayan tomado.

## 2.5 Corrosión en suelos

La corrosión en suelos es un problema de gran importancia sobre todo cuando la estructura enterrada envejece debido a que el recubrimiento se deteriora y el metal puede quedar expuesto. Una gran porción de fallas presentadas en ductos se da por corrosión externa en tuberías enterradas.

El suelo es una mezcla de minerales, materia orgánica, agua y gases (principalmente aire). Las propiedades y características del suelo pueden variar en función del tipo de suelo, la profundidad del mismo, el clima en el que se encuentra. Puede contener materiales sólidos como arena, sedimentos, barro, arcillas, tierra negra, rocas o una mezcla de estos componentes.

La corrosión en suelos es un fenómeno complejo que involucra una multitud de variables ya que el suelo puede variar mucho en grandes y cortas distancias, las condiciones del suelo a lo largo del año pueden cambiar. A mayor variación de las propiedades y características del suelo mayor es el impacto en las estructuras enterradas.

Los parámetros que afectan la corrosividad del suelo son:

Uniformidad del suelo: Se relaciona con el tamaño de grano y su distribución, retención de humedad y aireación. Si en un suelo no se tiene una distribución uniforme de tamaños de partícula, se puede crear una celda de corrosión debido al cambio de ambiente.

pH: Los suelos que tienen un rango de pH de 5.5 a 8 se consideran neutros. Los suelos ácidos con valores de pH menores a 5.5 son producidos por descomposición de plantas, desperdicios industriales, lluvia ácida y ciertos tipos de actividad microbiológica. Un pH ácido aumenta la corrosividad del suelo, existe un deterioro del recubrimiento protector y una rápida corrosión del metal desnudo. Los suelos alcalinos tienden a tener un alto contenido de sodio, potasio, magnesio y calcio. En estos suelos existe una relación entre conductividad y agresividad.

Humedad: El contenido de humedad puede variar de 1% a condiciones de saturación como en pantanos. La humedad provee el electrolito esencial para que se lleve a cabo el proceso de corrosión. Las sales en presencia de humedad pueden tener dos efectos. Uno es proveer iones corrosivos que se involucran directamente en las reacciones de corrosión, y afectar las películas protectoras que se forman en la superficie metálica. El otro efecto es incrementar la conductividad eléctrica del suelo.

Grado de aireación: La cantidad de oxígeno en el suelo afecta la corrosión de muchos materiales. Una mayor aireación incrementa la velocidad de corrosión en aceros. Una baja aireación provoca un suelo muy agresivo debido a la actividad de bacterias anaerobias.

Corrosión influenciada por bacterias: La presencia y actividad de microorganismos tiene un papel importante en la corrosividad del suelo. Las bacterias aeróbicas producen ácidos minerales corrosivos, mientras las bacterias anaeróbicas, principalmente las sulfato-reductoras producen sustancias altamente corrosivas como parte de su metabolismo.



**Resistividad del suelo:** La resistividad es la fuerza que opone un material al paso de una corriente eléctrica, es medida en ohm – cm. La resistividad es usada como un amplio indicador de la corrosividad del suelo. Ésta se ve afectada por el contenido de humedad y concentración de especies iónicas en el suelo, por lo que la resistividad a menudo es una medida indirecta del contenido de estos parámetros en el suelo. Un suelo con baja resistividad suele ser muy corrosivo, sin embargo un suelo con alta resistividad no garantiza la ausencia de corrosión. Las variaciones de resistividad del suelo a lo largo de un ducto puede crear macro celdas de corrosión.

**Tabla 2.2 Rangos de corrosividad basados en la resistividad del suelo**

Resistividad del suelo, $\Omega$ -cm	Grado de corrosividad
> 20,000	Esencialmente no corrosivo
10,000 – 20,000	Ligeramente corrosivo
5000 – 10,000	Moderadamente corrosivo
3000 - 5000	Corrosivo
1000 - 3000	Altamente corrosivo
< 1000	Demasiado corrosivo

Los suelos se pueden clasificar de acuerdo a sus propiedades físicas, composición química y su resistividad, en la siguiente tabla se muestra una clasificación general:

**Tabla 2.3 Clasificación de suelos de acuerdo a su composición**

Tipo de Suelo	Propiedades Físicas	Composición química (Principales componentes y contaminantes)	Resistividad ( $\Omega$ -cm)
<b>Arena</b>	Tamaño de Partícula: Fina: 0.02/0.06 mm Media: 0.06/0.2 mm Gruesa:0.2/0.6 mm Buen drenaje	SiO <sub>2</sub>	10,000 a 50,000
<b>Grava</b>	Tamaño de Partícula: Fina: 2/6 mm Media: 6/20 mm Gruesa:20/60 mm Excelente drenaje	SiO <sub>2</sub>	20,000 a 400,000
<b>Marga</b>	Mezcla Plástica Alta Humedad	SiO <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Especies Disueltas H <sup>+</sup> , Cl <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	3,000 a 20,000
<b>Arcilla</b>	Mezcla muy Plástica Alta Humedad	SiO <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Especies Disueltas H <sup>+</sup> , Cl <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	500 a 2,000
<b>Limo</b>	Arcilla Gruesa Alta Humedad	SiO <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Especies Disueltas H <sup>+</sup> , Cl <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	1,000 a 2,000

A medida que incremente el grado de humedad y las especies disueltas, incrementa el grado de corrosividad del suelo.

Los suelos artificiales formados por escorias, basuras, elementos en putrefacción, residuos humanos e industriales también son agresivos.

## 2.6 Tipos de corrosión externa en ductos

Lo forma en que se presente la corrosión externa en los ductos depende del ambiente y la zona a la que el tubo este expuesto. Los tipos de corrosión externa más comunes en ductos son la corrosión selectiva de la costura ERW, corrosión externa axial angosta, corrosión influenciada microbiológicamente (MIC), corrosión galvánica, corrosión bajo esfuerzo (SCC), corrosión por corrientes parásitas o erráticas y corrosión por aireación diferencial.

### Corrosión selectiva de la costura ERW

Este tipo de corrosión se presenta cuando el ducto experimenta pérdida de metal causada por corrosión a través de la costura ERW (soldadura por resistencia eléctrica). El medio corrosivo ataca la región de enlace de la costura a mayor velocidad que el metal alrededor. Este ataque da como resultado una hendidura en forma de V o una ranura dentro de la línea de enlace. La corrosión selectiva de costura crea un defecto grave, más propenso a causar una ruptura del ducto.(28)



Figura 2.4 Corrosión selectiva de la costura

### Corrosión externa axial angosta

Esta suele ocurrir en las zonas afectadas por el calor de las soldaduras circunferenciales entre tubos y de las costuras longitudinales de soldadura de doble arco sumergido que son cubiertas con cinta de polietileno. La cinta, debido a la protuberancia o sobre-espesor del cordón de soldadura, deja un espacio entre el límite del metal de soldadura y el metal base que, al quedar con oxígeno atrapado, promueve el ataque de esta zona propensa a la corrosión. El efecto resultante es una ranura la cual facilita la rotura del ducto en forma axial bajo presión, o corte y desprendimiento entre tubos bajo esfuerzos de flexión.

### Corrosión influenciada microbiológicamente (MIC)

Las bacterias se encuentran esencialmente en todos los suelos y aguas, las dos categorías básicas de bacterias son aeróbicas y anaeróbicas. Ambos tipos pueden estar en el mismo ambiente dependiendo de la humedad, temperatura, suplemento de nutrientes, etc. Los dos tipos pueden causar corrosión externa en el ducto.



Figura 2.5 Corrosión MIC

Las bacterias no atacan directamente al metal, pero crean cambios en el electrolito que incrementan la actividad de corrosión.

Las bacterias anaeróbicas consumen hidrógeno lo que destruye la polarización de la película de pasivación en estructuras protegidas catódicamente e incrementa el requisito de corriente para protección. Además son sulfato-reductoras, convierten los sulfuros en ácido sulfúrico lo que propicia un ataque a la estructura metálica del ducto.

Las bacterias aeróbicas pueden formar varios ácidos orgánicos dependiendo del tipo de bacteria y material orgánico disponible. Cuando las bacterias producen dióxido de carbono este se combina con el agua disponible para formar ácido carbónico y componentes de amonio, los cuales se oxidan a ácido nítrico y nitroso. También atacan algunos materiales de recubrimiento de ductos, hechos de materiales orgánicos, que les sirven como fuente de alimento.

La corrosión bacteriana consiste en picaduras o cárcavas, que terminan por generar fugas o rupturas del ducto.(28)

### Corrosión galvánica

La corrosión galvánica ocurre cuando dos metales de diferente composición son puestos en contacto directo y sumergidos en un electrolito común. Un mismo metal puede tener áreas catódicas y anódicas, debido a impurezas presentes en el mismo.

Este tipo de corrosión se presenta en el ducto cuando diferentes aleaciones se ponen en contacto, debido a metales diferentes usados para soldar el ducto, cuando se hacen remplazos por mantenimiento, donde el ducto nuevo se comporta como ánodo.

Los suelos disimiles en composición química o cambios importantes en su resistividad promueven la corrosión galvánica. (15)



Figura 2.6 Corrosión galvánica

### Corrosión bajo esfuerzo (SCC)

Esta es una forma de agrietamiento ayudado ambientalmente, en la cual pequeñas grietas se alargan y se profundizan lentamente en un periodo de tiempo. La SCC puede estar presente en un ducto por muchos años sin causar problemas, pero una vez que una grieta se vuelve lo suficientemente grande puede ocurrir una fuga o ruptura. Entre los factores que influyen la corrosión se encuentra la edad del ducto, la composición química del electrolito, el tipo de recubrimiento, los

niveles y las condiciones del sistema de protección catódica, los esfuerzos del suelo, el tipo de drenaje, y el grado de los ciclos de presión.



Figura 2.8 Condiciones de SCC



Figura 2.7 Grietas por SCC

Se deben presentar tres condiciones para que ocurra:

*Material susceptible:* debido a la composición, tratamiento térmico, microestructura y condición de la superficie algunos materiales son más propensos a sufrir este tipo de corrosión. Todos los aceros comúnmente usados en ductos son susceptibles.

*Ambiente corrosivo:* la corrosión bajo esfuerzo puede darse en casi todos los tipos de suelos, formas específicas están asociadas a suelos con condiciones alternantes húmedas y secas, y aquellos que tienden a dañar o despegar los recubrimientos.

*Nivel de esfuerzo:* Pueden ocurrir niveles de esfuerzo conductivos en discontinuidades estructurales locales. Alguna cantidad de esfuerzo cíclico puede promover el crecimiento de la corrosión al romper la capa de óxido que se forma en la superficie de la grieta, re- exponiendo la grieta al ambiente. Las cargas cíclicas son un factor importante en la iniciación de SSC. (28)

### Corrosión por corrientes parásitas o erráticas

Este tipo de corrosión se da usualmente en forma de picaduras, es causada por la influencia de fuentes externas de corrientes eléctricas de tipo alterno o continuo, como las generadas por los movimientos telúricos, las líneas de media y alta tensión, y por fuentes de corriente continua, como los producidos por sistemas de protección catódica de estructuras foráneas, y sistemas de transporte como metros o trenes eléctricos.

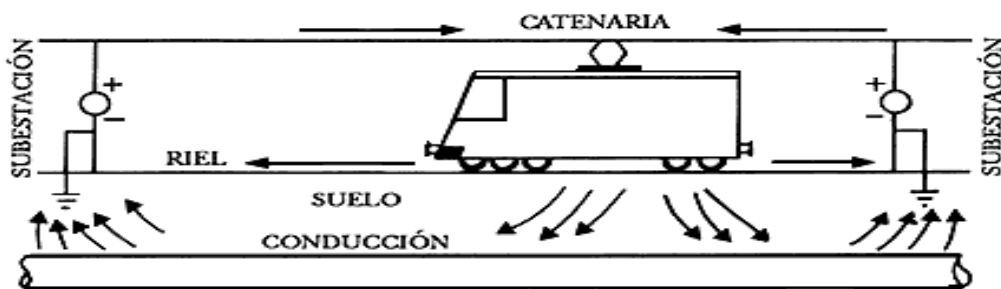


Figura 2.9 Corrosión por corrientes parásitas

### Corrosión por aireación diferencial

Se presenta en los tramos de ducto donde hay diferencias de concentración de oxígeno, lo que provoca una diferencia de potencial entre los electrodos, y por lo tanto, la formación de una pila de aireación diferencial. La corrosión ocurre en los sitios de menor concentración de oxígeno.





Figura 2.10 Celda de aireación diferencial

La corrosión se forma por lo general en un área específica o debajo de depósitos de herrumbre donde existe un empobrecimiento localizado del oxígeno disuelto. Cuando se ha consumido el oxígeno dentro del área, ocurre la oxidación, los electrones se desplazan a través del metal hasta la región externa. Algunas aleaciones que se pasivan son susceptibles de presentar corrosión por aireación diferencial. (15)

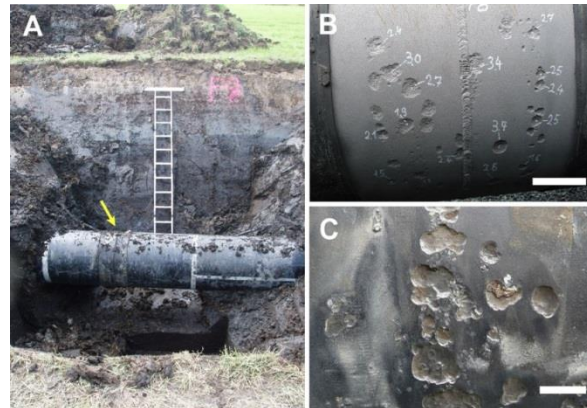


Figura 2.11 Picaduras por aireación diferencial

La corrosión en ductos generalmente presenta la combinación de dos o más tipos de corrosión.



## Capítulo 3: Prevención, detección y mitigación de la corrosión externa en ductos

---

### **3.1 Prevención, detección y reparación de la corrosión externa en ductos**

La corrosión es un fenómeno complejo en el que intervienen distintas variables. Cualquier cambio que se presente alrededor de un ducto puede propiciar corrosión, de ahí que no existe un método general para detener la corrosión.

La evaluación de la corrosión externa y en general de las condiciones físicas de un ducto es fundamental, ya que permite al operador conocer el estado del ducto y hacer una toma de decisiones que permitan implementar acciones de prevención y mitigación de riesgos para garantizar la seguridad y una operación confiable del ducto.

La corrosión no se puede evitar, pero aplicando métodos de prevención, detección y reparación se puede controlar este fenómeno aumentando la vida útil del equipo y reduciendo los riesgos de falla por esta amenaza.

### **3.2 Métodos de prevención**

#### **3.2.1 Especificaciones de diseño**

En la fase de diseño de un ducto se deben de tomar en cuenta los parámetros que pueden producir corrosión sobre el ducto, tales como:

- Evitar el diseño de uniones de materiales distintos en la serie galvánica.
- Conocer los parámetros a los cuales se expondrá la pieza.
- Evitar hendiduras así como áreas donde se puedan acumular materiales sólidos, líquidos y gaseosos.
- En el caso que el material seleccionado necesite algún tipo de recubrimiento que evite su corrosión, la pieza se ha de diseñar de tal forma que no contenga zonas o áreas inaccesibles así como ángulos vivos (doblez recto que puede originar el agrietado del material por la parte exterior del dobléz)
- Reducir las tensiones mecánicas.
- En uniones permanentes utilizar soldaduras. (29)

- En uniones atornilladas entre metales distintos, interponer arandelas y juntas aislantes.
- Definición de las tolerancias de corrosión así como los requerimientos.
- Evitar zonas o puntos con concentraciones de esfuerzos importantes, para prevenir la ruptura por corrosión bajo tensión.
- Prever los dispositivos adecuados y sistemas de seguridad que permitan controlar los niveles de corrosión existentes. (15)

### **3.2.2 Recubrimientos**

Los recubrimientos proporcionan protección a los ductos enterrados o sumergidos contra la corrosión externa, su función es hacer un efecto barrera entre el medio o ambiente corrosivo y la superficie externa del ducto. Los recubrimientos deben ser correctamente seleccionados y aplicados. Las características que deben tener los recubrimientos son:

- Aislamiento eléctrico eficaz.
- Barrera eficaz contra la humedad.
- Buena adherencia a la superficie del ducto.
- Aplicable por un método que no afecte adversamente las propiedades del material.
- Aplicable con un mínimo de defectos.
- Capacidad para resistir las condiciones climáticas a las que estará expuesto.
- Capacidad para resistir daños durante el manejo, almacenamiento e instalación.
- Capacidad para mantener una resistividad sustancialmente constante con el tiempo.
- Resistente a las condiciones de operación del ducto (presión, temperatura).
- Resistencia al desprendimiento.

- Resistencia a la degradación química.
- Facilidad de reparación. (8)

### Tipos de recubrimientos

Los recubrimientos se separan en tres: metálicos, inorgánicos y orgánicos.

*Recubrimientos metálicos:* se aplican capas finas del metal que puedan servir como ánodos de sacrificio, es decir que sean corroídos en lugar del ducto.

*Recubrimientos inorgánicos:* estos proporcionan acabados terrosos y duraderos.

*Recubrimientos orgánicos:* estos materiales proveen barreras finas y tenaces para proteger el sustrato metálico. (16)

### Recubrimientos para ductos enterrados

Los recubrimientos utilizados en ductos enterrados son los siguientes:

*Recubrimientos epoxi líquidos y fenólicos.* Estos se utilizan principalmente en tubos de mayor diámetro cuando los sistemas convencionales no están disponibles o cuando pueden ofrecer una mejor resistencia a las temperaturas de operación en el rango de 95 °C (200 °F).

*Recubrimientos de plástico extruido.* Se dividen en dos categorías en base al método de extrusión, que son el troquel o matriz circular, y la extrusión lateral o matriz en forma de T. Estos pueden tener variaciones dependiendo del tipo de adhesivos adicionados (mezcla de asfalto-caucho, copolímero de polietileno, adhesivo de caucho de butilo y mezcla de caucho de poliolefina). Cada tipo o variación de adhesivo y método de extrusión ofrece diferentes características.

*Revestimientos epoxi unidos por fusión (FBE).* El recubrimiento se suministra en forma de polvo y, a excepción de las juntas de campo soldadas, se aplica a tubería precalentada, secciones especiales, conexiones y accesorios.

Actualmente son los recubrimientos más utilizados para nuevas instalaciones de tuberías de gran diámetro. El revestimiento se aplica a un espesor mínimo de 0,3 mm. (8)

*Cinta.* Se aplican como un sistema de tres capas que consiste en un cebador, una cinta anticorrosiva (capa interna) y una cinta de protección mecánica (capa exterior). La función del cebador es proporcionar un medio de unión entre la superficie del tubo y el adhesivo o sellador sobre la capa interna. La cinta de capa interna es el recubrimiento protector contra la corrosión. La cinta de capa externa proporciona protección mecánica a la cinta de capa interna y es resistente a los elementos durante el almacenamiento al aire libre. El sistema de múltiples capas permite que el espesor del revestimiento sea diseñado específicamente para cumplir con condiciones ambientales específicas.

*Revestimiento poliolefina de tres capas.* Es una forma de combinar la excelente adhesión de FBE con la resistencia al daño de polietileno extruido y envolturas de cinta. Estos sistemas consisten en un cebador FEB, una capa de copolímero intermedio y una capa superior que consta de polietileno o polipropileno. La función del copolímero intermedio es unir el cebador FBE con la capa superior de poliolefina.

*Revestimientos de cera.* Los revestimientos de cera microcristalinos se usan generalmente con una envoltura protectora. La cera sirve para impermeabilizar la tubería, y la envoltura protege el recubrimiento de cera del contacto con el suelo y proporciona cierta protección mecánica. (8)

#### Requerimientos para la aplicación de los recubrimientos

1. La superficie del ducto deberá hallarse libre de herrumbre, costras, humedad, suciedad, aceites, lacas y barnices.

2. La superficie se deberá inspeccionar para verificar que no hayan irregularidades que pudieran sobresalir a través del recubrimiento. Tales irregularidades se deben eliminar.
3. El revestimiento deberá ser aplicado de manera que se asegure su efectiva adherencia a la tubería.
4. Evitar sitios sin revestir, arrugas, puntos sin revestir (descansos) y el atrapamiento de gas.
5. El revestimiento deberá ser inspeccionado visualmente para verificar que no hayan defectos antes de que la tubería sea bajada a la zanja.
6. Los defectos de revestimiento o daños que pudieran impedir el control efectivo de la corrosión, deberán ser reparados antes de que la tubería se instale en la zanja.
7. Se deberá tener cuidado al manejar, almacenar, e instalar la tubería, para evitar dañar el revestimiento.

### **3.2.3 Protección catódica**

La protección catódica es la protección de un metal mediante la aplicación de una corriente directa ya sea mediante la conexión de la estructura a proteger con un metal más electronegativo o mediante la adición de corriente directa por medio de un rectificador. Con un sistema de protección catódica se eliminan las celdas de corrosión que actúan sobre la estructura a proteger y se crea una nueva celda de corrosión en la que la estructura a proteger actúa como cátodo, evitando la corrosión.

El objetivo principal de la protección catódica es proteger al ducto en los lugares donde el recubrimiento ha fallado, actuando como segunda línea de defensa contra la corrosión externa.

El equipo básico de un sistema de protección catódica se compone de:

- Ánodos galvánicos o de corriente impresa.
- Cajas de conexión donde los múltiples ánodos se unen.

