



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
FACULTAD DE INGENIERIA**



**PROGRAMA ÚNICO DE ESPECIALIZACIONES DE INGENIERÍA  
INGENIERIA CIVIL**

**TITULO DEL TEMA**

**ASPECTOS BASICOS DEL DISEÑO, CONSTRUCCION,  
INSPECCION Y MANTENIMIENTO DE DUCTOS TERRESTRES  
PARA TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS**

**PROYECTO TERMINAL**

**PARA OBTENER EL GRADO DE ESPECIALISTA EN CONSTRUCCION**

**PRESENTA**

**ING. EMMANUEL CHAVEZ GONZALEZ**

**México D.F. Junio de 2015**

**TUTOR: M.I. MARCO TULIO MENDOZA ROSAS**



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.



ASPECTOS BASICOS DEL DISEÑO, CONSTRUCCION, INSPECCION Y MANTENIMIENTO DE DUCTOS  
TERRESTRES PARA TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS

**INDICE**

I	Introducción	1
II	Definiciones	2
III	Aspectos básicos de diseño	8
III.1	Bases de usuario	8
III.2	Bases de diseño	8
III.3.	Solicitaciones	8
III.3.1	Presión interna de diseño	8
III.3.2	Cargas vivas	9
III.3.3	Cargas muertas	9
III.3.4	Cargas dinámicas	9
III.3.5	Efectos de incremento de presión por expansión del fluido	9
III.3.6	Cargas por expansión térmica y por expansión	9
III.3.7	Interacción suelo-tubería	9
III.4	Presión interna de diseño	9
III.5	Expansión y flexibilidad	10
III.6	Estabilidad	10
III.7	Control de corrosión	11
III.8	Derecho de vía	11
III.9	Enterrado del ducto	12
III.10	Válvulas de Seccionamiento	12
III.11	Trampas de diablos	14
III.12	Cruces	14
III.12.1	Cruzamiento con ríos o cuerpos de agua	14
III.12.2	Cruzamiento con vías de comunicación	15
IV	Especificaciones básicas de construcción	16
IV.1	Procedimientos de construcción y certificados de calidad	16
IV.2	Certificados de equipo y maquinaria	16
IV.3	Materiales	17
IV.4	Derecho de vía	18
IV.5	Conformación	18
IV.6	Caminos de acceso	19
IV.7	Excavación de zanja	19
IV.8	Tendido	20
IV.9	Doblado	20
IV.10	Alineado	21
IV.11	Calificación y certificación de los procedimientos de soldadura	21
IV.12	Soldaduras de campo	22
IV.13	Protección anticorrosiva en juntas en campo	23
IV.14	Prueba dieléctrica del recubrimiento	23
IV.15	Bajado y tapado	23
IV.16	Empates	24
IV.17	Prueba hidrostática	24
IV.18	Inspección con diablo geométrica	26



ASPECTOS BASICOS DEL DISEÑO, CONSTRUCCION, INSPECCION Y MANTENIMIENTO DE DUCTOS  
TERRESTRES PARA TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS

IV.19	Reacondicionamiento del derecho de vía	26
IV.20	Obras especiales	28
V	Inspección	29
V.1	Inspección nivel 1	29
V.2	Inspección nivel 2	30
V.3	Inspección nivel 3	32
V.4	Inspección nivel 4	33
VI	Aspectos básicos del Mantenimiento	34
VI.1	Mantenimiento preventivo de ductos	34
VI.2	Mantenimiento correctivo de ductos	36
VI.3	Actividades del mantenimiento de ductos	38
VII	Descripción general del proyecto de ingeniería complementaria, procura y construcción del ducto de 18 pulgadas de diámetro, de Cima de Togo Estado de Hidalgo a Venta de Carpio, Estado de México	40
VII.1	Cruzamientos	40
VII.2	Libramientos	41
VII.3	Descripción del trazo	41
VII.4	Interconexión en Cima de Togo	43
VII.5	Válvulas de seccionamiento	43
VII.6	Trampa de Recibo y Envío de Diablos Xihuingo	44
VII.7	Interconexiones, TRD Venta de Carpio	44
VII.8	Sistema de protección catódica	44
VII.9	Sistema de recubrimiento anticorrosivo	46
VII.10	Aislamientos eléctricos	46
VII.11	Sistema digital de monitoreo y control	47
VII.12	Sistema de telecomunicaciones	47
VIII	Conclusiones	49
IX	Referencias	51



## ASPECTOS BASICOS DEL DISEÑO, CONSTRUCCION, INSPECCION Y MANTENIMIENTO DE DUCTOS TERRESTRES PARA TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS

### I. Introducción

En la actualidad Pemex cuenta con una importante infraestructura terrestre en donde se tiene una gran red de ductos para el transporte de hidrocarburos distribuidos a lo largo de la República Mexicana. En los próximos años, como consecuencia del desarrollo de nuevos proyectos de transporte de hidrocarburos, se tiene previsto el diseño y construcción de nuevos ductos terrestres, sin olvidar las fases de inspección y mantenimiento para ductos existentes.