- Estaciones de medición para acceso eléctrico a las estructuras protegidas catódicamente.
- Resistencias para medir la corriente por la aplicación de la ley de Ohm.
- Voltímetro de alta impedancia.
- Celda de referencia, usualmente Cu/CuSO<sub>4</sub>.
- Cable conductor (11).

Existen dos tipos de sistemas de protección catódica, ánodos de sacrificio y corriente impresa.

### Protección catódica por ánodos de sacrificio

Este tipo utiliza el principio de las series galvánicas. Consiste en conectar un ánodo hecho de un metal más activo a la estructura a proteger con el propósito de que ésta se vuelva el cátodo, desplazando la corrosión hacia los ánodos de sacrificio. La protección por ánodos de sacrificio es utilizada cuando los requerimientos de protección son bajos. Usualmente se utiliza cuando la estructura a proteger se encuentra correctamente aislada y recubierta, en estructuras al aire libre o en ambientes de baja resistividad. Para estructuras enterradas los ánodos de sacrificio son hechos de zinc o magnesio.

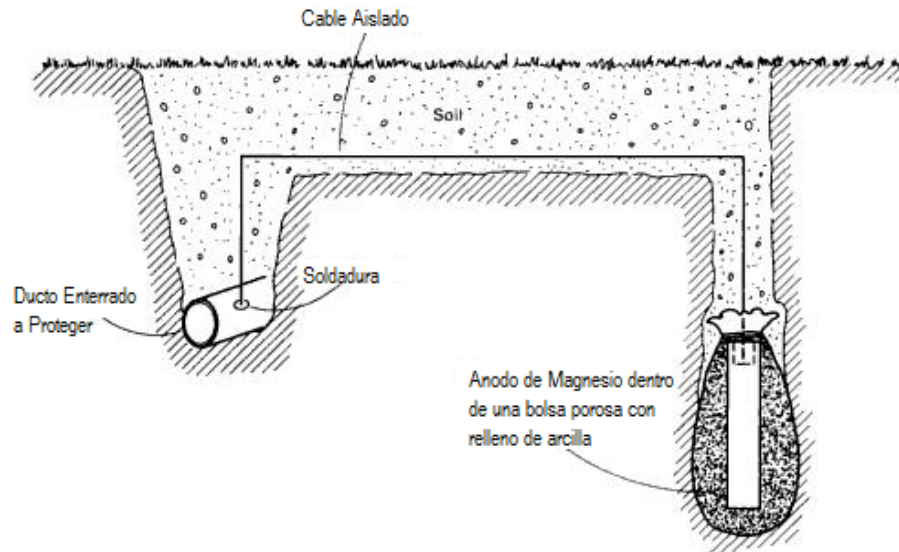


Figura 3.1 Esquema de un sistema de protección catódica por ánodos de sacrificio

### Protección catódica por corriente impresa

Este sistema provee la corriente de protección mediante una fuente de energía externa. Un dispositivo llamado rectificador transforma la corriente alterna de la fuente de energía en corriente directa de bajo voltaje. La corriente es entregada a los ánodos, hechos de un material con una tasa de degradación baja. Los ánodos son utilizados únicamente para introducir la corriente de protección en el electrolito. Los ánodos generalmente son hechos de grafito, titanio, plomo-plata y chatarra de hierro.

Los sistemas de protección catódica por corriente impresa son utilizados cuando los requerimientos de corriente son altos. Este sistema es el método más usado para proteger a los ductos de transporte, ya que puede proteger al ducto incluso si éste no está bien recubierto o aislado.

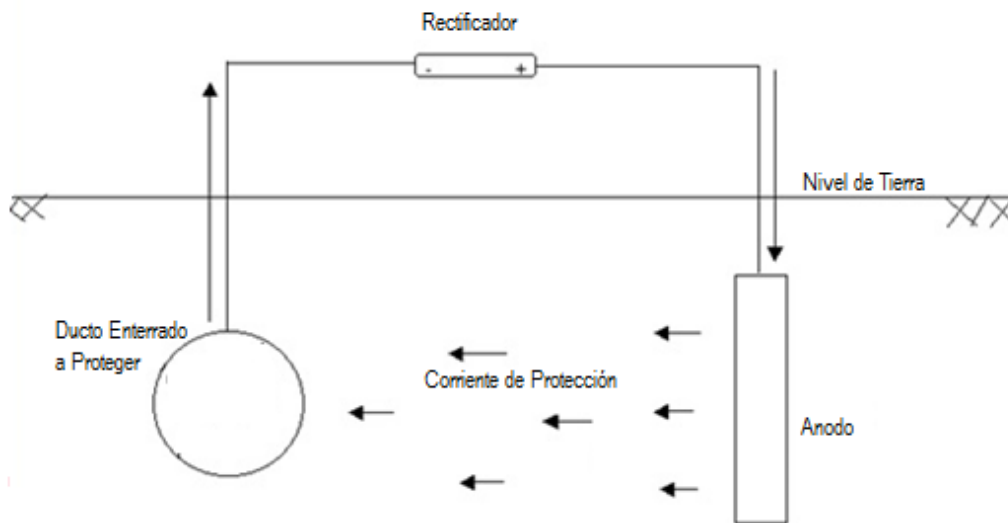


Figura 3.2 Esquema de un sistema de protección catódica por corriente impresa



A continuación se presenta una tabla con las principales ventajas y desventajas de cada tipo de protección catódica.

**Tabla 3.1 Comparación de los sistemas de protección catódica**

Sistema PC por ánodos de sacrificio		Sistema PC por corriente impresa	
Ventajas	Desventajas	Ventajas	Desventajas
<b>No se requiere fuente de energía externa</b>	Corriente de salida limitada	Posibilidad de ajustar la corriente de salida	Se requiere una fuente de energía externa
<b>Requerimiento de inspección y mantenimiento bajo</b>	Necesidad de un buen recubrimiento y aislamiento eléctrico del ducto	Aplicable a estructuras sin recubrimiento o con daños en el mismo	Necesidad de inspecciones, registro de datos y mantenimiento altos
<b>Instalación relativamente fácil</b>	El gasto en ánodos puede ser alto	El gasto en ánodos galvánicos es bajo	Se requiere contratación de personal experimentado para su instalación

Los sistemas de protección catódica deben cumplir con criterios para lograr una protección adecuada del ducto. La norma de referencia *NRF-047-PEMEX-2014 Diseño, Instalación y Mantenimiento de los Sistemas de Protección Catódica*, indica los siguientes criterios:

- a) *Para ductos o estructuras enterradas*: Se debe tener un potencial estructura-electrolito medido en la superficie del terreno con respecto a un electrodo de referencia Cu/CuSO<sub>4</sub>, cuyo valor debe ser igual o más negativo que -0.850 V y no más negativo que - 1.2 V.
- b) *Para ductos marinos con ánodos galvánicos de aluminio*: Un potencial estructura-electrolito igual o más negativo que -0.8 V cuando están inmersos en agua de mar o un valor más negativo que -0.9 V cuando están enterradas en lecho marino en presencia de bacterias sulfato reductoras (BSR) y/o temperaturas mayores de 60°C. Este potencial se debe medir con un electrodo de referencia Ag/AgCl.
- c) *Ductos o estructuras en suelo anaerobio en presencia de BSR y/o de otro tipo asociado a corrosión*: Un potencial estructura-electrolito con valor igual o más negativo que -0.95 V y no más negativo que -1.2 V para evitar daños

en el recubrimiento. Medido con respecto a un electrodo de referencia Cu/CuSO<sub>4</sub>.

- d) *Ductos o estructuras en suelos de alta resistividad*: Un potencial estructura-electrolito determinado en función de la resistividad del electrolito donde se ubican, conforme a los siguientes valores:

Tabla 3.2 Criterios para suelos de alta resistividad

Potencial (V) vs electrodo Cu/CuSO <sub>4</sub>	Resistividad del suelo (ρ) en Ω-cm
Igual o más negativo que -0.75	10000 < ρ < 1000
Igual o más negativo que -0.65	ρ >= 1000

### 3.2.4 Medidas de control de fugas

Las válvulas de seccionamiento son la principal medida de control de fugas en un ducto de transporte de hidrocarburos. Las válvulas de seccionamiento limitan el riesgo y daño ocasionado por la rotura del ducto, éstas deben proporcionar un sello seguro en ambos extremos del ducto, así como facilitar el mantenimiento del sistema. Las válvulas deben ser instaladas en lugares de fácil acceso y ser protegidas de daños o alteraciones (27).

Las válvulas de seccionamiento se deben instalar preferentemente en:

- En cada conexión ramal al ducto principal, de manera que su ubicación sea lo más cercano a ésta.
- Antes y después de cruces con ríos, lagos, o lagunas.
- Antes y después del cruce con fuentes de abastecimiento de agua para consumo humano.
- Si el ducto transporta líquidos con pendientes pronunciadas, y cerca de centros de población, debe prevenirse el desalojo del contenido del ducto en caso de fuga, considerando la instalación de válvulas de retención antes de la válvula de seccionamiento más próxima o

considerar la instalación de un mayor número de válvulas de seccionamiento.

Para ductos de transporte de líquidos en áreas industriales, comerciales o residenciales, la máxima separación debe ser de 12 Km (27).

### 3.3 Métodos de detección

#### 3.3.1 Inspecciones ILI

Las inspecciones internas ILI (In-line Inspection) conocidas en México como corridas de diablo, son un método de inspección no destructivo utilizado para conocer el estado físico de la pared de un ducto. Una inspección interna puede proveer información sobre el espesor de pared del ducto, defectos en la pared del ducto por corrosión y grietas, laminaciones y defectos en soldaduras.

Los diablos instrumentados son dispositivos con una serie de diferentes sensores que detectan y caracterizan los defectos por corrosión y SCC en las paredes interna y externa del ducto.

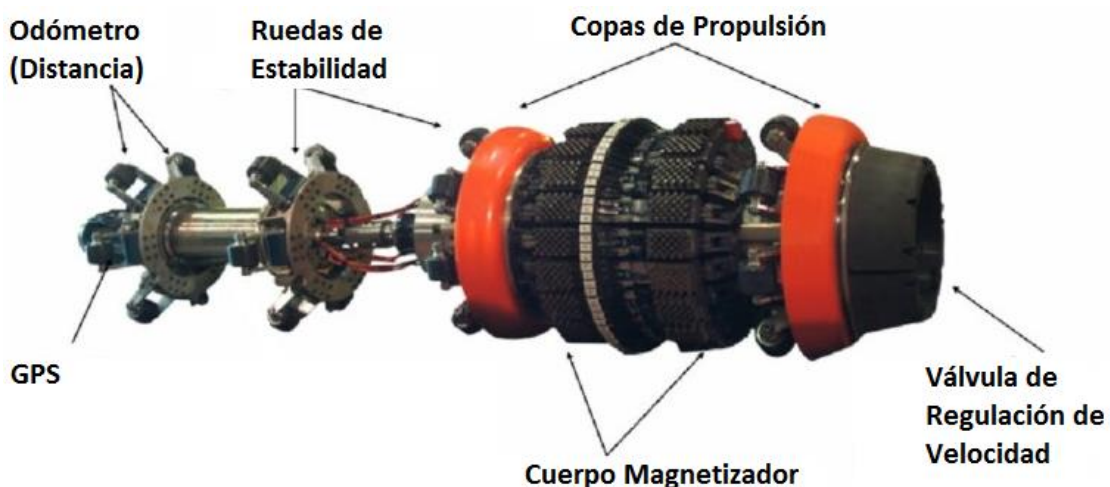


Figura 3.3 Partes de un diablo instrumentado MFL

Existen dos tipos de tecnología para determinar la pérdida de metal en un ducto:

### Fuga de flujo magnético (MFL- Magnetic Flux Leakage)

La tecnología de fuga de flujo magnético identifica y mide las pérdidas de metal en el ducto mediante la aplicación de un campo magnético. A medida que el diablo instrumentado pasa por la tubería, este induce un flujo magnético hacia la pared del ducto. Si la pared del ducto es homogénea, se crea una distribución homogénea del flujo magnético. Si se presenta una alteración en la distribución del flujo, se indica una fuga del flujo. Los sensores en el diablo detectan y miden la cantidad y distribución de la fuga. Las señales son procesadas para su posterior análisis. Las fugas presentadas durante la inspección son asociadas con anomalías por pérdida de metal en la pared del ducto (11).

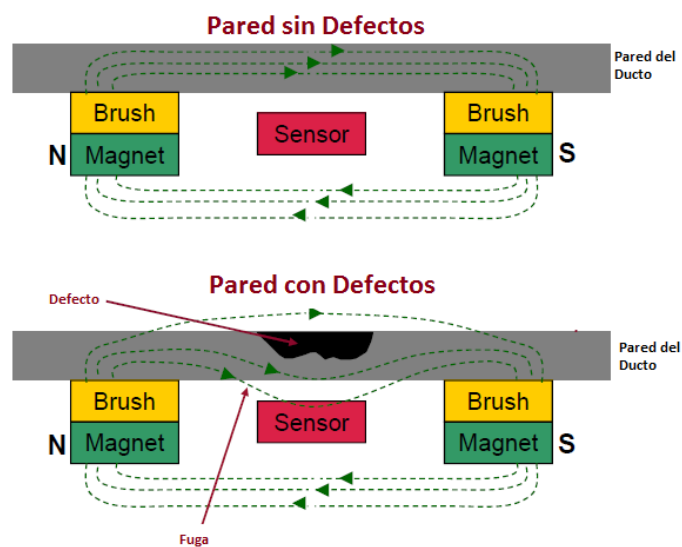


Figura 3.4 Operación de MFL

Existe una forma de inspección MFL llamada Inspección por Flujo Transversal (TFI), que sigue el mismo principio de la inspección MFL, diferenciándose en que el campo magnético es volteado 90° grados. La inspección TFI es útil para localizar defectos por corrosión en la soldadura longitudinal del ducto. Este tipo de inspección se utiliza para encontrar axiales que pudieran no ser detectados con una inspección MFL convencional (11).

### Inspección ultrasónica (UT – Ultrasonic Tool)

Existen dos métodos comunes para la inspección ultrasónica de ductos.

*Inspección ultrasónica de haz recto:* Miden el espesor de pared y la pérdida de metal. Esta herramienta se equipa con transductores que emiten una señal ultrasónica perpendicular a la superficie del ducto. Se recibe un eco de las paredes interna y externa del ducto y midiendo el tiempo de regreso de estas señales y comparándolas con la velocidad de ultrasonido en el acero se puede obtener el espesor de paredes. Para realizar esta prueba se debe hacer una previa limpieza de la pared interna del ducto mediante un diablo de limpieza (11).

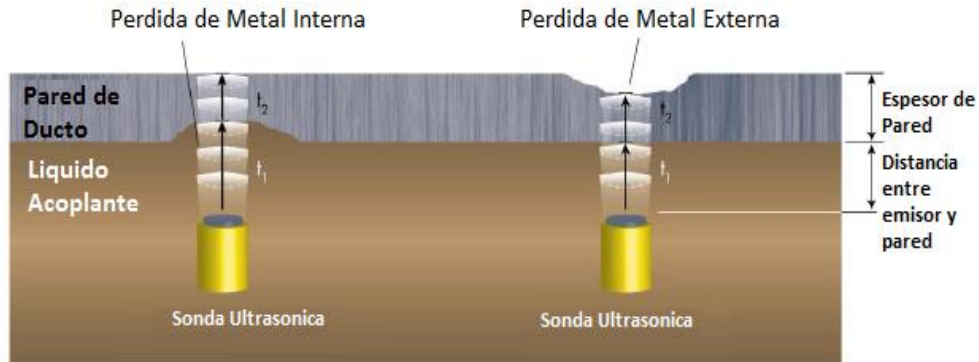


Figura 3.5 Principio de operación UT

*Inspección ultrasónica de haz angular:* Es la técnica de inspección más confiable para detectar grietas longitudinales, soldadura defectuosa y defectos por agrietamiento (SCC). Las ondas ultrasónicas son enviadas en una dirección circunferencial para obtener la máxima respuesta acústica. Esta inspección se categoriza como una herramienta acoplada con líquidos. Utiliza ondas de corte generadas en la pared del ducto por la transmisión angular de impulsos ultrasónicos a través de un medio de acoplamiento líquido como el agua o crudo. El ángulo de incidencia es ajustado de tal manera que se obtiene un ángulo de propagación de  $45^\circ$  en el acero de la tubería. Es el método más apropiado para la identificación de grietas longitudinales (11).

Los diablos instrumentados son introducidos al ducto mediante trampas de diablo. Una trampa de diablo es un arreglo de válvulas y tuberías que permiten introducir el equipo de inspección interna sin necesidad de detener el envío de producto por el ducto. El diablo instrumentado se impulsa con el mismo fluido en movimiento.

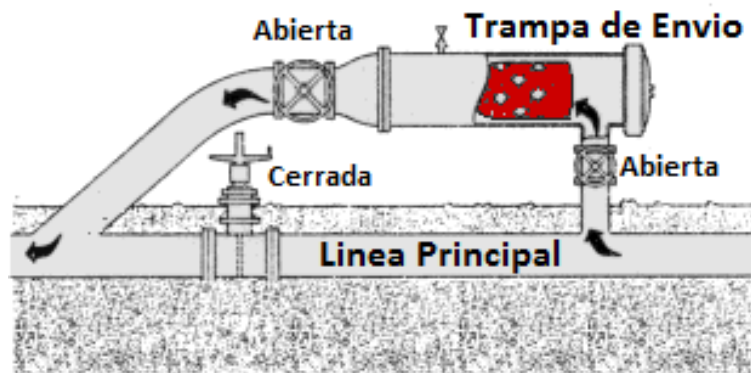


Figura 3.6 Configuración del envío de un diablo

#### Requerimientos para realizar una inspección con equipo instrumentado

La norma de referencia *NRF-030-PEMEX-2009 "Diseño, construcción, inspección y mantenimiento de ductos terrestres para transporte y recolección de hidrocarburos"* establece los siguientes requerimientos para realizar una inspección con equipo instrumentado:

*Corridas de limpieza:* se deben realizar corridas con equipo de limpieza mecánica o con productos químicos en el interior del ducto.

*Corridas de equipo geómetra:* El equipo geómetra detecta y dimensiona indicaciones geométricas en la circunferencia de la tubería, restricciones del diámetro interno y radios de curvatura. El equipo geómetra permite determinar la factibilidad del paso de otros equipos.

*Pruebas de funcionamiento del equipo:* Se debe validar el correcto funcionamiento del equipo de inspección antes de realizar la corrida, verificando que todos los sensores, almacenamiento de datos, odómetros y otros sistemas mecánicos sean iniciados y funcionen correctamente.

*Envió del equipo:* Se debe verificar que las maniobras para el envío del equipo sean realizadas bajo los procedimientos de seguridad.

*Seguimiento, detección y ubicación del equipo:* Hacer un seguimiento del equipo por medio de sus localizadores o referencias instaladas en el ducto.

*Recepción del Equipo:* Se debe verificar que las maniobras para el recibo del equipo sean realizadas bajo los procedimientos de seguridad.

### Resultados de la inspección

Al concluir la inspección con equipo instrumentado se debe de realizar un informe con la siguiente información:

- Información detallada de la inspección.
- Resumen y clasificación de indicaciones detectadas durante la corrida.
- Resumen de restricciones relevantes como abolladuras, aplastamientos entre otros.
- Resumen de indicaciones más significativas como pérdidas de metal, laminaciones grietas entre otros.
- Graficas de profundidad por pérdida de metal, horario técnico por pérdida de metal, PMPO por perdida de metal.
- Listado de indicaciones y características detectadas en la corrida (válvulas, interconexiones, curvas, envolventes, encamisados, abrazaderas, soldaduras, reparaciones, etc.).

### **3.3.2 Estudios de evaluación directa para corrosión externa**

Los estudios de evaluación directa permiten determinar condiciones físicas del ducto y los sistemas de protección contra la corrosión. Estos requieren de la integración de múltiples datos tomados en campo y del ducto, así como características físicas y condiciones históricas operáticas del mismo.

#### Inspección visual

La aplicación de este método permite detectar y dimensionar defectos en la pared externa del ducto, ya sea que ésta se encuentre descubierta, o se realice la excavación de la zona a inspeccionar. Generalmente la inspección visual es utilizada para verificar anomalías detectadas en otros estudios como ILI. Los defectos detectables incluyen picaduras, abolladuras, fugas, defectos de recubrimiento, entre otros.

#### Estudio CIS

El CIS (Close Interval Survey) es una técnica para evaluar el desempeño del sistema de protección catódica en el ducto. La técnica consiste en la medición continua de potenciales de la tubería respecto al electrodo de referencia Cu/CuSO<sub>4</sub>. El operador realiza un recorrido del ducto extendiendo un alambre a una estación de prueba y al electrodo de referencia. El alambre se conecta a un par de celdas de referencia a través de una computadora de campo. Las celdas de referencia de campo registran los valores de los potenciales.

Los potenciales del ducto son registrados con corriente encendida (on) y corriente apagada (off) para eliminar posibles errores en las mediciones causadas por flujo de corriente entre la tubería y las celdas de referencia.

Los resultados del CIS ayudan a identificar los niveles de Protección del ducto. Los potenciales off deben de estar dentro de las fronteras de protección -0.85 V a -1.2 V. Potenciales por debajo de ésta sugieren una insuficiente protección del



acero, por lo que se puede presentar corrosión. Un potencial por arriba de -1.2 V sugiere una sobreprotección del ducto, lo que puede afectar el recubrimiento.

### Estudio DCVG

El estudio DCVG (Direct Current Voltage Gradient) es utilizado para la detección y análisis de defectos en el recubrimiento de tuberías enterradas. A diferencia del estudio CIS, el estudio DCVG involucra mediciones de diferencias de potencial suelo-suelo.

Los defectos se localizan examinando los gradientes de potencial en la tierra que cubre las tuberías para determinar la dirección del flujo de las corrientes de protección catódica. Debido a que la protección catódica actúa en un flujo de corriente hacia los puntos de acero expuesto del ducto, los defectos pueden ser localizados individualmente.

El estudio DCVG puede determinar el tamaño del defecto en el recubrimiento, la longitud del defecto y el estado de corrosión del defecto.

**Tabla 3.3 Clasificación de defectos en estudio DCVG**

% IR	Severidad del Defecto
0 – 15	Pequeña
16 – 35	Mediana
36 – 60	Mediana/Grande
61 – 100	Grande

### Medición con ultrasonido guiado

La medición con ultrasonido guiado se utiliza en los segmentos cortos de un ducto enterrado, en ductos de difícil acceso en casos como cruce de vías, tuberías expuestas y cruce de ríos pequeños. El equipo de medición utiliza ondas longitudinales y torsionales. La respuesta se captura en un transductor para su posterior análisis con un software.

### **3.4 Métodos de reparación**

Cuando se detecta una disminución de espesor de pared por corrosión externa, se debe determinar el daño del defecto y éste debe ser evaluado, para determinar el método de reparación a utilizar en base al tipo de anomalía.

La norma NRF-030-PEMEX-2009 “Diseño, Construcción, Inspección y Mantenimiento de Ductos Terrestres para Transporte y Recolección de Hidrocarburos” establece las reparaciones aceptadas para cada tipo de anomalía.

Para corrosión externa general y localizada se recomiendan las siguientes reparaciones:

#### Sustitución de carrete o tramo

Esta reparación se realiza solo si el ducto puede ser sacado de servicio. Para repararlo se debe cortar la pieza cilíndrica (carrete) que contenga la anomalía y reemplazándolo con otro carrete de espesor de pared y grado similar al resto del ducto.

Para esto el carrete nuevo antes de ser instalado debe someterse a una prueba hidrostática, y después de su instalación se efectúe el radiografiado u otras pruebas no destructivas a todas las soldaduras del empate. Las soldaduras realizadas durante la sustitución de carretes deben ser examinadas minuciosamente por métodos no destructivos.

#### Esmerilado

Los daños en caliente pueden ser reparados mediante esmerilado. Se debe esmerilar por capas delgadas, tratando de formar una superficie parabólica. Al final de cada capa se debe medir, por medio de ultrasonido, el espesor de pared remanente, el cual debe cumplir con el espesor mínimo de pared requerido para soportar los esfuerzos por la presión interna. Una vez esmerilado se debe aplicar

la prueba de partículas magnéticas, para corroborar que las indicaciones por grietas se hayan eliminado.

### Soldadura de relleno

Las pequeñas áreas corroídas y daños en caliente se pueden reparar con depósitos de metal de soldadura. El metal de aporte utilizado en reparaciones debe ser del grado y tipo de la tubería que está siendo reparada.

El área a reparar se debe esmerilar y ya que se encuentra lisa, uniforme y libre de impurezas que puedan afectar la soldadura, se debe proceder a la reparación por medio de soldadura de relleno. La soldadura se debe aplicar de manera que se forme una cuadrícula con los cordones de soldadura.

### Refuerzo no metálico

En el caso de que no exista fuga se pueden usar los envolventes no metálicos, para reforzar el ducto debilitado por la corrosión exterior en el metal base. El material no metálico de refuerzo a utilizar debe soportar como mínimo la presión que soporta la tubería metálica, los rangos de temperatura y condiciones en las que opera el ducto. Este tipo de reparación no se permite en juntas soldadas, además se considera reparación permanente.

### Camisa mecánica

Este tipo de reparación se considera provisional y puede realizarse mientras el ducto continua en operación. Si una camisa mecánica se suelda al ducto mediante un procedimiento calificado y aprobado se considera como una reparación permanente.

### Camisa de Refuerzo

Se utiliza cuando no se puede dejar el ducto fuera de servicio. Se realiza la instalación de un envoltente circular metálico completo soldado longitudinalmente y con un relleno que transmita el esfuerzo al envoltente. Éstas deben estar

diseñadas para contener y soportar la presión de diseño o la máxima de operación del ducto que se va a reparar.

Las camisa de refuerzo será soldada en su totalidad, tanto circunferencial como longitudinalmente y debe extenderse por lo menos 100 mm a cada lado del defecto con el propósito de asegurar que cumpla satisfactoriamente su función.

## Capítulo 4: Evaluación de la corrosión externa en ductos

---

#### **4.1 Administración de integridad de ductos**

El transporte de hidrocarburos es una operación que involucra por si sola un riesgo, el cual puede aumentar dependiendo de las decisiones tomadas respecto a la operación, mantenimiento y seguridad del mismo; por lo que es necesario un esquema que permita disminuir este riesgo.

La administración de integridad de ductos es un proceso que correlaciona todos los elementos vinculados con la integridad, operación y seguridad de los ductos; el cual proporciona información del estado en el que se encuentran los ductos, y permite implementar de manera eficiente y óptima acciones de prevención, detección y mitigación del riesgo, que resultan en mayor seguridad y reducción de incidentes.

La administración de integridad tiene como objetivo principal establecer los parámetros para evaluar y administrar el riesgo, así como el estado de integridad de los ductos.

#### **4.2 Proceso de administración de integridad de ductos**

El proceso de la administración de integridad comienza con la identificación de peligros potenciales (descritos en el capítulo dos) a los que puede estar sujeto un ducto durante su vida de servicio. Esta información es documentada para sustentar los análisis de riesgos. A partir de los resultados obtenidos se elaboran planes y programas de evaluación de integridad que incluyen inspecciones y actividades de mitigación de los peligros potenciales.

El alcance de este proceso contempla:

- Identificación de peligros potenciales.
- Recopilación y censo de datos técnicos.
- Segmentación de ductos.
- Definición de zonas de altas consecuencias.
- Evaluación y administración de riesgo.

- Evaluación de integridad.
- Planes y programas de atención a la integridad y mitigación de peligros.

Un planteamiento de la administración de integridad debe ser flexible, para poder adecuarse a las condiciones particulares de cada caso.

La *NOM-027-SESH-2010 “Administración de la Integridad de Ductos de Recolección y Transporte de Hidrocarburos”* establece el siguiente diagrama de flujo para evaluar la realizar el proceso:

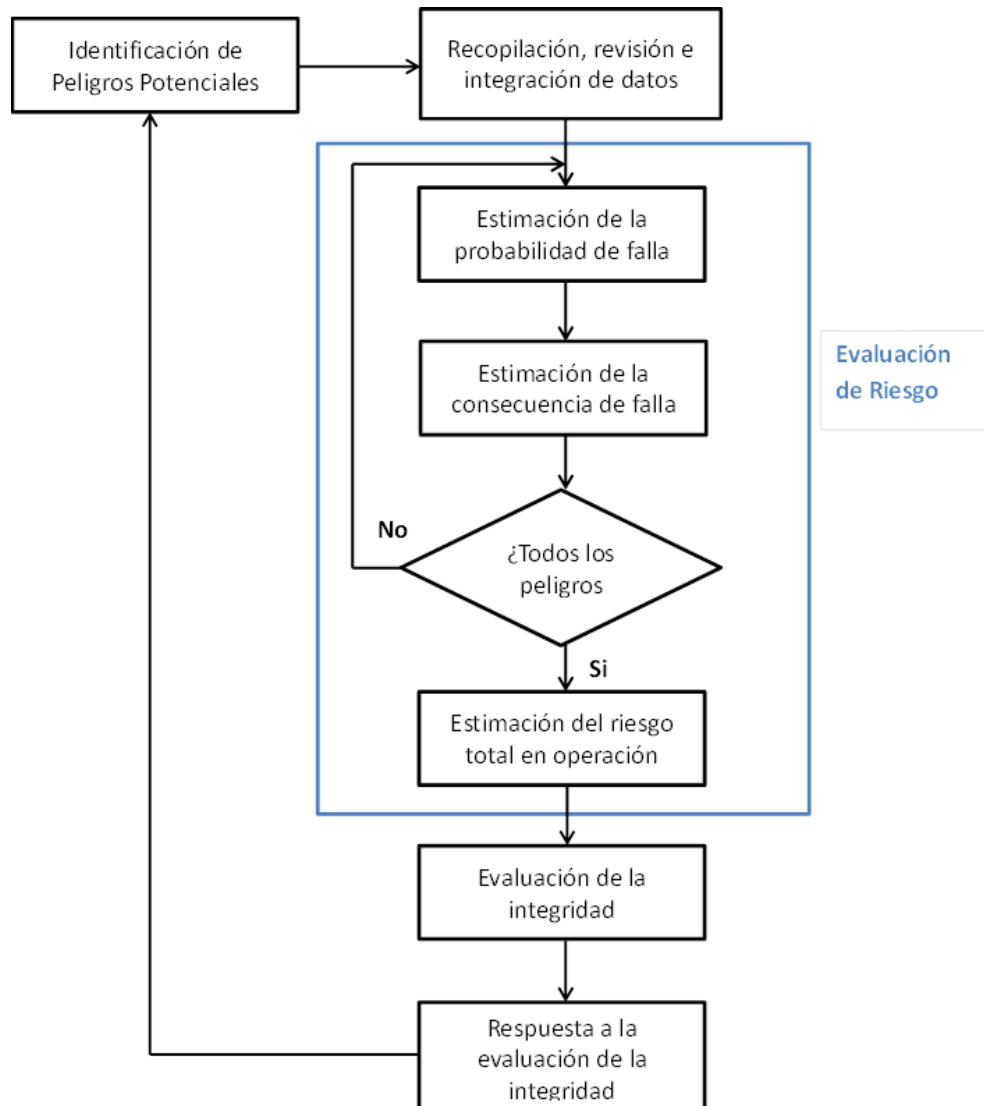


Figura 4.1 Diagrama de Flujo de la Administración de Integridad de Ductos

### **4.3 Identificación de peligros potenciales**

La identificación de peligros potenciales se refiere a las amenazas a las que se encuentran sujetos los ductos durante su servicio. Estas amenazas están identificadas en la *NOM-027 “Administración de la Integridad de Ductos de Recolección y Transporte de Hidrocarburos”* y se describen en el capítulo dos del presente trabajo:

- Corrosión Externa
- Corrosión Interna
- Agrietamiento por Corrosión Bajo Esfuerzos
- Daños por Terceras Partes
- Operaciones Incorrectas
- Clima y Fuerzas Externas
- Defectos de Fabricación
- Defectos de Construcción
- Fallas en Equipo

### **4.4 Información y recopilación de datos**

Es la recopilación y revisión de información de diseño, construcción, inspección, operación, mantenimiento, actividades relacionadas con la seguridad, entorno, condiciones y acciones que afectan la integridad de la tubería. Esta recopilación, integra la base de datos que sustentará la evaluación de riesgo.

Esta información debe incluir el registro de eventos para realizar el análisis estadístico de amenazas potenciales a la integridad. Toda información utilizada deberá ser correcta, consistente y válida.



#### **4.5 Evaluación de riesgo en ductos**

La evaluación de riesgo en ductos es una parte fundamental del proceso de administración de integridad ya que ayuda a identificar y priorizar los riesgos en el sistema de transporte por ducto, para jerarquizar los ductos o segmentos críticos y asignar las medidas de mitigación y control de riesgos más efectivas para disminuir los peligros identificados.

Un modelo de evaluación de riesgo es un conjunto de algoritmos o reglas que utilizan la información disponible para medir los niveles de riesgo a lo largo de un ducto. El modelo de evaluación de riesgo más utilizado para evaluar las condiciones de riesgo de un ducto es el método de índices.

El modelo de índices asigna valores numéricos a condiciones, actividades o variables en el sistema que contribuyen al riesgo, ya sea que estas variables lo incrementen o lo disminuyan. El peso que se le da a cada variable refleja su importancia en la evaluación. Este peso se basa en la estadística o el juicio de un experto. Cada sección del ducto se puntualiza basándose en todos sus atributos. Los segmentos son clasificados de acuerdo al puntaje de riesgo obtenido, en orden de priorizar reparaciones e inspecciones.

#### **4.6 Probabilidad de falla**

Una falla es la condición que hace que un componente opere inadecuadamente o que sea ineficiente para continuar operando (no necesariamente implica una fuga o explosión).

La falla de un material puede ocurrir por las siguientes causas:

- Que se rebasen los esfuerzos permisibles en el material
- Que el material tenga propiedades mecánicas bajas o que se degraden durante el servicio
- Que exista una o varios defectos en el material que reduzcan su resistencia mecánica.

La probabilidad de falla es la estimación de que realmente estas condiciones o eventos ocurran.

La determinación de la probabilidad de falla debe tomar en cuenta los siguientes elementos:

- **Exposición:** El tipo de agresividad o fuerza que pueda precipitar una falla.
- **Mitigación:** El tipo y efectividad de cada medida de mitigación tomada para reducir la exposición.
- **Resistencia:** La habilidad propia del ducto para soportar fuerzas y deformaciones en un evento.

La probabilidad de falla es una predicción del número de fallas esperadas en un tiempo determinado, los métodos de determinación aceptados por la industria se basan en:

- La experiencia de operadores e inspectores.
- La estadística histórica de eventos ocurridos en un ducto.
- Métodos analíticos que utilizan herramientas para representar la distribución de probabilidad.

#### 4.7 Consecuencias de falla

En la evaluación de riesgo las consecuencias de falla siempre implicarán la pérdida de algo, se debe identificar el rango completo de posibles escenarios de consecuencias incluyendo el más probable y el peor de los escenarios. Las consecuencias de falla son una estimación de la severidad del impacto de un incidente en la población, el medio ambiente y/o el negocio.

- **Impacto a la población:** Involucra daños a propiedades y a la salud humana como intoxicación o asfixia debido al producto liberado, o la muerte en el peor de los casos.

- **Impacto al medio ambiente:** Implica daño a la flora, fauna, cuerpos de agua, y otros daños provocados en el ambiente por la liberación de producto.
- **Impacto en el negocio:** Involucra costos por interrupción del servicio, pérdida de producto, costos de reparación y remediación, multas, entre otros.

Las consecuencias de falla comúnmente son cuantificadas en términos monetarios.

La NOM-027 considera como mínimo los siguientes parámetros para estimar las consecuencias:

- Volumen y tipo de fluido derramado o liberado a la atmósfera.
- Trayectorias físicas y mecanismos de dispersión mediante los cuales el fluido puede alcanzar e impactar a la población o causar daño ambiental.
- Volumen de fluido que puede alcanzar a la población a través de dichas trayectorias físicas.
- El efecto que producirá el fluido derramado.
- Densidad de población.
- Proximidad de la población al ducto (incluyendo la consideración de barreras naturales o construidas que puedan ofrecer un cierto nivel de protección).
- Proximidad de poblaciones con movilidad limitada o inválidos (hospitales, escuelas, guarderías, asilos, prisiones, áreas recreativas), particularmente en áreas sin protección exterior.
- Daños a propiedades.
- Daños ambientales.
- Efectos de nubes de gas no inflamadas.
- Seguridad en el suministro (impactos resultantes de la interrupción de servicios).

- Necesidades y comodidad del público.
- Potencial de fallas secundarias.

#### 4.8 Estimación del riesgo

El riesgo se define como la combinación de la probabilidad de que un evento cause una pérdida y la magnitud de esa pérdida. El riesgo se incrementa a medida que la probabilidad de que ocurra el evento o la magnitud de la pérdida aumenten.

Matemáticamente el riesgo se expresa como el producto de estos factores:

$$\text{Riesgo} = \text{Probabilidad de falla} \times \text{Consecuencias de falla}$$

La estimación del riesgo total de un ducto se hace calculando el riesgo para cada una de las amenazas identificadas. Esto quiere decir que para cada una de las amenazas identificadas en el capítulo dos, se deben estimar las probabilidades de falla y consecuencias asociadas, por lo tanto el riesgo total de un ducto es igual:

$$\text{Riesgo Total} = R_{CE} + R_{CI} + R_{SCC} + R_{TP} + R_{OI} + R_{CFEX} + R_{EQ} + R_{CONST} + R_{DEF}$$

Dónde:

$R_{CE}$  = Riesgo por corrosión externa

$R_{CI}$  = Riesgo por corrosión interna

$R_{SCC}$  = Riesgo por agrietamiento por corrosión bajo esfuerzo

$R_{TP}$  = Riesgo debido a daños por terceras partes

$R_{OI}$  = Riesgo por operaciones incorrectas

$R_{CFEX}$  = Riesgo por clima y fuerzas externas

$R_{EQ}$  = Riesgo por fallos en equipo

$R_{CONST}$  = Riesgo por defectos de construcción

$R_{DEF}$  = Riesgo por defectos de fabricación

#### 4.9 Evaluación del riesgo por corrosión externa

El mecanismo de falla por corrosión externa es quizá el peligro más asociado a ductos enterrados ya que cualquier pérdida de metal en la pared del ducto significa una reducción de la integridad de la estructura y por lo tanto un incremento del riesgo de falla.

El riesgo por corrosión externa se representa de la siguiente manera:

$$R_{CE} = POF_{CE} \times COF$$

Dónde:

$R_{CE}$  = Riesgo de falla por corrosión externa

$POF_{CE}$  = Probabilidad de falla por corrosión externa

$COF$  = Consecuencia de falla

#### 4.10 Evaluación de integridad

La evaluación de integridad se realiza basándose en las prioridades detectadas en la evaluación de riesgo siguiendo las metodologías de inspección descritas en el capítulo 3. La evaluación de integridad ayuda a corroborar que los segmentos obtenidos con riesgo alto efectivamente se encuentren amenazados o deteriorados por los mecanismos de falla descritos con anterioridad.

#### 4.11 Repuesta a la evaluación de integridad

Una vez que se tienen los resultados de la evaluación de integridad, se deben tomar acciones de atención dependiendo de la severidad de las indicaciones encontradas en la inspección.

- **Atención inmediata:** Son las indicaciones que pudieran causar fugas o rupturas inmediatas.

- **Atención programada:** Son indicaciones que pueden crecer y dar lugar a una falla antes de la siguiente evaluación de integridad.

La administración de integridad es un proceso cíclico que permite conocer las condiciones de integridad de un ducto y su nivel de riesgo, el cual cambia de acuerdo a los peligros potenciales a los que está sujeto el ducto, las evaluaciones de riesgo e integridad realizadas al mismo y las acciones de mitigación que se implementen.

## Capítulo 5: Caso de aplicación

---

## 5.1 Introducción al caso de aplicación

El amoniaco es un compuesto químico formado de hidrógeno y nitrógeno. El amoniaco es un gas incoloro de olor muy penetrante e irritante, que se disuelve fácilmente en agua, se evapora rápidamente y es fácilmente biodegradable.

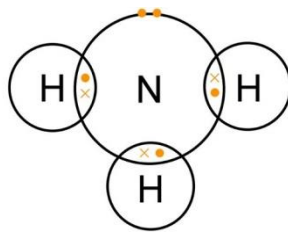


Figura 5.1 Molécula de Amoniaco

Este contribuye significativamente a las necesidades nutricionales de la población ya que gracias al uso de este como materia prima para fertilizantes se puede satisfacer la demanda alimentaria. Por tal motivo gran parte del amoniaco que se produce es destinado a la elaboración de fertilizantes. El resto es usado en textiles, plásticos, explosivos, en la producción de pulpa y papel, alimentos y bebidas, productos de limpieza domésticos, refrigerantes y otros productos.



Figura 5.2 Uso del Amoniaco

El amoniaco, es uno de los productos intermedios más importantes de la industria Química. En México PEMEX produce Amoniaco Anhidro a partir de gas natural por medio del proceso Haber-Bosch en el Complejo Petroquímico Cosoleacaque, ubicado en la zona sur del Estado de Veracruz en el Istmo de Tehuantepec.



Pemex Petroquímica maneja, almacena y distribuye Amoniaco Anhidro en diferentes modalidades: parte de la producción se entrega a través de carro tanques, auto tanques y ducto para uso de clientes en la zona sureste y altiplano, mientras que para abastecer la zona noreste del país el amoniaco es enviado mediante ducto a la Terminal Refrigerada Salina Cruz y de esta Terminal se cargan buque tanques hacia la Terminal de Distribución de Gas Licuado Topolobampo en Sinaloa, para su comercialización como materia prima para la producción de fertilizantes.



Figura 5.3 Distribución de Amoniaco

## 5.2 Descripción general del sistema de transporte de amoniaco

### Cosoleacaque – Salina Cruz

El sistema Cosoleacaque – Salina Cruz cuenta con una longitud de 255 km que va desde el Complejo Petroquímico Cosoleacaque en Veracruz hasta la Terminal Refrigerada Salina Cruz en Oaxaca.

El ducto recibe el amoniaco de las esferas de almacenamiento de amoniaco en el Complejo Petroquímico Cosoleacaque, de ahí se bombea en forma líquida a través del ducto. Para mantener la presión del amoniaco, el ducto pasa por una

estación de rebombeo intermedia en Donají. De ahí sigue su trazo hasta llegar a la trampa de envío de diablos en la Terminal Refrigerada de Salina Cruz, donde el amoniaco es almacenado en tres esferas de almacenamiento con capacidad de 20,000 toneladas para su posterior distribución.