En el diseño, construcción e inspección de ductos terrestres se toman en cuenta los criterios establecidos en normatividad extranjera, así como los elementos establecidos en las normas propias de Petróleos Mexicanos, que toma en cuenta las características y condiciones propias de nuestro país.

Los capítulos que integran este trabajo, no describen de manera específica todos los detalles de diseño, construcción y mantenimiento que se pueden presentar, situación que debe analizar y resolver el responsable del proyecto específico; es un resumen del quehacer diario del transporte de hidrocarburos por ducto, que recoge las experiencias de la gente responsable del diseño, construcción, mantenimiento, operación y seguridad.

El objetivo es dar un panorama general sobre los aspectos básicos del diseño, construcción, inspección y mantenimiento tanto de la línea regular, instalaciones superficiales, así como de las obras especiales, acometidas e interconexiones, de los sistemas de ductos para transporte y recolección de hidrocarburos.



Figura 1. Construcción de línea regular



## ASPECTOS BASICOS DEL DISEÑO, CONSTRUCCION, INSPECCION Y MANTENIMIENTO DE DUCTOS TERRESTRES PARA TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS

### II. Definiciones

**Abolladura:** Depresión en la superficie de la tubería.

**Accesorios:** Válvulas, actuadores, sistemas de inyección de inhibidores, rectificadores, medidores, entre otros.

**Acometida:** Porción de ducto utilizado para derivar el fluido de un ducto de transporte ó recolección hasta los límites de batería de las refinerías, plantas de tratamiento de gas, estaciones de compresión, bombeo y otras instalaciones que se requieren como parte del sistema de transporte.

**Ánodo:** Elemento emisor de corriente eléctrica (electrodo) en el cual ocurre el fenómeno de oxidación.

**Ánodo galvánico o de sacrificio:** Es el metal con potencial de oxidación más electronegativo que el ducto por proteger y que se consume al emitir corriente de protección.

**Anomalía:** Cualquier daño mecánico, defecto o condiciones externas que puedan poner o no en riesgo la integridad del ducto.

**Arrancadura:** Pérdida metálica sobre la pared exterior del ducto causado por el golpe de un objeto agudo.

**Área efectiva del defecto:** Área efectiva de la pérdida por corrosión obtenida mediante el perfil de corrosión.

**Bases de Diseño:** Es toda la información requerida para el desarrollo adecuado del proyecto.

**Bases de Usuario:** Información proporcionada por el área interesada en la construcción, acerca de las necesidades y características que debe cumplir el sistema.

**Camisas mecánicas:** dispositivos como grapas, abrazaderas de fábrica ó envolventes atornilladas ó soldadas en la sección de la tubería.

**Cátodo:** Es el electrodo de una celda electroquímica, en el cual ocurren las reacciones electroquímicas de reducción, en un sistema de protección catódica es la estructura a proteger.



ASPECTOS BASICOS DEL DISEÑO, CONSTRUCCION, INSPECCION Y MANTENIMIENTO DE DUCTOS  
TERRESTRES PARA TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS

**Conexiones:** Aditamentos que sirven para unir o conectar tubería, tales como: Tes, bridas, reducciones, codos, "tredelets", "weldolets", "socolets", entre otros.

**Constricción:** Discontinuidad geométrica que se encuentra bajo un estado triaxial de esfuerzo.

**Corrosión:** Degradación o deterioro de un material por efecto del electrolito o medio en que se encuentra, los metálicos como el acero sufren una reacción electroquímica debido a la interacción con el medio.

**Corrosión generalizada:** Es una corrosión de tipo uniforme que presenta una pérdida de metal distribuida en toda o una parte de la superficie interna o externa de la tubería.

**Corrosión localizada:** Es una corrosión aislada en una superficie interna o externa del metal que podría en corto tiempo perforarla, puede presentarse con diversas dimensiones.

**Clasificación por clase de localización:** Categorización que se realiza al ducto considerando el número y proximidad de las construcciones en un área geográfica unitaria a lo largo de su eje longitudinal, y que toma en cuenta el servicio y la seguridad del sistema.

**Cruces:** Obra especial en el ducto que atraviesa en su ruta con una serie de obstáculos artificiales y naturales como son: ríos, lagos, pantanos, montañas, poblados, carreteras, vías férreas, tuberías, canales, entre otros.

**Daño caliente (quemadura):** Es una alteración micro estructural del acero, con o sin pérdida de material, causada por el uso indebido del electrodo o soplete.

**Daño mecánico:** Es aquel producido por un agente externo, ya sea por impacto, rayadura o presión y puede estar dentro o fuera de norma.

**Defecto:** Discontinuidad de magnitud suficiente para ser rechazada por las normas o especificaciones.

**Derecho de vía:** Es la franja de terreno donde se alojan los ductos, requerida para la construcción, operación, mantenimiento e inspección de los sistemas para el transporte y distribución de hidrocarburos.

**Diablo:** Dispositivo con libertad de movimiento que es insertado en el ducto para realizar funciones de limpieza y/o inspección del mismo.