El sistema cuenta con seis trampas de envío/recibo de diablos y veinte válvulas de seccionamiento:

**Tabla 5.1 Instalaciones superficiales del sistema Cosoleacaque-Salina Cruz**

Segmento	Válvulas de seccionamiento	Trampas de diablo
<b>Cosoleacaque – El Moral</b>	3	2
<b>El Moral – Medias Aguas</b>	1	1
<b>Medias Aguas – Donaji</b>	2	1
<b>Donaji – Loma Larga</b>	7	1
<b>Loma Larga – Salina Cruz</b>	7	1
<b>Total</b>	<b>20</b>	<b>6</b>

El sistema está compuesto por cinco segmentos descritos en la siguiente tabla:

**Tabla 5.2 Segmentos del sistema Cosoleacaque-Salina Cruz**

Segmento	Longitud (Km)	Diámetro	Flujo (ton/día)	Material de construcción	Año de construcción
Cosoleacaque – El Moral	45.5	10 in	1820	Acero al Carbón API-5L-X52	1997
El Moral – Medias Aguas	26.2	10 in	1820	Acero al Carbón API-5L-X52	1977
Medias Aguas – Donaji	50.2	10 in	1820	Acero al Carbón API-5L-X52	1979
Donaji – Loma Larga	53.5	10 in	1820	Acero al Carbón API-5L-X52	1977
Loma Larga – Salina Cruz	79.9	10 in	1820	Acero al Carbón API-5L-X52	1979
<b>Total</b>	<b>255.4</b>				



- Integrar, evaluar y establecer prioridades de los defectos descubiertos a través de la inspección en línea, pruebas de presión o de evaluaciones directas.
- Respalda las evidencias de actividades de reparación y mitigación de riesgos.
- Apoyar a metodologías de análisis tales como indexación o árbol de toma de decisiones.
- Puede realizar análisis por métodos determinísticos o probabilísticos
- Producir pantallas de salida en forma de dibujos que respaldan el análisis de integridad y riesgo.
- Importar datos de la mayoría de las bases de datos comunes.
- Tiene capacidad de búsqueda de datos.

La interfaz del programa contempla tres secciones. En la primera sección se puede observar la lista de ductos y su clasificación de acuerdo a la región del país en la que se encuentran, producto que transportan y diámetro del mismo. Desde esta sección se puede escoger un ducto para revisar la información cargada en el mismo.

En la segunda sección contiene los Modelos de Entrada y los Modelos de Evaluación. Los modelos de entrada son plantillas que contienen información de variables que describen a un ducto. Los modelos de entrada se encuentran clasificados en Modelos de Entrada de Mantenimiento, Modelos de Entrada de Operación y Modelos de Entrada de Seguridad.

Los modelos de entrada de mantenimiento contemplan la información relacionada con el diseño y mantenimiento del ducto como información sobre inspecciones, reparaciones, sistemas de protección, entorno del ducto entre otros.

Los modelos de entrada de operación son los que contemplan información relacionada con la operación del ducto como características del producto transportado, condiciones de presión y temperatura entre otros.

Los modelos de entrada de seguridad contemplan información acerca de la seguridad del ducto, por ejemplo áreas sensibles, zonas con altas consecuencias, historial de fallas, tomas clandestina entre otros.

Los modelos de evaluación son los que permiten obtener el cálculo de Riesgo e Integridad para el ducto seleccionado. Estos modelos de evaluación calculan la Probabilidad de Falla y Consecuencias de Falla por amenaza de acuerdo a la información cargada en los modelos de entrada.

Los modelos de evaluación están configurados con un algoritmo basado en el método de índices para realizar la evaluación de riesgo de las nueve amenazas identificadas en la NOM-027 mediante la implementación de un algoritmo de evaluación de riesgo basado en la normatividad interna de PEMEX junto con:

- NOM-027 - Administración de la Integridad de Ductos de recolección y transporte de hidrocarburos.
- ASME B 31.8s – Sistemas de Tuberías de Transporte y Distribución de Gas.
- API 1160 - Sistema de Administración de Integridad para Tuberías de Líquidos Peligrosos.

El algoritmo implementado en RIPL considera los siguientes parámetros para la evaluación de corrosión externa:

**Tabla 5.3 Parámetros para evaluación de riesgo por corrosión externa**

Variables de entorno	Variables de diseño	Variables de monitoreo de integridad	Variables de rehabilitación
Tipo de suelo	Diseño del recubrimiento	ILI con MFL o ultrasonido	Presión de prueba vs resistencia del ducto
Resistividad del terreno	Edad del recubrimiento	Criterio de protección catódica	Reparaciones por ILI - MFL o ultras. (Adicional)
Temperatura del ducto	Sistema de protección catódica	Criterio de CIS	Pruebas hidrostáticas
Exposición a ambiente - tubería descubierta	Encamisados	Inspección visual del recubrimiento	
Presencia de esfuerzos en el suelo	Edad del ducto	Resultados de ILI e inspección visual	
Presencia de productos químicos	Interferencia con DC/AC	Inspección de encamisados	
Presencia de humedad alta	Material aislante	Inspección visual del ducto	
Presencia de agua salada	Interferencia con estructuras	Tasa de fugas por corrosión exterior	
Presencia de suelos ácidos	Lastres o anclajes	Densidad de anomalías	
	Soportes de tubería o contacto con el suelo	Degradación o crecimiento de anomalías	

En este trabajo se analizará el estado en el que se encuentra el ducto por la amenaza de corrosión externa de acuerdo a la información contenida en RIPL. También se correrán los modelos de evaluación cargados en el programa para conocer el estado de Riesgo por Corrosión Externa en el ducto.

## 5.4 Análisis del mecanismo de falla por corrosión externa

### 5.4.1 Descripción general del ducto de amoniaco 10” Loma Larga – Salina Cruz

El ducto de amoniaco Loma Larga – Salina Cruz es el último tramo del sistema de transporte de amoniaco Cosoleacaque – Salina Cruz. El ducto fue construido en 1977 y puesto en operación en 1979 para el transporte de amoniaco anhidro, tiene una longitud de 79.971 km. Dentro del sistema, comienza en la Trampa de Envío de Diablo Loma Larga ubicada en el kilómetro 175.4 y termina en la Trampa de Envío de Diablo Salina Cruz ubicada en el kilómetro 255.4 dentro de la Terminal Refrigerada de Salina Cruz. El ducto pasa por los municipios de Asunción



Ixtaltepec, Cd. Ixtepec, El Espinal, Juchitán de Zaragoza, San Blas Atempa y Salina Cruz, todos dentro del estado de Oaxaca.



Figura 5.5 Trazo del ducto de amoniaco Loma Larga – Salina Cruz

El ducto Loma Larga – Salina Cruz al igual que todo el sistema tiene un diámetro de diez pulgadas, y está construido de acero al carbón API-5L-X52, en la siguiente tabla se enlistan datos técnicos del ducto.

**Tabla 5.4 Datos técnicos del ducto Loma Larga - Salina Cruz**

Datos Técnicos del Ducto Loma Larga - Salina Cruz	
Denominación del Ducto	Amoniaducto de 10" TED Loma Larga - TRD Salina Cruz
Origen	TED Loma Larga
Destino	TRD Salina Cruz
Diámetro Nominal [in]	10 Ø
Año última inspección	2014
Tipo de Inspección Realizada	Fuga de Flujo Magnético (MFL)
Servicio	Transporte
Longitud [Km]:	79.972
Especificación de la Tubería	API-5L-X52
Espesor [in]	0.188
Tipo de Recubrimiento Externo	Alquitrán de Hulla
MPOP [kg/cm <sup>2</sup> ]	35

El ducto cuenta con nueve instalaciones superficiales en su trazo, de las cuales siete son válvulas de seccionamiento y dos son trampas de diablos. Las válvulas de seccionamiento están ubicadas a modo que puedan bloquear el flujo del producto en caso de una fuga o ruptura mientras que las trampas de diablo limitan los extremos del ducto y permiten su inspección interna. Las instalaciones superficiales se enlistan en la siguiente tabla:

**Tabla 5.5 Instalaciones superficiales del ducto Loma Larga – Salina Cruz**

Instalaciones Superficiales		
No.	Nombre de la Instalación	Ubicación en el Ducto
1	TED Loma Larga	0+000
2	V.S. Nizanda	14+909
3	V.S. FF.CC. Panamericano	31+541
4	V.S. Margen Izquierdo de Rio Los Perros	35+041
5	V.S. Margen Derecho de Rio Los Perros	39+091
6	V.S. Margen Izquierdo de Rio Tehuantepec	66+292
7	V.S. Margen Derecho de Rio Tehuantepec	67+314
8	V.S. Av. De los 100 Metros	71+046
9	TRD Salina Cruz	79+972



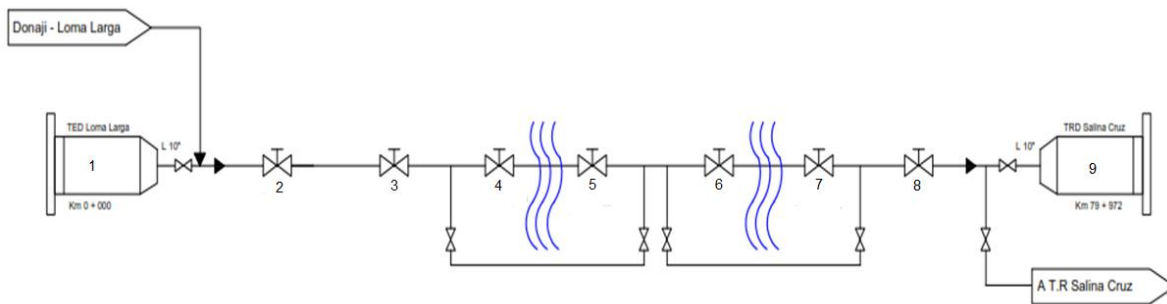


Figura 5.6 Instalaciones superficiales del ducto Cosoleacaque – Salina Cruz

### 5.4.2 Zonas de Altas Consecuencias

El ducto atraviesa seis zonas de altas consecuencias a lo largo de su trayectoria:

Tabla 5.6 Zonas de altas consecuencias

Zonas de Alta Consecuencia					
No	Nombre de la ZAC	Tipo de ZAC	Inicio (Km)	Fin (Km)	Longitud (Km)
1	Transísmica Chivela	Zona Urbana/ Cruce Carretero	0+000	4+205.19	4.205
2	Chivela	Cruce Carretero	5+191.18	6+399.83	1.208
3	Carretera Huatulco Cuota	Cruce Carretero	22+290.39	22+698.36	0.407
4	F.C Panamericano, Carretera Juchitán-Tuxtepec	Cruce Carretero/Cruce de Ferrocarril	33+319.44	36+235.20	2.915
5	Cruce Carretera Salina Cruz-Juchitán	Cruce Carretero	43+250.9	44+115.54	0.864
6	Cruce Carretera a Refinería, Cruce Ferrocarril a Refinería, Zona Urbana Salina Cruz	Cruce Carretero/Cruce de Ferrocarril/ Zona Urbana	64+038.73	79+972	15.933

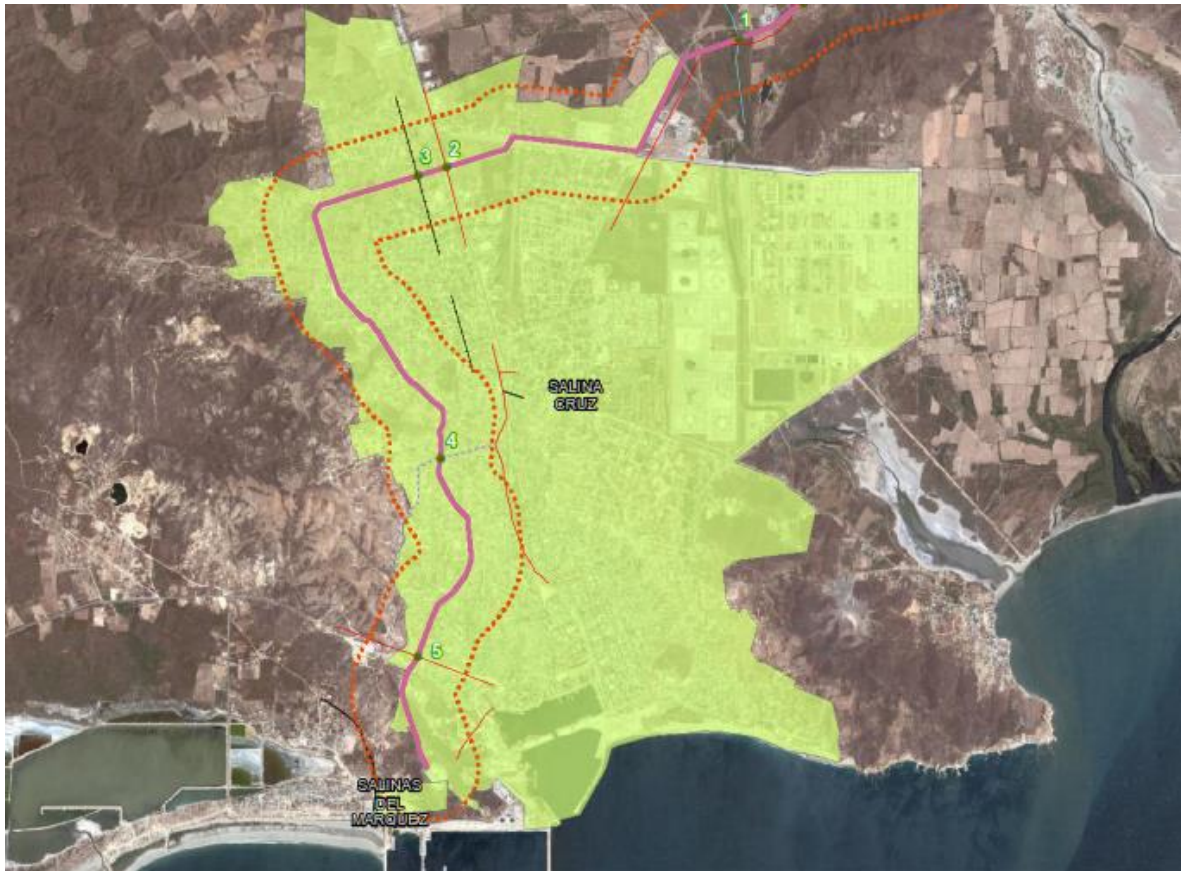


Figura 5.7 ZAC Zona urbana de Salina Cruz

En la imagen se observa la zona de alta consecuencia ZAC 6 de la tabla, la ciudad de Salina Cruz es resaltada en color verde. La línea punteada encierra el radio de afectación en caso de una fuga. El ducto tiene seis cruces dentro de la ZAC 6 que corresponden a:

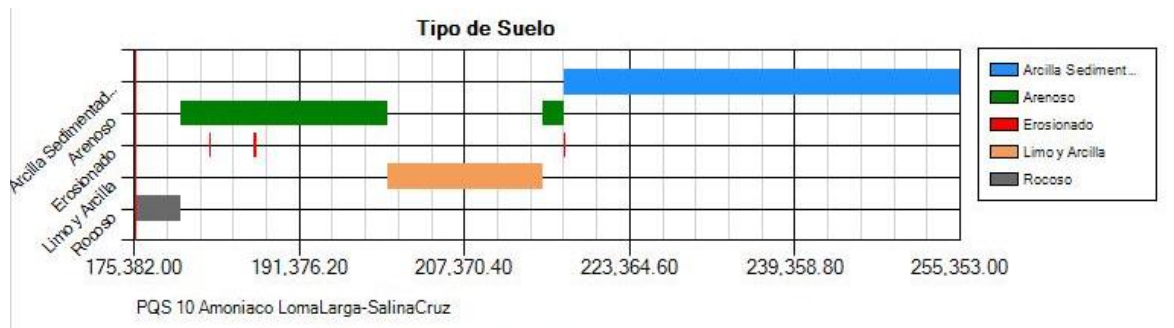
Tabla 5.7 Cruces ZAC 6

No.	Nombre del Cruce	Km
1	Canal de Riego	69.321
2	Carretera Federal	72.77
3	Ferrocarril	73.05
4	Terracería	76.79
5	Carretera Federal	78.86
6	Localidades de Salina Cruz	75.9255

### 5.4.3 Entorno del ducto

El ducto es subterráneo, a lo largo de su trazo cruza dos ríos, el Rio Los Perros y El Rio Tehuantepec.

La siguiente grafica muestra el perfil de suelo a lo largo de la trayectoria del ducto:



Gráfica 5.1 Tipo de suelo

El ducto está rodeado por cinco diferentes tipos de suelo: Arcilla Sedimentada, Arenoso, Erosionado, Limo y Arcilla y Rocoso; de los cuales los suelos de Arcilla son los más agresivos a los que se encuentra sometido el ducto, ya que si bien este tipo de suelo es benéfico para la conservación del recubrimiento, es muy agresivo a los metales desnudos debido a que generalmente estos tipos de suelo son muy húmedos y de baja resistividad.

El ducto se encuentra enterrado desde el kilómetro 26 hasta el extremo final del ducto en suelos de tipo arcilla, siendo el de arcilla sedimentada el que tiene mayor extensión de cobertura a lo largo del ducto, en la siguiente tabla se muestra las mediciones de resistividad del suelo que rodea al ducto:

Tabla 5.8 Tipo de Suelo

Ubicación (Km)	Tipo de Suelo	Resistividad ( $\Omega$ -cm)	Grado de Corrosividad
0	Rocoso	8000	Media
1+930	Rocoso	8000	Media
3+930	Rocoso	5678	Media
5+930	Arenoso	7538	Media
7+930	Erosionado	2844	Alta
9+930	Arenoso	1497	Alta
11+930	Erosionado	4623	Media
13+930	Arenoso	7337	Media
15+930	Arenoso	5327	Media
17+930	Arenoso	4523	Media
19+930	Arenoso	714	Muy Alta
21+930	Arenoso	734	Muy Alta
23+930	Arenoso	3507	Alta
25+930	Limo y Arcilla	1899	Alta
27+930	Limo y Arcilla	3196	Alta
29+930	Limo y Arcilla	4482	Media
31+930	Limo y Arcilla	1457	Alta
33+930	Limo y Arcilla	513	Muy Alta
49+930	Arcilla Dura Sedimentada	5236	Media
51+930	Arcilla Dura Sedimentada	7236	Media
53+930	Arcilla Dura Sedimentada	4322	Media
55+930	Arcilla Dura Sedimentada	6573	Media
56+930	Arcilla Dura Sedimentada	3889	Alta
57+930	Arcilla Dura Sedimentada	6924	Media
59+930	Arcilla Dura Sedimentada	5708	Media
61+930	Arcilla Dura Sedimentada	3618	Alta
63+930	Arcilla Dura Sedimentada	4322	Media
65+930	Arcilla Dura Sedimentada	3317	Alta
67+930	Arcilla Dura Sedimentada	4121	Media
69+930	Arcilla Dura Sedimentada	2613	Alta
71+930	Arcilla Dura Sedimentada	1859	Alta
73+930	Arcilla Dura Sedimentada	11769	Baja
75+930	Arcilla Dura Sedimentada	7337	Media
77+930	Arcilla Dura Sedimentada	2814	Alta
79+930	Arcilla Dura Sedimentada	7271	Media

La resistividad promedio del suelo que rodea al ducto es de 4600  $\Omega$ -cm lo que lo ubica en un grado de corrosividad de suelo media de acuerdo a la tabla presentada en el capítulo dos de este trabajo, sin embargo existe un tramo que va del kilómetro 19 al kilómetro 49 del ducto donde existen registros de resistividad muy baja del suelo, siendo el suelo de tipo limo y arcilla el predominante en este tramo. Estas condiciones hacen a este tramo muy agresivo para el ducto en caso de que las medidas de protección contra la corrosión fallen.

#### 5.4.4 Historial de fallas

El historial de fallas del ducto reporta que se han presentado 33 fugas de las cuales 24 fueron ocasionadas debido a Corrosión Externa en el ducto, 8 por Diseño/Materiales y una falla por Operaciones Incorrectas. Estas fallas fueron reparadas mediante envoltentes o reemplazo de tubería.

#### 5.4.5 Inspecciones al ducto

La última Inspección Interna realizada al ducto fue en 2014, utilizando la tecnología de Fuga de Flujo Magnético (MFL) la cual detectó 220,973 indicaciones, de las cuales 212,347 fueron por pérdida de metal en la pared externa del ducto.

De las indicaciones detectadas por pérdida de metal se detectaron ocho con pérdida de metal mayor al 80% de la pared del ducto lo que las clasifica como de atención inmediata.

**Tabla 5.9 Indicaciones detectadas por ILI**

Resumen de Indicaciones Detectadas por Perdida de Metal Externa						
	% de Profundidad					
	<= 10	> 10 < 20	>= 20 < 40	>= 40 < 60	>= 60 < 80	> = 80
<b>Indicaciones por Perdida de Metal Externa</b>	176,557	26,948	7,907	884	43	8



Gráfica 5.2 Perfil de profundidad de anomalías por corrosión externa en el ducto

De las indicaciones detectadas por el estudio, 210,246 indicaciones se encuentran activas en la base de datos, lo que sugiere que no han sido reparadas y que si no cuenta con una protección adecuada pueden crecer. Existen 2373 reparaciones de las cuales 272 están clasificadas como activas y 2101 como no activas, estas indicaciones han sido reparadas mediante métodos de reparación como envolvente y/o recubrimiento.

Tabla 5.10 Anomalías reparadas

Tipo de Reparación				Total
Envolvente	Otras Reparaciones	Reemplazo Recubrimiento	Vacías	Anomalías Reparadas
1878	201	272	22	2373

El área con mayor densidad de indicaciones y mayor profundidad se encuentra del km 38+386 al km 60+778. Las indicaciones con 80% de profundidad se encuentran entre los kilómetros 47+080 al 49+365. Esta zona está en el suelo de Arcilla Dura Sedimentada con una resistividad promedio de 4734  $\Omega$ -cm.

#### 5.4.6 Protección contra la corrosión externa

El ducto cuenta con medidas de protección contra la corrosión externa mediante recubrimiento externo de Alquitrán de Hulla y con un sistema de protección catódica por corriente impresa formado por 14 rectificadores. En la siguiente tabla se enlistan los rectificadores del sistema y su capacidad de cobertura:

**Tabla 5.11 Rectificadores del sistema de protección catódica Loma Larga – Salina Cruz**

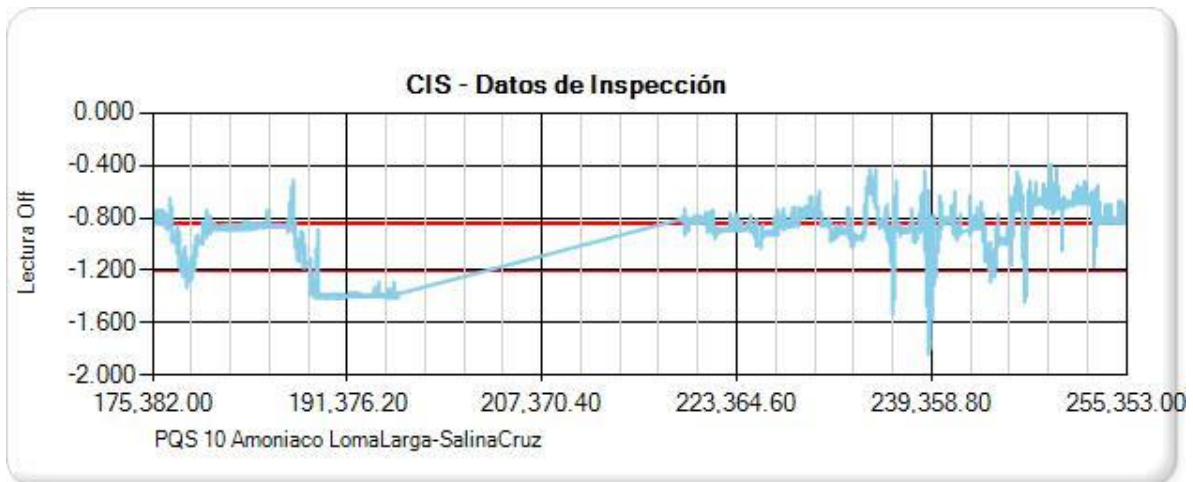
Nombre del Rectificador	Inicio de Cobertura	Ubicación	Fin de Cobertura
CHIVELA II	0+000	5+292	9+456
NIZANDA 1	9+456	13+620	17+105
CHAMIZAL 1	17+105	20+590	26+602
RÍO VERDE	26+602	32+615	35+575
PONDEROSA	35+575	38+535	39+842
BASE AEREA	39+842	41+150	45+562
IGU I	45+562	49+975	53+952
TIERRA BLANCA	53+952	57+930	60+930
HUILOTEPEC	60+930	63+930	66+524
FONDEPORT	66+524	69+118	69+860
HUERTA	69+860	70+603	71+180
PISTA AEREA	71+180	71+758	73+308
HIDALGO I	73+308	74+858	75+308
HIDALGO 2	75+308	75+758	76+275
COSTERA	76+275	76+791	79+971

Para tuberías de acero el rango de protección catódica va de -0.85 volts a -1.2 volts. Lecturas por debajo de este rango sugieren una protección catódica ineficiente mientras que las lecturas por encima del rango brindan una sobreprotección que puede resultar en desprendimiento del recubrimiento del ducto.

### Estudio CIS

El último estudio CIS realizado fue en 2014, este no fue realizado a todo el ducto. El estudio se realizó del kilómetro 0+000 al 20+590, y del kilómetro 32+615 al 79+971. Los resultados de este estudio se observan en la siguiente gráfica:





Gráfica 5.3 Datos de inspección CIS

Según los datos observados prácticamente los primeros trece kilómetros del ducto se encuentran dentro del rango de protección, con algunas zonas desprotegidas en los primeros dos kilómetros del ducto y una zona de sobreprotección de siete kilómetros que va aproximadamente del kilómetro 13 al kilómetro 20 del ducto. Esta zona se encuentra bajo protección de los rectificadores Nizanda 1 y Chamizal 1.

A partir del kilómetro 32+615 se tienen zonas protegidas de los kilómetros 45+600 al 52+595 bajo el rectificador IGU 1, y del kilómetro 55+007 al 70+662 bajo protección de los rectificadores Tierra Blanca, Huilotepec y Fondepport con algunos picos fuera del rango. El pico más notable es de sobreprotección localizado en el kilómetro 239,358 de la gráfica o 63+976 del ducto. En este punto el valor de lectura del potencial es de -1.69 volts.

Se tiene también una zona con baja protección del kilómetro 70+662 al kilómetro 79+971 bajo protección de los rectificadores Pista Aérea, Hidalgo I y II y el rectificador costera.



El nivel de protección catódica al ducto a los tramos medidos es la siguiente:

**Tabla 5.12 Nivel de protección catódica**

Nivel de Protección Catódica Ducto Loma Larga – Salina Cruz		
Desprotegido	Protegido	Sobre Protegido
36.61%	48.85%	14.55%

### Estudio DCVG

El último estudio DCVG se realizó en 2014, se encontraron 5,649 defectos en el recubrimiento, de los que de los cuales podemos observar 760 defectos tienen una severidad pequeña; 2,446 defectos con severidad media; 1,741 defectos con severidad media-grande y 179 defectos con severidad grande.

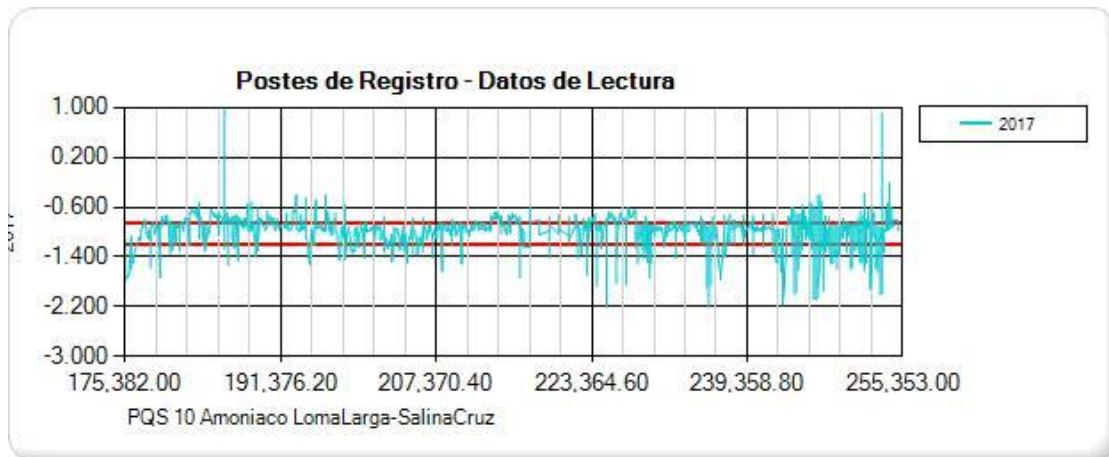
El comportamiento de la corrosión en el DCVG muestra que 2,628 defectos tienen un comportamiento Catódico-Catódico, lo que indica que se encuentran protegidos aun cuando el sistema de protección catódica se encuentre apagado y 2,498 defectos tienen un comportamiento Anódico-Anódico, lo que indica que estos defectos presentan corrosión activa aun cuando el sistema de protección catódica se encuentra operando.

**Tabla 5.13 Indicaciones DCVG**

Indicaciones DCVG				
% IR 0-15	% IR 16-35	% IR 36-61	% IR 61-100	Total
760	2446	1741	179	5649

### Control de corrosión

El ducto cuenta con 223 postes de medición de potencial para monitoreo de protección catódica. De acuerdo con la última medición de potenciales en el ducto existen 151 mediciones donde se tiene un valor de medición dentro del rango - 0.85 v a -1.2 v, 21 mediciones sin protección y 51 mediciones con sobreprotección al ducto.



Gráfica 5.4 Medición de Potenciales al Ducto

#### 5.4.7 Resultados del análisis de riesgo por corrosión externa

El modelo de evaluación segmentó el ducto en 799 tramos de 100 metros y uno de 71 metros. Para cada uno de estos segmentos se calculó el Índice de Probabilidad de Falla, las Consecuencias de Falla y el Riesgo de Falla, solamente para la amenaza por corrosión externa.

##### Probabilidad de falla (LOF)

Para el cálculo de probabilidad de falla por corrosión externa el modelo de evaluación toma como prioridad la información relacionada con la protección contra la corrosión externa, por lo que las variables relacionadas con los datos de inspección CIS, DCVG y estado del recubrimiento son las de mayor peso en el cálculo. En orden de prioridad le siguen las variables relacionadas con los resultados de inspecciones internas, características del suelo, resistividad del terreno y criterio de protección catódica. Existen otras variables tomadas en cuenta en el modelo de evaluación sin embargo el peso que se les da en el cálculo es poco significativo en comparación con las variables mencionadas anteriormente.

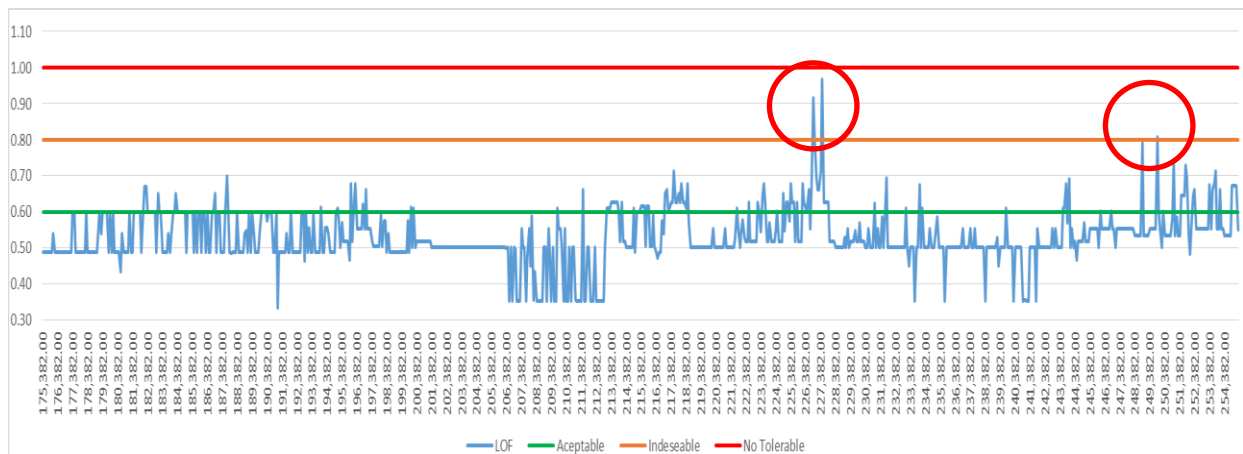
El modelo de cálculo obtiene un índice de LOF para cada segmento del ducto. Estos índices fueron comparados con los Índices de Probabilidad de Falla Tolerables configurados en el mismo modelo de cálculo mediante una relación.

De acuerdo a los resultados de esta relación la Probabilidad de Falla de clasifica en, Aceptable, Tolerable, Indeseable y No Tolerable. En la siguiente tabla se muestran los resultados del modelo de evaluación:

**Tabla 5.14 Nivel de tolerancia (LOF)**

Nivel de Tolerancia	Tramos en Nivel	Kilómetros en Nivel
Aceptable	686	68.31
Tolerable	110	11
Indeseable	4	0.4
No Tolerable	0	0

La siguiente figura muestra una gráfica del comportamiento del LOF a lo largo del ducto y la zona de clasificación en la que se encuentran:



**Gráfica 5.5 Comportamiento del LOF a lo largo del ducto**

De acuerdo a los índices de LOF obtenidos ninguno sobrepasa el límite No Tolerable, sin embargo cuatro tramos (encerrados en rojo) están en la zona indeseable. Estos tramos se encuentran en los kilómetros 51+500,51+600, 52+100, 74+500:

*Tramo 1 Km 51+500 – 51+600, Relación de LOF de 0.92*

El tramo se encuentra enterrado en el tipo de suelo Arcilla Dura Sedimentada. La medición de la resistividad del terreno en ese punto es de 6836  $\Omega$ -cm, lo que lo clasifica en un suelo de corrosividad media.

De acuerdo a la corrida de diablos realizada en 2014 se encontraron 998 indicaciones por corrosión externa en este ducto, la más profunda con un 17% de pérdida del espesor de pared. Todas las anomalías se encuentran activas.

En el estudio CIS se hicieron 67 mediciones para este tramo de las cuales 60 están por debajo del criterio de protección -0.85v a -1.2v y siete mediciones dentro del criterio. El promedio de las mediciones para este tramo es de -0.83, lo que lo ubica fuera del criterio de protección.

El estudio DCVG encontró tres defectos en el recubrimiento, el mayor con 79% de IR, por lo que se encuentra en la categoría 4 con severidad grande.

*Tramo 2, Km 51+600 – 51+700, Relación de LOF 0.81*

El tramo se encuentra en el tipo de suelo de Arcilla Dura Sedimentada, con una resistividad promedio en el suelo de 6936  $\Omega$ -cm, lo que lo clasifica en un suelo de corrosividad media.

De acuerdo a la corrida de diablos realizada en 2014 se encontraron 998 indicaciones por corrosión externa en este ducto, la más profunda con un 31% de pérdida del espesor de pared. Todas las anomalías se encuentran activas.

En el estudio CIS se hicieron 67 mediciones para este tramo de las cuales 44 mediciones están por debajo del criterio de protección -0.85v a -1.2v y 23 mediciones dentro del criterio. El promedio de las mediciones para este tramo es de -0.85, pero al estar la mayor parte del tramo por debajo del criterio de CIS se considera fuera del criterio de protección.

El estudio DCVG encontró un defecto en el recubrimiento, con 64% de IR, por lo que se encuentra en la categoría 4 con severidad grande.

*Tramo 3, Km 52+100-52+200, Relación de LOF 0.97*

El tramo se encuentra enterrado en el tipo de suelo Arcilla Dura Sedimentada. La medición de la resistividad del terreno en ese punto es de 6944.6  $\Omega$ -cm, lo que lo clasifica en un suelo de corrosividad media.

De acuerdo a la corrida de diablos realizada en 2014 se encontraron 3,259 indicaciones por corrosión externa en este ducto, la más profunda con un 32% de pérdida del espesor de pared. Todas las anomalías se encuentran activas.

En el estudio CIS se hicieron 55 mediciones para este tramo de las cuales 12 están por debajo del criterio de protección -0.85v a -1.2v y 43 mediciones dentro del criterio. El promedio de las mediciones para este tramo es de -0.85, lo que lo ubica fuera del criterio de protección.

El estudio DCVG encontró seis defectos en el recubrimiento, el mayor con 65% de IR, por lo que se encuentra en la categoría 4 con severidad grande. El comportamiento de la corrosión es anódico-anódico para cuatro de estos defectos.

*Tramo 4, Km 74+500-74+600, Relación de LOF 0.81*

El tramo se encuentra enterrado en el tipo de suelo Arcilla Dura Sedimentada. La medición de la resistividad del terreno en ese punto es de 10,439.4  $\Omega$ -cm, lo que lo clasifica en un suelo de corrosividad baja.

De acuerdo a la corrida de diablos realizada en 2014 se encontraron 8,120 indicaciones por corrosión externa en este ducto, la más profunda con un 10% de pérdida del espesor de pared. Todas las anomalías se encuentran activas.

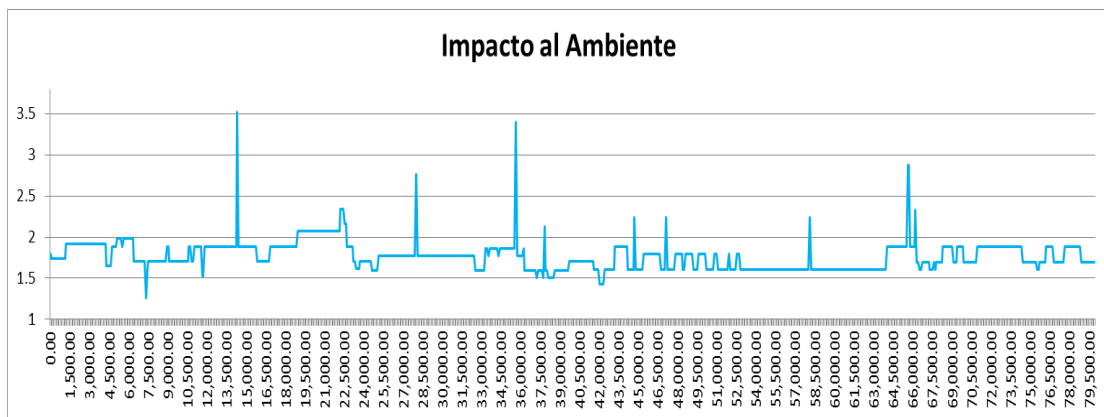
En el estudio CIS se hicieron 63 mediciones para este tramo las cuales se encuentran por debajo del criterio de protección -0.85v a -1.2v, ninguna medición

está dentro del criterio. El promedio de las mediciones para este tramo es de -0.71, lo que lo ubica fuera del criterio de protección.

El estudio DCVG encontró seis defectos en el recubrimiento, el mayor con 65% de IR, por lo que se encuentra en la categoría 4 con severidad grande. El comportamiento de la corrosión es anódico-anódico para cuatro de estos defectos.

### Consecuencias de falla (COF)

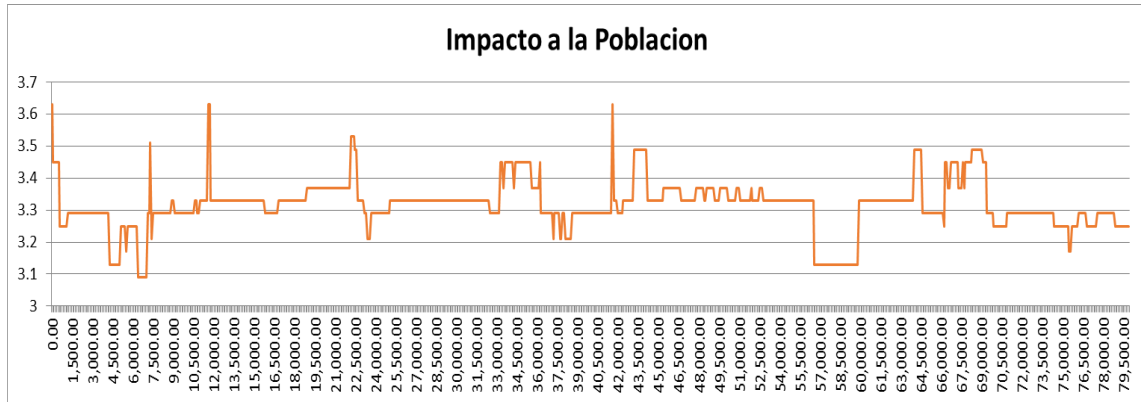
El programa contempla tres modelos de evaluación de consecuencias de falla: Impacto a la Población, Impacto al Ambiente e Impacto al Negocio. La suma de los tres índices da las Consecuencias de Falla totales.



Gráfica 5.6 COF por impacto al ambiente

El modelo de evaluación de Impacto al Ambiente considera los cruces con cuerpos de agua, zonas ecológicas, cercanía del ducto con cuerpos de agua, cercanía con fuentes de agua potable, potencial de dispersión del producto en caso de ruptura, y la cercanía de estos puntos con las zonas de altas consecuencias.

El ducto no atraviesa reservas ecológicas ni fuentes de agua potable, pero tiene cinco cruces con cuerpos de agua. De estos cruces, dos de ellos están en zonas consideradas como ambientalmente sensibles, son los que presentaron mayor índice de impacto al ambiente.



Gráfica 5.7 COF por impacto a la población

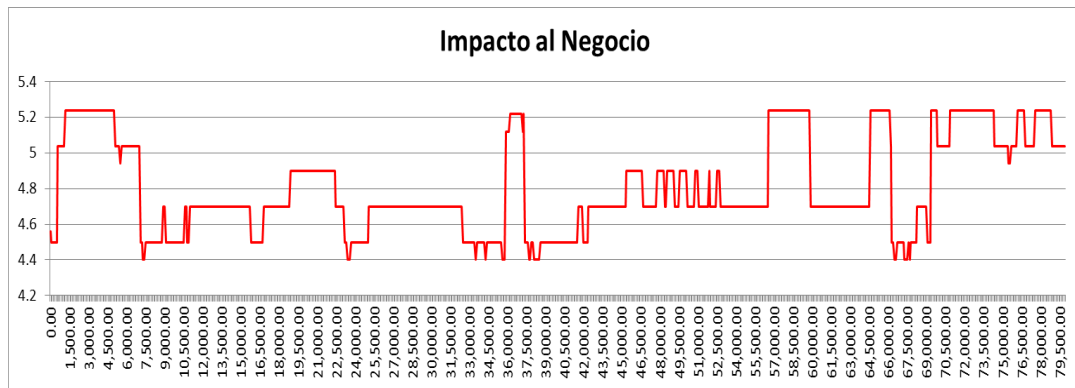
Para consecuencias por impacto a la población el modelo considera tipo de producto, cruces con zonas urbanas, zonas de altas consecuencias, cruces con carreteras, ferrocarriles entre otros.

El ducto presenta 72 cruces de diferentes tipos:

Tabla 5.15 Tipos de cruces

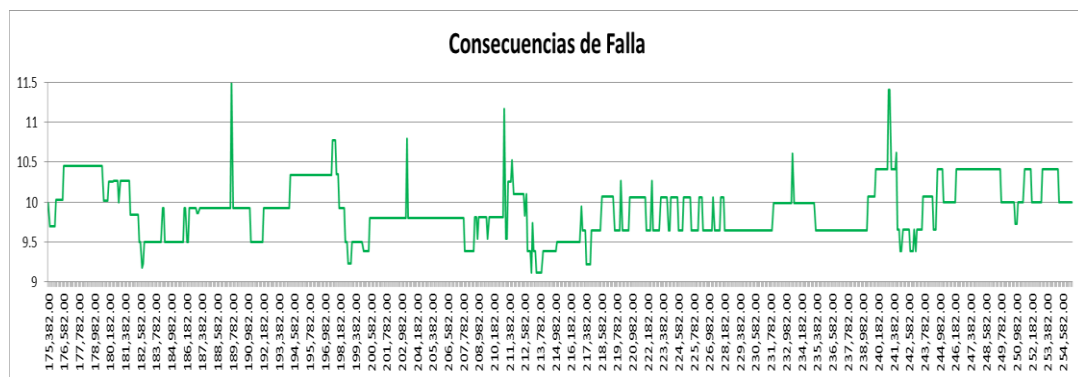
Tipos de Cruces	Cantidad de Cruces
Carretera no Pavimentada	26
Carretera Pavimentada sin Encamisado	5
Carretera Pavimentada con Encamisado	3
Cruce con Estructuras de Interferencia	2
Cruce con Líneas de Alta Tensión	16
Cruce con Vías de Ferrocarril	5
Cruce con Vías Fluviales	5
Cruces de Otros Servicios	10

En cuanto a cruces con zonas urbanas, 21.7 kilómetros del ducto cruzan en zonas pobladas, esto representa un 27 % del total del ducto. De estas zonas pobladas, todas están clasificadas como clase de población 3. (Anexo D)



Gráfica 5.8 COF por impacto al negocio

Las consecuencias por impacto al negocio consideran daños a la población, interrupción del servicio, pérdida de producto, afectación a clientes, impacto por fallas y costos de daño a propiedades.



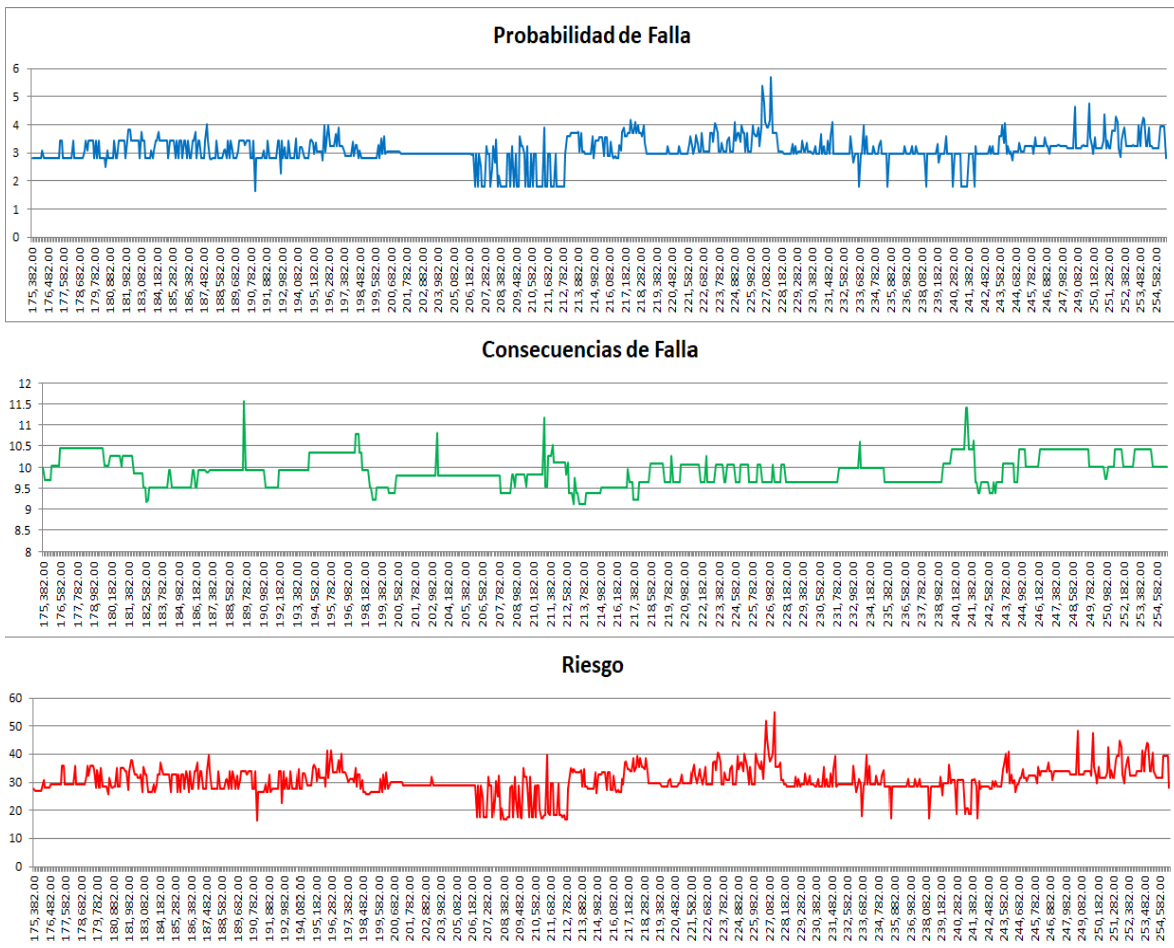
Gráfica 5.9 COF totales

En la gráfica anterior se muestran las consecuencias de falla por corrosión externa a lo largo del ducto. Las consecuencias de falla por impacto al negocio son las que presentaron un mayor índice mientras que las consecuencias por impacto al ambiente son las que presentaron los índices más bajo.



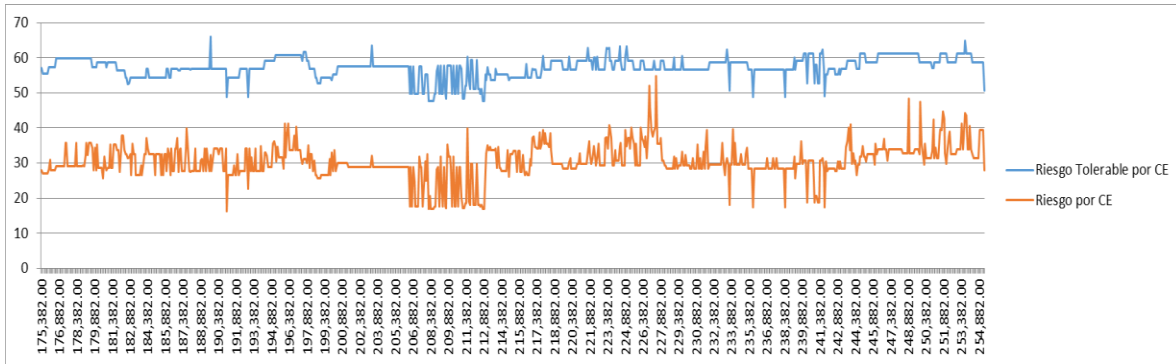
**Riesgo de falla (ROF)**

Con los resultados obtenidos de Probabilidad de Falla y Consecuencias de Falla se procedió a calcular el Riesgo por Corrosión Externa para el Ducto de Amoniaco Loma Larga – Salina Cruz:



**Gráfica 5.10 Comportamiento de LOF, COF y ROF por CE a lo largo del ducto**

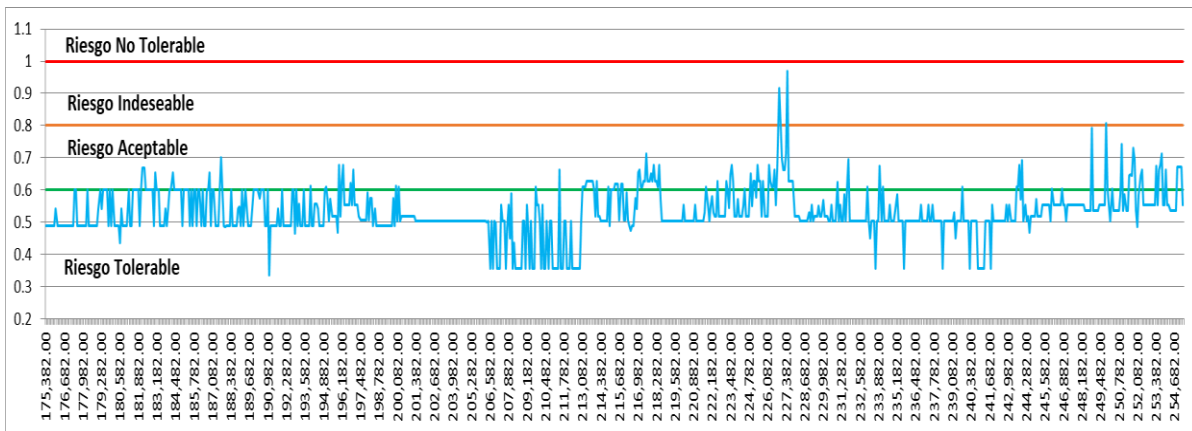
Con los resultados de Riesgo obtenidos se hizo una comparación respecto al riesgo tolerable obteniendo la siguiente gráfica:



Gráfica 5.11 Comparación de riesgos por CE

De acuerdo a los resultados obtenidos en ningún punto se la gráfica el riesgo por corrosión externa obtenido sobrepasa el riesgo tolerable por corrosión externa, sin embargo existen puntos donde se el riesgo por corrosión externa se acerca al riesgo tolerable. Se puede observar que estos puntos de acercamiento son los mismos puntos que tienen mayor probabilidad de falla por corrosión externa.

Para clasificar el Riesgo por Corrosión Externa que tiene el ducto se hizo una relación entre el riesgo por corrosión externa y el riesgo tolerable, estos datos se graficaron obteniendo la siguiente gráfica:



Gráfica 5.12 Nivel de Riesgo por CE en el Ducto

La mayor parte del ducto se encuentra entre las zonas de riesgo tolerable y aceptable, sin embargo se tienen cuatro indicaciones en la zona de riesgo indeseable.

**Tabla 5.16 Clasificación del nivel de riesgo**

Nivel de Riesgo	Kilómetros del Ducto
Aceptable	68.6
Tolerable	11
Indeseable	0.4
No Tolerable	0

Las cuatro indicaciones que se encuentran en la zona de riesgo indeseable son las mismas que tuvieron la probabilidad de falla más alta. Las cuatro indicaciones presentaron defectos en el recubrimiento y niveles de protección catódica fuera de criterio por lo que es recomendable verificar si se han tomado acciones de mitigación en estos puntos y si es así actualizar la base de datos para bajar la condición de riesgo que se obtuvo.

Aunque la mayor parte del ducto se encuentra en la zona de riesgo aceptable, hay 8.5 kilómetros del ducto que se encuentran en la frontera entre riesgo tolerable y aceptable. Se debe tener en consideración que para este trabajo solo se revisó el riesgo por corrosión externa, sin embargo aún faltaría revisar los niveles de riesgo por las demás amenazas, lo que sugeriría que las indicaciones en la frontera de nivel aceptable y las indicaciones en nivel tolerable podrían subir su nivel de riesgo al considerar las demás amenazas.

## Conclusiones

En el presente trabajo de tesis se muestra el efecto del mecanismo por corrosión externa como el principal factor de peligro de probabilidad de falla en el ducto de amoniaco de 10 in DN Loma Larga – Salina Cruz.

Se aplicó el proceso de administración de integridad de ductos para conocer el grado de afectación por corrosión externa en el ducto con base en los resultados de la inspección con Equipo Instrumentado, estudios de Close Interval Survey (CIS) y Direct Current Voltage Gradient (DCVG).

El ducto está construido de acero al carbón API 5LX52, con un espesor nominal de 0.188 in, diámetro de 10 in y una longitud de 79 km, que van de la terminal de envío de diablo Loma Larga a la terminal de recibo de diablo Salina Cruz.

La última inspección interna realizada al ducto en el año 2014 encontró 220,973 indicaciones de las cuales 212,347 fueron por pérdida de metal en la pared externa del ducto. La zona del ducto más afectada se encuentra entre los kilómetros 47+080 al 49+365, donde se encontraron indicaciones con pérdida de metal externa mayor a 80%.

De acuerdo a la información analizada las principales causas que favorecen a la corrosión externa del ducto son el tipo de suelo de limo y arcilla, la desigualdad de distribución del suelo y la resistividad del terreno con valores de medios a bajos; características que vuelven al suelo un entorno muy agresivo para el ducto (en la tabla 5.8 se muestra el grado de corrosividad del suelo).

El ducto cuenta con recubrimiento de alquitrán de hulla como medida principal de protección contra la corrosión externa. En el estudio DCVG se encontró que el recubrimiento del ducto presenta defectos con severidad alta y la gran mayoría de estos tienen un comportamiento anódico-anódico, lo que indica que estas zonas se están corroyendo activamente.

El ducto se encuentra protegido con protección catódica por corriente impresa para actuar en las zonas donde el recubrimiento se encuentra dañado. Sin embargo se encontró que esta medida de protección no está siendo efectiva, ya que de los tramos evaluado en el último estudio CIS, solo el 49% del ducto se encuentra protegido, el 36% se encuentra desprotegido y el 15% sobreprotegido, condición que puede causar desprendimiento catódico del recubrimiento.

Para contrarrestar esto se debe realizar la reparación del recubrimiento en las zonas con alta densidad de defectos y con defectos de severidad grande tomando en cuenta como prioridad la reparación de los defectos con comportamiento anódico-anódico.

También se deben realizar acciones de mantenimiento al sistema de protección catódica para poder alcanzar los niveles de protección catódica establecidos ya que en la última toma de potenciales se midieron valores fuera de los criterios de protección.

El análisis de riesgo muestra que el ducto se encuentra en los niveles de riesgo aceptable. Sin embargo 11 kilómetros del ducto están en la zona de riesgo tolerable con controles y otros 9 kilómetros se ubican en la frontera de riesgo aceptable y tolerable.

Se debe tomar en cuenta que en este trabajo solo se evaluó el riesgo por la amenaza de corrosión externa por su mayor frecuencia de falla mecánica y alto índice de contribución de riesgo. Aún falta evaluar las otras amenazas y evaluar el riesgo total por lo que los niveles encontrados podrían aumentar y localizar al ducto en la zona de nivel de riesgo tolerable o indeseable.

Cabe mencionar que este ducto cruza un área densamente poblada por lo que se debe dar un seguimiento estricto a su administración de riesgo e integridad para evitar un evento de impacto a la población como se puede observar en la figura 5.7.

## **Observaciones**

El ducto de Amoniaco Loma Larga – Salina Cruz presenta daños por corrosión externa, aunque los daños más críticos encontrados en la inspección realizada en 2014 fueron reparados, el ducto aún tiene muchas anomalías reportadas como activas en RIPL.

Se encontró que las variables relacionadas con el tipo de suelo se consideran de forma cualitativa, por ejemplo el pH está clasificado como alto y bajo, sin embargo no se especifica que valores de pH se consideran para establecer estos rangos.

El grado de corrosividad del suelo también se encuentra en esta situación. Este está clasificado como corrosividad muy alta, alta, media y baja pero no se especifica que parámetros se toman en cuenta para esta clasificación. De acuerdo a la información investigada, tramos con resistividad del suelo mayor a 10000  $\Omega$ -cm son suelos de corrosividad baja de acuerdo a los estándares de NACE. Sin embargo en los modelos de entrada, los tramos de suelo con resistividad superior a 10000  $\Omega$ -cm están clasificados como suelos de corrosividad muy alta, lo que incrementa el índice de probabilidad de falla y por lo tanto el riesgo.

# Anexos

---

## Anexo A. Hoja de Seguridad del Amoniaco



AMONIACO (GAS)



AMONIACO (LIQ.)

AUDITORIA DE SEGURIDAD INDUSTRIAL Y PROTECCION AMBIENTAL  
SUBGERENCIA DE SALUD OCUPACIONAL Y NORMATIVIDAD

HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD PARA SUSTANCIAS QUIMICAS	
L.- FECHA DE ELABORACION : <u>11 DE JUNIO DE 1994</u>	L.- REVISION No. 2 : <u>17 DE JUNIO DE 2000</u>

### SECCION I.- DATOS GENERALES DEL RESPONSABLE DE LA SUSTANCIA QUIMICA

1.- NOMBRE DEL FABRICANTE O IMPORTADOR <b>PETROQUIMICA COSOLEACAQUE, S.A. DE C.V.</b>	2.- EN CASO DE EMERGENCIA COMUNICARSE AL TELEFONO: <b>01 (922) - 4 - 03 - 67, 4 - 07 - 27 Ó 4 - 57 - 83; FAX: 01 (922) 4 - 37 - 15</b>			
3.- DOMICILIO COMPLETO				
<b>CARRETERA COSTERA DEL GOLFO</b>	<b>KM 39+400</b>	<b>N. A.</b>	<b>BUENA VISTA SUR</b>	<b>96340</b>
<b>CALLE</b>	<b>N° EXT.</b>	<b>N° INT.</b>	<b>COLONIA</b>	<b>CODIGO POSTAL</b>
<b>COSOLEACAQUE</b>		<b>COSOLEACAQUE VER., MEXICO</b>		
<b>DELEGACION / MUNICIPIO</b>		<b>LOCALIDAD O POBLACION</b>		

### SECCION II.- DATOS GENERALES DE LA SUSTANCIA QUIMICA

1.- NOMBRE COMERCIAL: <b>AMONIACO ANHIDRO</b>	2.- NOMBRE QUIMICO O CODIGO <b>AMONIACO</b>
3.- FAMILIA QUIMICA <b>A M I N A S</b>	5.- OTROS DATOS <b>USOS PRINCIPALES:</b> EN EL CAMPO COMO FERTILIZANTE POR APLICACION DIRECTA, O COMO SALES DE AMONIO Y EN EN LA IND. ALIMENTICIA COMO REFRIGERANTE.
4.- SINONIMOS <b>AMONIACO ANHIDRO / GAS AMONIACO</b>	

### SECCION III.- IDENTIFICACION DE LOS COMPONENTES

1.- % Y NOMBRE DE LOS COMPONENTES	2.- N° CAS.	3.- N° O.N.U.	4.- CPT, CCT o P p.p.m.	5.- IPVS ppm	6.- GRADO DE RIESGO				E. P. P.
					S	I	R	ESPECIAL	
99.50 %, AMONIACO	7664 - 41 - 7	1005	C. P. T. - 25 C. C. T. - 35	300	3	1	0	N. A.	VER SECCION IX
0.50 %, AGUA	N. A.	N. A.	N. A.	N. A.	N.A.	N.A.	N.A.	N. A.	N. A.
0.0 ppm, GRASAS Y -- ACEITES	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	N.D.	N.D.	N.D.	N. D.	N. D.

### SECCION IV.- PROPIEDADES FISICO - QUIMICAS

1.- TEMPERATURA DE EBULLICION <b>- 33.4°C</b>	2.- TEMPERATURA DE FUSION <b>- 77.7°C</b>
3.- TEMPERATURA DE INFLAMACION (°C) <b>N. A.</b>	4.- TEMPERATURA DE AUTO IGNICION <b>651.11°C</b>
5.- DENSIDAD RELATIVA (AGUA = 1) <b>0.7 g/ml a -33°C</b>	6.- DENSIDAD DE VAPOR (AIRE = 1), a 0°C y 1 ATM. DE PRESION <b>0.597 g/l</b>
7.- PESO MOLECULAR <b>17.03 g/mol</b>	8.- ESTADO FISICO COLOR Y OLOR : <b>GAS INCOLORO CON UN OLOR PICANTE Y SOFOCANTE.</b>
9.- VELOCIDAD DE EVAPORACION (BUTIL - ACETATO = 1) <b>N. D.</b>	10.- SOLUBILIDAD EN AGUA <b>54 g/100 ml a 20°C</b>
11.- PRESION DE VAPOR <b>1013 Kpa a 26°C</b>	12.- % DE VOLATILIDAD <b>N. A.</b>
13.- LIMITES DE INFLAMABILIDAD O EXPLOSIVIDAD, % EN VOL. INFERIOR : <u>15.0</u> SUPERIOR : <u>28.0</u>	14.- OTROS DATOS: * TEMPERATURA DE CONGELACION - - 42.22°C * UMBRAL DE PERCEPCION DEL OLOR = 1 a 53 ppm

NOTA: EN ESPACIOS CERRADOS, LOS VAPORES DE AMONIACO DENTRO DE LOS LIMITES DE INFLAMABILIDAD; PUEDEN EXPLOTAR.

AMONIACO ANHIDRO: HOJA 1 DE 4



**SECCION V.- RIESGOS DE FUEGO O EXPLOSION**

1.- MEDIO DE EXTINCION NEBLA DE AGUA <u>SI</u> ESPUMA <u>N. A.</u> CO <sub>2</sub> <u>SI</u> POLVO QUIMICO SECO <u>SI</u> OTROS (ESPECIFICAR) <u>N. D.</u>	
2.- EQUIPO DE PROTECCION PERSONAL <b>TRAJE INTEGRAL CONTRA INCENDIO Y EQUIPO AUTONOMO DE RESPIRACION.</b>	
3.- PROCEDIMIENTO Y PRECAUCIONES ESPECIALES EN EL COMBATE DE INCENDIO SE RECOMIENDA QUE PARA FUEGOS PEQUEÑOS SE UTILICEN EXTINTORES DE POLVO QUIMICO SECO O CO <sub>2</sub> , MIENTRAS QUE EN EL CASO DE INCENDIOS MAYORES SE RECOMIENDA EL USO DE NEBLINA DE AGUA (DEBIDO A QUE EL AMONIACO ES SOLUBLE EN ELLA), O ESPUMAS. SI EL INCENDIO FUE CAUSADO POR UNA FUGA, ESTA DEBE ELIMINARSE PRIMERO.	
4.- CONDICIONES QUE CONDUCEN A OTRO RIESGO ESPECIAL EL AMONIACO PUEDE PROVOCAR FUEGO O EXPLOSION EN PRESENCIA DE: MERCURIO, HALOGENOS, AGUA DE CLORO PARA BLANQUEAR, PLATINO, CLORONITROBENCENO Y ACETATO DE VINILO. EN PRESENCIA DE ACEITES U OTROS MATERIALES COMBUSTIBLES, INCREMENTAN EL RIESGO DE INCENDIO.	
5.- PRODUCTOS DE LA COMBUSTION NOCIVOS PARA LA SALUD <b>AGUA Y OXIDOS DE NITROGENO</b>	

**SECCION VI.- DATOS DE REACTIVIDAD**

1.- SUSTANCIA <b>ESTABLE <u>SI</u> INESTABLE <u>N. A.</u></b>	2.- CONDICIONES A EVITAR: <b>CALOR, FLAMA, CHISPA Y CUALQUIER OTRA FUENTE DE IGNICION.</b>
3.- INCOMPATIBILIDAD (SUSTANCIA A EVITAR) <b>OXIDANTES FUERTES Y ACIDOS, REACCIONANDO VIOLENTAMENTE CON ELLOS. EN PRESENCIA DE HALOGENOS, OXIDO DE MERCURIO U OXIDO DE PLATA, PUEDEN FORMARSE COMPUESTOS SENSITIVOS A CHOQUE.</b>	4.- PRODUCTOS PELIGROSOS DE LA DESCOMPOSICION <b>NITROGENO E HIDROGENO A TEMPERATURAS MAYORES DE 450°C</b>
5.- POLIMERIZACION ESPONTANEA: <b>PUEDE OCURRIR <u>NO</u> NO PUEDE OCURRIR <u>X</u></b>	
CONDICIONES A EVITAR: <b>N. A.</b>	

**SECCION VII.- RIESGOS PARA LA SALUD**

IA. PARTE		EFECTOS A LA SALUD	
1.- POR EXPOSICION AGUDA <b>SINTOMAS DE AFECTACION</b> INHALACION: DIFICULTAD PARA RESPIRAR, SENSACION DE ASFIXIA, TOS Y VOMITO. CONTACTO OCULAR: DOLOR, ENROJECIMIENTO, VISION BORROSA Y PUNZADAS. CONTACTO DERMICO: SENSACION DE QUEMADURA, DOLOR, ENROJECIMIENTO Y AMPOLLAMIENTOS.	a)- INGESTION ACCIDENTAL	QUEMADURAS CORROSIVAS Y POR CONGELAMIENTO EN LA BOCA, GARGANTA, ESOFAGO Y ESTOMAGO.	
	b)- INHALACION	IRRITACION SEVERA DEL TRACTO RESPIRATORIO, BRONCOESPASMOS, DIFICULTAD PARA RESPIRAR, HASTA EDEMA AGUDO PULMONAR FATAL.	
	c)- PIEL (CONTACTO Y ABSORCION)	POR CONTACTO: PRODUCE IRRITACION Y QUEMADURAS CORROSIVAS CON AMPOLLAMIENTO. POR ABSORCION CUTANEA: N. A.	
	d)- OJOS	CAUSA IRRITACION SEVERA, QUEMADURAS, VISION BORROSA Y A EXPOSICIONES IMPORTANTES PUEDE OCASIONAR DAÑO IRREVERSIBLE EN CORNEA, PRODUCIENDO CEGUERA.	
1.- POR EXPOSICION CRONICA: LA EXPOSICION A LARGO PLAZO A NIVELES DE AMONIACO GASEOSO EN EL AIRE, AFECTA FUNDAMENTALMENTE AL SISTEMA RESPIRATORIO, CON IRRITACION CRONICA DEL TRACTO RESPIRATORIO Y LA CONJUNTIVA OCULAR.			
2.- SUSTANCIA QUIMICA CONSIDERA COMO: CANCERIGENA: <u>NO</u> MUTAGENICA: <u>NO</u> TERATOGENICA: <u>NO</u> OTRAS (ESPECIFICAR) <u>NO</u> STPS (NOM - 010 - STPS) <b>SI <u>X</u> NO <u>N. A.</u></b>			
FUENTE APROBADA <b>SI <u>X</u> NO <u>N. A.</u></b> ESPECIFICAR: <b>NIOSH (29CFR-1990.103) Y LA A. C. G. I. H.</b>			
INFORMACION COMPLEMENTARIA (DL50-CL50, ETC.): <b>INHALACION HUMANOS, CL50= 10,000 ppm/3 HRS.</b>			

2A. PARTE		EMERGENCIA Y PRIMEROS AUXILIOS	
a)- CONTACTO CON LOS OJOS	IRRIGAR INMEDIATAMENTE POR LO MENOS DURANTE 15 MINUTOS.		
b)- CONTACTO CON LA PIEL	RETIRAR A LA VICTIMA DEL AREA CONTAMINADA, QUITAR LA ROPA Y/O CALZADO CONTAMINADOS, LAVAR LA PARTE AFECTADA CON ABUNDANTE AGUA POR LO MENOS DURANTE 15 MINUTOS, REPETIR EL LAVADO DOS VECES MAS. CONSIGA ASISTENCIA MEDICA INMEDIATA.		
c)- INGESTION	MANTENER A LA VICTIMA ABRIGADA Y EN REPOSO, ¡EVITE EL VOMITO! NO DAR A BEBER NADA, EXCEPTO AGUA EN ABUNDANCIA SI ES POSIBLE. OBTENER ATENCION MEDICA INMEDIATA.		
d)- INHALACION	RETIRAR AL PACIENTE DEL AREA CONTAMINADA, MANTENERLO EN REPOSO; PERO SEMISENTADO, SI NO RESPIRA, APLICAR RESPIRACION ARTIFICIAL; OBTENER ATENCION MEDICA INMEDIATA.		
1.- OTROS RIESGOS O EFECTOS PARA LA SALUD.	SI LA CONCENTRACION DE AMONIACO Y EL TIEMPO DE EXPOSICION SON CONSIDERABLES, SE PUEDE PRODUCIR EDEMA AGUDO PULMONAR FATAL.		
2.- DATOS PARA EL MEDICO	OJOS: SE PUEDE APLICAR A LOS OJOS COMO PRIMER AUXILIO, DE 2 A 3 GOTAS DE SOLUCION DE PONTACAINA AL 0.5%.		
3.- ANTIDOTO (DOSIS EN CASO DE EXISTIR)	POR INHALACION: INHALAR VAPOR DE AGUA QUE CONTenga ACIDO ACETICO (VINAGRE) EN PROPORCION DE 20 A 30 PARTES DE AGUA POR UNA DE ACIDO.		

AMONIACO ANHIDRO: HOJA 2 DE 4

### SECCION VIII .- INDICACIONES EN CASO DE FUGA O DERRAME

COMO PRIMERA MEDIDA PARA ATENDER UNA FUGA O DERRAME DE AMONIACO, EL PERSONAL INVOLUCRADO INVARIABLEMENTE DEBERA USAR, DE ACUERDO A LAS CONDICIONES DE EXPOSICION; TRAJE ENCAPSULADO O INTEGRAL DE NEOPRENO Y EQUIPO AUTONOMO DE RESPIRACION. SOLO PERSONAL DEBIDAMENTE PROTEGIDO DEBERA PERMANECER EN EL AREA.

SI EL DERRAME, O LA FUGA EN FASE GASEOSA SE PUEDEN ACCESAR SIN RIESGO, DETENERLAS; USANDO AGUA EN FORMA DE NIEBLA PARA REDUCIR VAPORES, CONTENIENDO EL AGUA AMONICAL FORMADA PARA SU POSTERIOR DISPOSICION. EVITE LA FLAMA, CHISPA O CUALQUIER OTRA FUENTE DE IGNICION. EN EL CASO DE QUE SE PRESENTEN FUGAS EN CARROSTANQUE O AUTOTANQUES, ESTOS DEBERAN SER TRASLADADOS A UN AREA BIEN VENTILADA Y ALEJADA DE LAS INSTALACIONES Y EN CASO DE QUE LA FUGA NO PUEDA CONTROLARSE, EL PRODUCTO DEBERA TRASEGARSE, CONTROLANDO LA FUGA DURANTE EL TRASIEGO CON APLICACION DE AGUA EN FORMA DE NIEBLA. SI EL DERRAME DE AMONIACO LIQUIDO SE PRESENTA EN UN DUCTO, SI ES FACTIBLE; DEBERAN DE CERRARSE LAS VALVULAS DE CORTE QUE AISLEN EL PUNTO DE FUGA O DERRAME. SI ESTE ULTIMO AFECTA AL SUELO, DEBERA CONTENERSE MEDIANTE LA FORMACION DE DIQUES O BARRERAS PARA SU POSTERIOR NEUTRALIZACION.

### SECCION IX .- PROTECCION ESPECIAL

**1.- EQUIPO DE PROTECCION PERSONAL** PARA PIEL Y CUERPO: DE ACUERDO A LAS CONDICIONES DE EXPOSICION, USE TRAJE ENCAPSULADO, INTEGRAL DE NEOPRENO O DE POLICLOROPRENO. PARA VIAS RESPIRATORIAS: DURANTE EXPOSICIONES HASTA 100 ppm, USE RESPIRADOR EQUIPADO CON FILTRO PARA AMONIACO, PARA EXPOSICIONES ENTRE 100 Y 300 ppm, USE MASCARA FACIAL PARA GASES CON FILTRO PARA AMONIACO Y PARA CONCENTRACIONES SUPERIORES A 300 ppm, USE EQUIPO AUTONOMO DE RESPIRACION. PROTECCION A LAS MANOS: GUANTES DE NEOPRENO. PROTECCION OCULAR: CARETA FACIAL O MONOGOGGLES A PRUEBA DE SALPICADURAS QUIMICAS.

**2.- VENTILACION** • USE VENTILACION SUFICIENTE PARA CONSEGUIR EL C.P.T. REQUERIDO ( 25 ppm ó 18 mg/m<sup>3</sup> )

### SECCION X.- INFORMACION SOBRE TRANSPORTACION

1.- DEBE ESTAR DE ACUERDO CON EL REGLAMENTO PARA EL TRANSPORTE TERRESTRE DE MATERIALES Y RESIDUOS PELIGROSOS Y CON LAS NORMAS QUE PARA EL EFECTO SE EXPIDAN. DE ACUERDO A LA NORMA NOM-002-SCT-1993, EL AMONIACO ANHIDRO LIQUIDO QUEDA CLASIFICADO CON EL NUMERO 1005; CORRESPONDIENTE A LA CLASIFICACION DE NACIONES UNIDAS Y EN LA CATEGORIA 2 DIVISION 2.3, CORRESPONDIENTE A CLASE 2 (GASES), RIESGO 3 (TOXICO POR INHALACION). EN GENERAL EL AMONIACO ANHIDRO LIQUIDO, SE EXPENDE EN GRANDES VOLUMENES, TRANSPORTANDOSE EN BUQUETANQUES, CARROSTANQUES DE FERROCARRIL, AUTOTANQUES O AMONIADUCTOS. EN EL CASO DE TRANSPORTE POR FERROCARRIL, LOS CARROSTANQUES APROBADOS PARA TRANSPORTACION DE AMONIACO ANHIDRO LIQUIDO, DEBEN CUMPLIR CON LAS ESPECIFICACIONES DOT-105A-300-W, DOT-106A500X, 112A340-W, 112A400-W Y 114A340-W.

### SECCION XI.- INFORMACION SOBRE ECOLOGIA

1.- DEBE ESTAR DE ACUERDO CON LAS REGLAMENTACIONES ECOLOGICAS

#### MEDIDAS A SEGUIR CON LOS DESECHOS:

NEUTRALIZAR CON ACIDO CLORHIDRICO Y DILUIR CON ABUNDANTE AGUA. EL AGUA SOLUBILIZA EL PRODUCTO, NO PERMITIR QUE AGUA SATURADA CIRCULE POR LOS DRENAJES PLUVIALES, PUES ESTA CONTAMINARA EL AMBIENTE, AUMENTANDO LA ALCALINIDAD DE LOS RIOS; AFECTANDO LA FAUNA MARINA.

#### DEGRADACION EN EL MEDIO:

EN EL CASO DE LA ATMOSFERA, EL AMONIACO PERSISTE EN ELLA POR UN LAPSO ENTRE 5 Y 10 DIAS, DEPENDIENDO DE LA PRESENCIA DE OTROS CONTAMINANTES ATMOSFERICOS ASI COMO DE LA INCIDENCIA DE LLUVIA. EN EL CASO DEL AGUA, CUANDO EL AMONIACO SE DERRAMA EN ESTA; TIENDE A EBULLIR VIOLENTAMENTE Y VAPORIZA PARCIALMENTE, AL MISMO TIEMPO EL RESTO DEL AMONIACO SE DISPERSA POR LA SUPERFICIE DEL AGUA, DISOLVIENDOSE EN ELLA PARA CONVERTIRSE FACILMENTE EN NITRATO POR NITRIFICACION, INCREMENTANDO SU PELIGROSIDAD PARA LA VIDA ACUATICA. EN EL CASO DEL SUELO, EL AMONIACO SE OXIDA FACILMENTE A NITRATO POR LA PRESENCIA DE MICROORGANISMOS, FACILITANDOSE SU MOVILIDAD Y SU ADSORCION POR LAS RAICES DE LAS PLANTAS, POR LO CUAL ES IMPORTANTE EL CONSIDERAR QUE EL AMONIACO ES UN NUTRIENTE BASICO APORTADOR DE NITROGENO, PROPIEDAD QUE PERMITE UTILIZARLO MEDIANTE APLICACION DIRECTA EN EL SUELO EN SOLUCION ACUOSA O EN FORMA DE SALES.

AMONIACO ANHIDRO: HOJA 3 DE 4

**SECCION XII.- PRECAUCIONES ESPECIALES**

**1.- PRECAUCIONES QUE DEBEN SER TOMADAS PARA EL MANEJO Y ALMACENAMIENTO**

SI EL AMONIACO SE ALMACENA AL AIRE LIBRE, LOS RECIPIENTES DEBERAN QUEDAR SITUADOS POR LO MENOS 15 m. DE CUALQUIER CONSTRUCCION. LAS AREAS DE ALMACENAMIENTO DEBERAN DE ESTAR LEJOS DE CUALQUIER LIQUIDO INFLAMABLE. LA PRESENCIA DE ACEITE O DE OTROS MATERIALES COMBUSTIBLES, INCREMENTA EL RIESGO DE INCENDIO.

**2.- OTRAS PRECAUCIONES**

LOS CONTENEDORES QUE CONTENGAN AMONIACO, NO DEBERAN SER MANEJADOS O ALMACENADOS CERCA DE INSTALACIONES O EQUIPOS ELECTRICOS VIVOS, TALES COMO SUBESTACIONES, TRANSFORMADORES, CUARTOS DE INTERRUPTORES, MOTORES ETC.. EL AMONIACO EN SU ALMACENAMIENTO, SE PUEDE CONJUNTAR CON MATERIALES TOXICOS O CON PRODUCTOS INFLAMABLES; SIN INCREMENTO DEL RIESGO INTRINSECO DE CADA UNO DE ELLOS.

**RESUMEN DE ABREVIACIONES**

**GENERALES:**

O.N.U.- ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS.

C.P.T.- CONCENTRACION PONDERADA EN TIEMPO

C.C.T.- CONCENTRACION PARA CORTO TIEMPO

P.- CONCENTRACION PICO

I.P.V.S.- PELIGRO INMEDIATO A LA VIDA O SALUD.

P.P.M.- PARTES POR MILLON

E.P.P.- EQUIPO DE PROTECCION PERSONAL.

N.I.O.S.H.- INSTITUTO NACIONAL PARA LA SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL

A.C.G.I.H.-CONFERENCIA AMERICANA DE HIGIENISTAS INDUSTRIALES GUBERNAMENTALES

DL50.- DOSIS LETAL MEDIA

CL50.- CONCENTRACION LETAL MEDIA. (corresponde a la dosis, generalmente en mg de un material tóxico, por inhalación, en un metro cúbico de aire, que provoca el deceso del 50% de los animales de laboratorio sometidos a ella.)

**SOBRE PROPIEDADES FISICAS:**

°C \_\_\_\_\_ GRADOS CENTIGRADOS

g/ml \_\_\_\_\_ GRAMOS POR MILILITRO

g/mol \_\_\_\_\_ GRAMOS POR MOL (relación que expresa el peso molecular de una sustancia química)

Kpa \_\_\_\_\_ KILOPASCAL(unidad de presión), aproximadamente 100 Kpa = 760 mm Hg = 1 ATM. de presión.

ATM \_\_\_\_\_ ATMOSFERA (unidad de presión), 1 ATM. = 760 mm Hg (milímetros de mercurio)

% EN VOL\_ PORCIENTO EN VOLUMEN

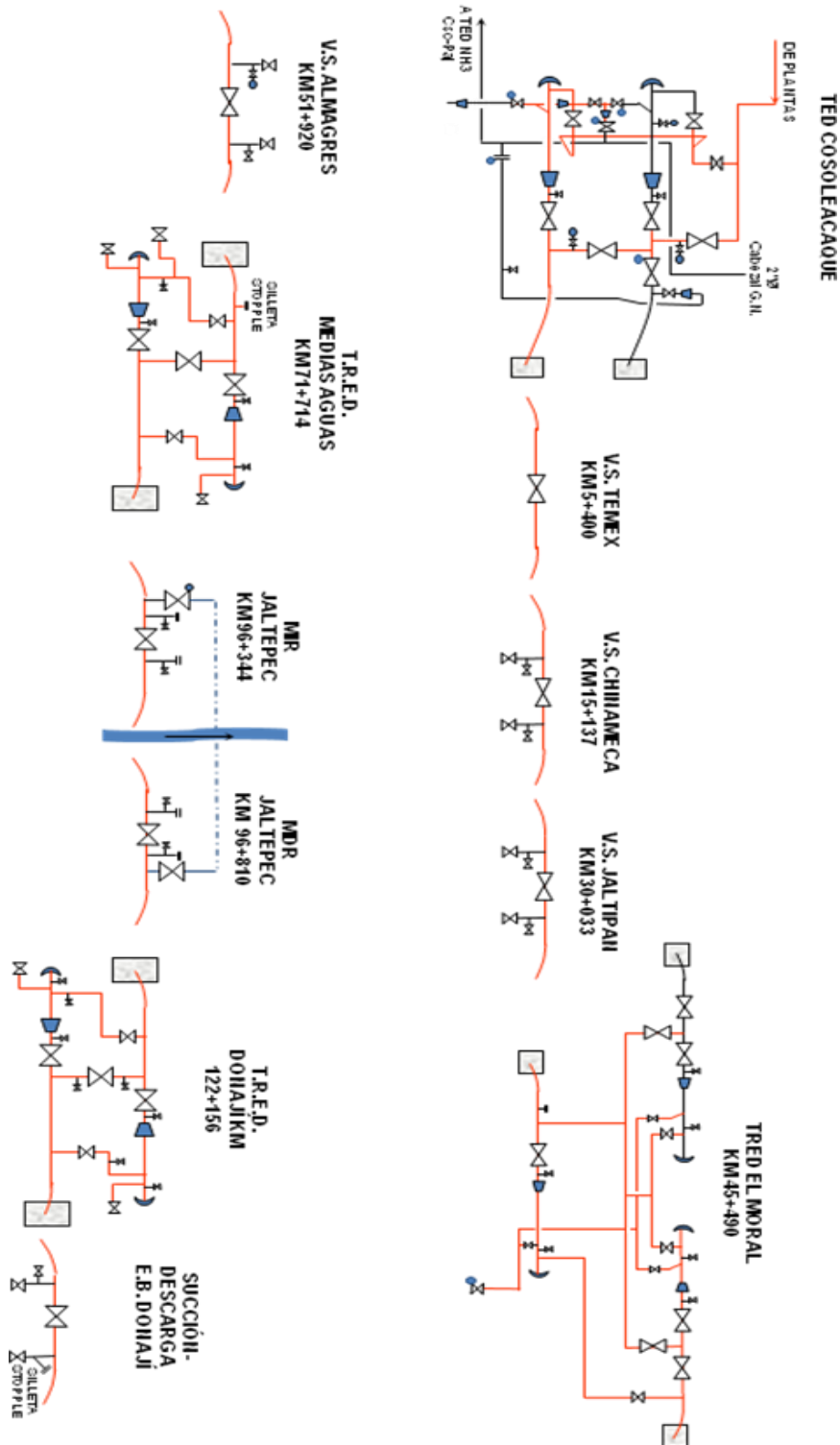
NOTA: EL FORMATO DE ESTA HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD PARA SUSTANCIAS QUIMICAS, CORRESPONDE AL FORMATO OFICIAL EMITIDO POR LA SECRETARIA DEL TRABAJO Y PREVISION SOCIAL; A TRAVES DE LA NORMA OFICIAL MEXICANA NOM - 114 - STPS - 1994.

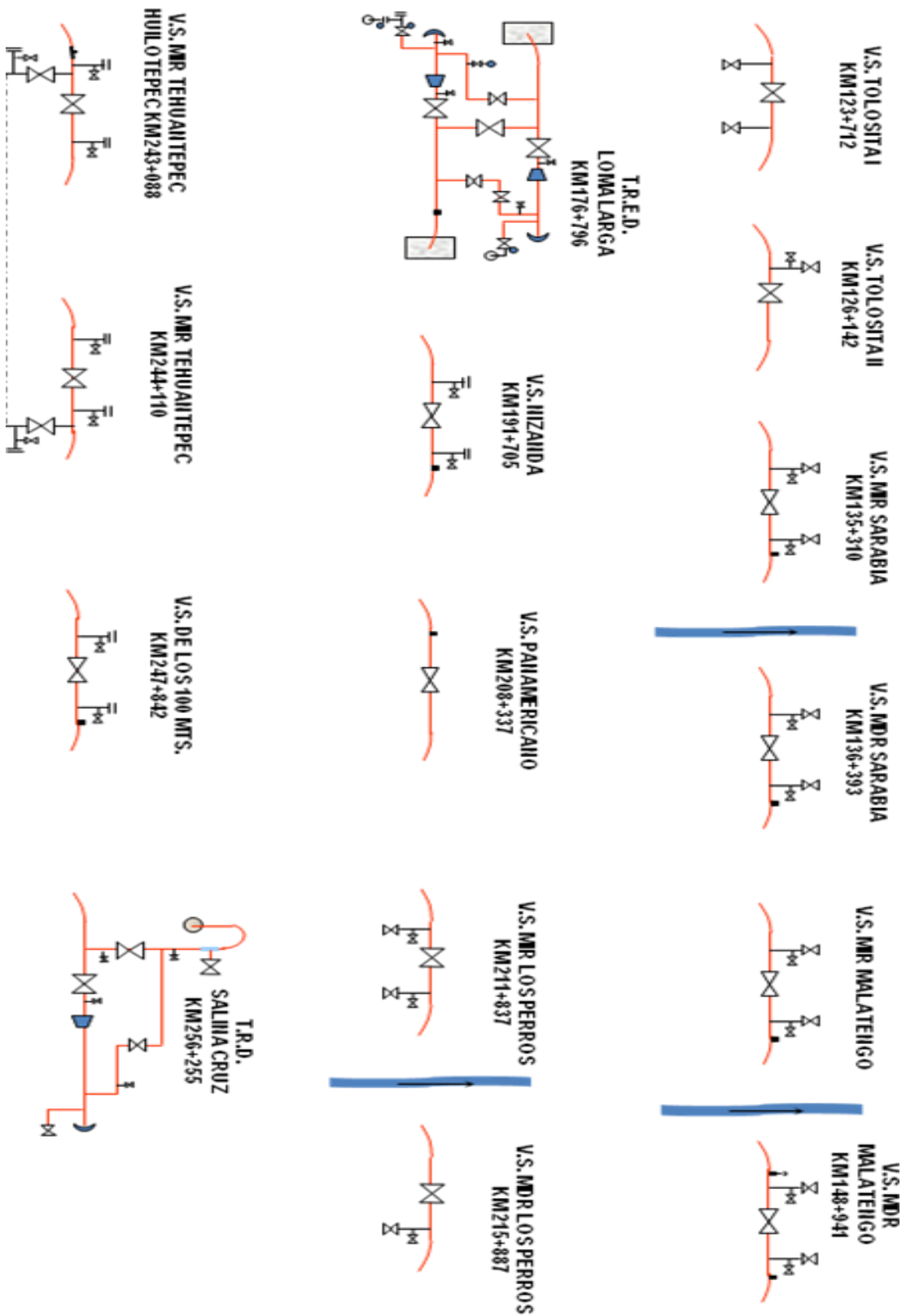
ELABORO:	FIRMA	FECHA	REVISO:	FIRMA	FECHA	VoBo:	FIRMA	FECHA
ING. GIL GARCIA MENDOZA		17/06/00	ING. JAVIER JIMENEZ NAVA		17/06/00	ING. GUILLERMO VIVANCO MONROY		17/06/00
ING. DE SALUD OCUPACIONAL Y NORM.			ENC. DEL DESP. DE LA ASIPA			DIRECTOR GENERAL		

AMONIACO ANHIDRO: HOJA 4 DE 4



## Anexo B. Diagrama Unifilar del Sistema de Transporte de Amoniaco Cosoleacaque – Salina Cruz





## Anexo C. Tablas Técnicas de Equipo de Envío y Recibo

### Complejo Petroquímico Cosoleacaque

Equipo Dinámico	Flujo de Diseño	Flujo Promedio (Ton/día)	Presión Diseño (Kg/cm <sup>2</sup> )	Presión Alarmas (A-B) (Kg/cm <sup>2</sup> )	Presión Disparo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Descripción
GA-201-A/B	750 GPM	1000/1800/2200	29	34	35	Bombas Verticales Centrífugas

### Válvulas de Seguridad

TAG	Localización	Tamaño (Entrada Salida)	Presión Calibración (Kg/cm <sup>2</sup> )	Periodo Calibración
432BARV201	Válvula de Seguridad RV Salina Cruz	1 1/2 " 2 1/2"	35	48 meses

Equipo	Almacenamiento Total (Ton)	Descripción
TE- 200 TE-201 TE-202 TE-203	1900 c/u	Esferas, operan a un mínimo de 20% y un máximo de 60% de su capacidad

### Estación de Re- Bombeo DONAJI

Datos Basicos Operativos de la Estación de RE-Bombeo DONAJI:

Equipo Dinámico	Flujo de Diseño	Flujo Promedio (Ton/día)	Presion Diseño (Kg/cm <sup>2</sup> )	Presión Alarmas (A-B) (Kg/cm <sup>2</sup> )	Presión Disparo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Descripción
BA-P1-A/ BA-P2-A	450 GPM	1800	29	33	35	Bombas Horizontales Centrifugas

TAG	Localización	Tamaño (Entrada/ Salida)	Presión Calibración (Kg/cm <sup>2</sup> )	Ultima calibración	Periodo Calibración
432BARV203	Válvula de Seguridad RV de Donaji	4" 6"	34	22-Julio-2011	48 meses

### Terminal de Refrigeración Salina Cruz Oaxaca

Actualmente se encuentra operando, cuenta con 3 tanques de 20 Mton c/u, tiene una capacidad instalada total de 60 Mton.

Datos Básicos Operativos de la Terminal Refrigerada Salina Cruz

Equipo Dinámico	Flujo de Diseño (Ton/Día)	Presion Diseño (Kg/cm <sup>2</sup> )	Descripción
BC-304 A/B/C/D	100%	4.2 primer paso- 1.75 segundo paso	Compresores Reciprocán

Almacenamiento Terminal Refrigerada Salina Cruz:

Equipo	Almacenamiento total (TM)	Descripción
TV-200 A/B y TC-1	20,000 c/u	Tanques Criogénicos, operan a un mínimo de 5% y un máximo de 80% de su capacidad

Válvulas de Seguridad

TAG	Localización	Tamaño (Entrada Salida)	Presion Calibración (Kg/cm <sup>2</sup> )	Ultima calibración	Periodo Calibración
432TRSC1-PSV3001/PSV3002/PSV3003	Válvula de Seguridad desfogue alta presión patín de medición (límite de baterías)	3/4 " 1"	25	8-Marzo-2012	12 meses



## **Anexo D**

### **Clases de localización**

La clase de localización es una clasificación que se da al ducto de acuerdo a su proximidad con un determinado número de construcciones en un área geográfica a lo largo de su eje longitudinal, tomando en cuenta el servicio y la seguridad del sistema.

Para determinar la clasificación se debe establecer un área unitaria que comprende una zona de 1600 metros de longitud en la ruta de la tubería con un ancho de 400 metros, 200 metros a cada lado del eje longitudinal del ducto. La clasificación se debe determinar con el número de construcciones localizadas en esta área unitaria. Cada vivienda o sección de una construcción destinada para fines de ocupación humana se considera como una construcción por separado.

**Clase de localización 1:** Tubería que en su área unitaria tiene 10 o menos construcciones destinadas a ocupación humana.

**Clase de localización 2:** Tubería que en su área unitaria tiene más de 10 pero menos de 46 construcciones destinadas a ocupación humana.

**Clase de localización 3:** Tubería que cumple con las siguientes condiciones:

- a) Cuando en su área unitaria tenga 46 o más construcciones destinadas a ocupación humana.
- b) Cuando exista una o más construcciones a menos de 90 m del eje de la tubería y se encuentren ocupadas por 20 o más personas por lo menos 5 días a la semana.
- c) Cuando exista un área al aire libre a menos de 100 metros del eje del ducto que sea ocupada por 20 personas o más en su uso (campo deportivo, parque de juegos, otro lugar público de reunión).
- d) Cuando se tenga la existencia de áreas destinadas a fraccionamientos o casas comerciales.

- e) Cuando el ducto se localice en sitios donde a 100 metros o menos haya tránsito intenso (camino o carretera pavimentada con un flujo de 200 vehículos o más en hora pico de aforo) u otras instalaciones subterráneas como ductos de agua, eléctricos, drenaje entre otros.

**Clase de localización 4:** Tubería que en su área unitaria tiene edificios de 4 o más niveles desde el nivel del suelo, tráfico pesado o denso; o bien, donde existan numerosas instalaciones subterráneas.

## Referencias

1. *Curso de Corrosión Básica, Manual del Estudiante*. NACE International, 2004.
2. Pierre R. Roberge, "*Handbook of Corrosion Engineering*". Editorial Mc Graw Hill, USA 2000.
3. R. Winston Revie, Herbert H. Ulich, "*Corrosion and Corrosion Control: An Introduction to Corrosion Science and Engineering*". 4ta Edición, Editorial Wiley-Interscience, USA 2008.
4. A.W. Peabody, "*Control of Pipeline Corrosion*" 2da Edición, Editorial NACE International, USA 2001.
5. R. Winston Revie, Herbert H. Ulich, "*Ulich's Corrosion Handbook*" 2da Edición, Editorial Wiley-Interscience, USA 2000.
6. Marshall E. Parker, Edward G. Peattie, "*Pipeline Corrosion and Cathodic Protection*", 3ra Edición, Editorial Elsevier Science, USA 1999.
7. W. Kent Muhlbauer, "*Pipeline Risk Management Manual: Ideas, Techniques and Resources*" 3ra Edición, Editorial Elsevier Science, USA 2004.
8. John A. Beavers, Neil G. Thompson, "*External Corrosion of Oil and Natural Gas Pipelines*" ASM International Disponible en:  
<https://www.asminternational.org/documents/10192/1849770/ACFAB96.pdf>
9. Pierre-Jean Cunat, "*Corrosion Resistance of Stainless Steels in Soils and in Concrete*" Euro Inox Disponible en [http://www.imoa.info/download\\_files/stainless-steel/euroinox/CorrResist\\_SoilsConcrete\\_EN.pdf](http://www.imoa.info/download_files/stainless-steel/euroinox/CorrResist_SoilsConcrete_EN.pdf)
10. "*Corrosion and Corrosion Control*" Disponible en  
<http://www.chettinadtech.ac.in/coursenotes/Corrosion.pdf>

11. “*Corrosion and Cathodic Protection*” U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation. Disponible en [https://www.usbr.gov/power/data/fist/fist4\\_5/FIST%204-5%20Final%20\(8-22-2013\)%20\(2\).pdf](https://www.usbr.gov/power/data/fist/fist4_5/FIST%204-5%20Final%20(8-22-2013)%20(2).pdf)
12. Paul Otway, “*Best Practice for Management of Pipeline Integrity by Pigging*” Disponible en [https://www.subseauk.com/documents/presentations/paul\\_otway\\_-\\_jee.pdf](https://www.subseauk.com/documents/presentations/paul_otway_-_jee.pdf)
13. “*Fact Sheet: In-Line Inspections (Smart Pig)*” U.S. Department of Transportation. Disponible en <https://primis.phmsa.dot.gov/comm/FactSheets/FSSmartPig.htm>
14. “*Manual de Operación y Mantenimiento de Ductos de Transporte y Distribución de Hidrocarburos de PEMEX*” 2da Edición
15. Gómez de León Hijes Félix Cesáreo, Alcaraz Lorente Diego J., “*Manual básico de corrosión para ingenieros*”, Universidad de Murcia, España, 2004.
16. Control de la corrosión, disponible en : [http://www.nervion.com.mx/web/conocimientos/control\\_corrosion.php](http://www.nervion.com.mx/web/conocimientos/control_corrosion.php)
17. Valdez Salas Benjamín, Schorr Wiener Michael, “*Corrosión y preservación de la infraestructura industrial*”, Omnia Scence, España, 2013.
18. Chang Raymond, Química, McGraw-Hill, Colombia, 2002, Séptima Edición.
19. “Corrosión”, disponible en: <https://corrosioncarlos.wordpress.com/corrosion-por-erosion/>
20. Callister, William D. Jr., “*Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales 2*”, Reverte, España, Reimpresión 2007,
21. “Control de la corrosión”, Disponible en <https://www.textoscientificos.com/quimica/corrosion/proteccion>

22. “Medidas de defensa contra la corrosión”, Disponible en

<http://medidasdedefensacontralacorrosion.blogspot.mx/2012/06/medidas-de-proteccion-contr-la.html>

23. Norma Oficial Mexicana **NOM-027-SESH-2010**: “*Administración de la Integridad de Ductos de recolección y Transporte de Hidrocarburos*”

24. Norma de Referencia **NRF-030-PEMEX-2009**: “*Diseño, construcción, inspección y mantenimiento de ductos terrestres para transporte y recolección de hidrocarburos*”

25. Norma de Referencia NRF-047-PEMEX-2014: “*Diseño, instalación y mantenimiento de los sistemas de protección catódica*”.

26. ASME B 31.8, “*Sistemas de Tuberías de Transporte y Distribución de Gas*”

27. José Gregorio Rendón, “Protección contra la corrosión en tuberías”, Superintendencia de Asistencia Técnica Especializada de PDVSA-GAS, Disponible en

<http://www.gas-training.com/files/protc-corrosion.pdf>

28. Manual de referencia ARPEL para la gestión de la integridad de ductos, 1<sup>a</sup> Edición.

29. “Métodos y técnicas para prevención de la corrosión”, Disponible en:

<http://www.las-pinturas.com/prevencion-corrosion.html>

#### Referencias de Figuras

Figura 1.1 Ejemplo de una Celda de Corrosión, Recuperada de: [https://saylordotorg.github.io/text\\_general-chemistry-principles-patterns-and-applications-v1.0/section\\_23/28f7e127eabcc9de2916eefc451f6e03.jpg](https://saylordotorg.github.io/text_general-chemistry-principles-patterns-and-applications-v1.0/section_23/28f7e127eabcc9de2916eefc451f6e03.jpg)

Figura 1.2 Ejemplo de Electrodo Cobre-Sulfato de Cobre, Recuperada de:

[https://en.wikipedia.org/wiki/Copper%E2%80%93copper\(II\)\\_sulfate\\_electrode#/media/File:CopperSulphateElectrode.png](https://en.wikipedia.org/wiki/Copper%E2%80%93copper(II)_sulfate_electrode#/media/File:CopperSulphateElectrode.png)

Figura 1.3 Series de potencial estándar, Recuperada de:

<http://www.quimitube.com/wp-content/uploads/2015/01/tabla-potencial-estandar-quimitube.png>

Figura 1.4 Serie Galvánica de metales en agua de mar, Recuperada de:

[http://www.structx.com/Material\\_Property\\_Pictures/001-Galvanic\\_Series\\_of\\_Common\\_Metals\\_Scale\\_of\\_Nobility\\_Cathodic\\_Anodic\\_Reactance\\_of\\_Metals\\_Corrosion\\_of\\_Metals.png](http://www.structx.com/Material_Property_Pictures/001-Galvanic_Series_of_Common_Metals_Scale_of_Nobility_Cathodic_Anodic_Reactance_of_Metals_Corrosion_of_Metals.png)

Figura 2.1 Transporte de Hidrocarburos por Ducto, Recuperada de:

[http://www.dioneoil.com/uploads/6/8/7/4/6874938/6119117\\_orig.gif](http://www.dioneoil.com/uploads/6/8/7/4/6874938/6119117_orig.gif)

Figura 2.2 Formación de Zonas Anódicas y Catódicas, Recuperada de:

[http://www.revistasbolivianas.org.bo/scielo.php?pid=S1729-75322014000200004&script=sci\\_arttext](http://www.revistasbolivianas.org.bo/scielo.php?pid=S1729-75322014000200004&script=sci_arttext)

Figura 2.3 Celda de Corrosión Externa en un Ducto, Recuperada de:

<http://www.gas-training.com/files/protc-corrosion.pdf>

Figura 2.4 Corrosión Selectiva de la Costura, Recuperada de:

[http://www.gualstainless.com/?NC=75\\_4\\_Maquinaria\\_pulido\\_y\\_esmerilado](http://www.gualstainless.com/?NC=75_4_Maquinaria_pulido_y_esmerilado)

Figura 2.5 Corrosión MIC, Recuperada de:

<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/9/97/Corrosion.jpg/350px-Corrosion.jpg>

Figura 2.6 Corrosión Galvánica, Recuperada de:

<https://www.quiminet.com/articulos/la-corrosion-de-tuberias-enterradas-y-de-tuberias-expuestas-al-aire-14254.htm>

Figura 2.7 Grietas por SCC, Recuperada de;

<http://www.corrosionlab.com/Failure-Analysis-Studies/20052.clsc.304ss-pipe.htm>

Figura 2.8 Condiciones de SCC, Recuperada de:

<http://www.kemplon.com/wp-content/uploads/2015/08/Tri-Round.jpg>

Figura 2.9 Corrosión por Corrientes Parasitas, Recuperada de:

[http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/079/htm/sec\\_10.htm](http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/079/htm/sec_10.htm)

Figura 2.10 Celda de Aireación Diferencial, Recuperada de:

<http://www.fuentepura.com.ar/blog/68-agua-no-contaminada.html>

Figura 2.11 Picaduras por Aireación Diferencial, Recuperada de:

<https://i2.wp.com/aem.asm.org/content/80/4/1226/F1.large.jpg>

Figura 3.1 Esquema de un Sistema de Protección Catódica por Ánodos de Sacrificio, Recuperada de:

<https://corrosion-in-rod-pumped-wells.wikispaces.com/file/view/fi6.jpg/183200461/511x316/fi6.jpg>

Figura 3.2 Esquema de un Sistema de Protección Catódica por Corriente Impresa, Recuperada de:

<http://imgur.com/osORpv5>

Figura 3.3 Partes de un Diablo Instrumentado MFL, Recuperada de:

[https://media.licdn.com/mpr/mpr/shrinknp\\_800\\_800/AEAAQAAAAAAAAeHAAAAJGI5MzRINmQ1LWZmNjYtNGNmZi1hMDRhLTU3NzJiMzA0ZTY0Nw.jpg](https://media.licdn.com/mpr/mpr/shrinknp_800_800/AEAAQAAAAAAAAeHAAAAJGI5MzRINmQ1LWZmNjYtNGNmZi1hMDRhLTU3NzJiMzA0ZTY0Nw.jpg)

Figura 3.4 Operación de MFL, Recuperada de:

[http://www.subseauk.com/documents/presentations/paul\\_otway\\_-\\_jee.pdf](http://www.subseauk.com/documents/presentations/paul_otway_-_jee.pdf)

Figura 3.5 Principio de Operación UT, Recuperada de:

[http://www.subseauk.com/documents/presentations/paul\\_otway\\_-\\_jee.pdf](http://www.subseauk.com/documents/presentations/paul_otway_-_jee.pdf)

Figura 3.6 Configuración del Envío de un Diablo, Recuperada de:

<http://www.parstechnic.com/images/launch06.gif>

Figura 4.1 Diagrama de Flujo de la Administración de Integridad de Ductos, Recuperada de: NOM-027 Administración de Integridad de Ductos de Recolección y Transporte de Hidrocarburos

Figura 5.1 Molécula de Amoniaco, Recuperada de:

<https://climaticocambio.com/mas-amoniaco-en-la-atmosfera-por-el-cambio-climatico/>

Figura 5.2 Uso del Amoniaco, Recuperada de:

<https://www.planetagarden.com/fertilizantes-abonos-desarrollo-las-plantas/>

Figura 5.3 Distribución de Amoniaco, Recuperada de:

<http://www.ptq.pemex.gob.mx/productosyservicios/eventosdescargas/Documents/FORO%20AMONIACO/2013/1.a%20Presentaci%C3%B3n%20de%20producci%C3%B3n%20de%20amoniaco.pdf>

Figura 5.4 Trazo del ducto Cosoleacaque-Salina Cruz, Recuperada de: PEMEX SIIA

Figura 5.5 Trazo del Ducto de Amoniaco Loma Larga – Salina Cruz, Recuperada de: PEMEX SIIA