ASPECTOS BASICOS DEL DISEÑO, CONSTRUCCION, INSPECCION Y MANTENIMIENTO DE DUCTOS  
TERRESTRES PARA TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS

**Diablo geómetra:** Equipo que se utiliza para verificar la existencia de abolladuras, dobleces, cambios de espesor y geometría interna del ducto.

**Diablo instrumentado:** Equipo de inspección utilizado para registrar daños, defectos y espesores en la pared del ducto.

**Ducto:** Sistema de tubería con diferentes componentes tales como: válvulas, bridas, accesorios, espárragos, dispositivos de seguridad o alivio, entre otros, por medio del cual se transportan los hidrocarburos (Líquidos o Gases).

**Ducto enterrado:** Es aquel ducto terrestre que está alojado bajo la superficie del suelo.

**Ducto de recolección:** Es el ducto que colecta aceite y/o gas y agua de los pozos productores para su envío a una batería o estación de separación.

**Ducto de transporte:** Es la tubería que conduce hidrocarburos en una fase o multifases, entre estaciones y/o plantas para su proceso, traslado en el que no se presenta ningún proceso físico o químico de los fluidos. Se consideran ductos de transporte los que se encuentran dentro de estaciones de: bombeo, compresión y almacenamiento.

**Ducto no restringido** Ducto o tramo de tubería que no tiene restricción axial y por tanto permite las deformaciones axiales.

**Ducto restringido:** Ducto o tramo de tubería que debido a sus condiciones en los extremos tiene restricción o limitación para permitir deformaciones axiales.

**Ducto sumergido:** Es aquel ducto terrestre que debido a su trayectoria puede encontrarse sobre el lecho de un cuerpo de agua (pantano, río, laguna, lago, etc entre otros) o enterrado en él.

**Esfuerzo tangencial o circunferencial:** Es el esfuerzo ocasionado en la pared de la tubería por la presión interna de un fluido, se expresa en kPa o lb/pulg<sup>2</sup>.

**Espesor nominal de pared:** Es el espesor de pared de la tubería que es especificada por las normas de fabricación.

**Grieta:** Discontinuidad del material interior o exterior que no ha llegado a traspasar el espesor de pared de la tubería.

**Inhibidor de corrosión:** Compuesto químico que se dosifica al fluido transportado para disminuir y controlar la velocidad de corrosión.



## ASPECTOS BASICOS DEL DISEÑO, CONSTRUCCION, INSPECCION Y MANTENIMIENTO DE DUCTOS TERRESTRES PARA TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS

**Instalación superficial:** Tramo de ducto no enterrado utilizado en troncales, válvulas de seccionamiento, trampas de envío y recibo de diablos, pasos aéreos, entre otros.

**Interconexión:** Porción de ducto utilizado para interconectar ductos de transporte, ductos de recolección o trampas de diablos.

**Junta de aislamiento:** Accesorio intercalado en el ducto, constituido de material aislante que sirve para seccionar eléctricamente el ducto por proteger.

**Lingada:** Sección de tubería de longitud variable, formada por tramos soldados a tope de manera circunferencial.

**Mantenimiento correctivo:** Acción u operación que consiste en reparar los daños o fallas en los ductos para evitar riesgos en su integridad o para restablecer la operación del mismo.

**Mantenimiento preventivo:** Actividades llevadas a cabo a intervalos predeterminados o de acuerdo a criterios prescritos o como una recomendación emanada del resultado de una actividad predictiva, para reducir la probabilidad de falla o la degradación del funcionamiento por debajo de los límites aceptables de operación, seguridad y diseño de un ducto, componente o accesorio.

**Obras especiales:** Son todas aquellas obras diferentes a la línea regular como son: área de trampas de diablos, área de válvulas de seccionamiento, cruces, entre otros, las cuales requieren de consideraciones específicas para su diseño y construcción dado que interrumpen la instalación de la línea regular.

**Penetrómetro:** Dispositivo usado para determinar el nivel de calidad radiográfico. No está destinado para usarse en la evaluación del tamaño, ni para establecer límites de aceptación de las discontinuidades.

**Perfil de Corrosión:** Conjunto de lecturas que define el contorno de profundidades de una región con pérdida de espesor por corrosión en la pared de un ducto.

**Picadura:** Corrosión localizada confinada a un punto o un área pequeña, la cual tiene forma de cavidad y que en corto plazo puede traspasar el espesor del material afectado.

**Presión interna de diseño (Pi):** Es la presión interna a la que se diseña el ducto y es igual a 1,1 veces la presión de operación máxima.

**Presión de operación máxima (POM):** Es la presión máxima a la que se espera que un ducto sea sometido durante su operación.



## ASPECTOS BASICOS DEL DISEÑO, CONSTRUCCION, INSPECCION Y MANTENIMIENTO DE DUCTOS TERRESTRES PARA TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS

**Presión Interna:** Es la presión generada en las paredes internas de la tubería por efecto del fluido transportado.

**Protección catódica:** Método electroquímico de prevención para proteger ductos enterrados y/o sumergidos de la corrosión exterior, el cual consiste en establecer una diferencia de potencial convirtiendo la superficie metálica en cátodo mediante el paso de corriente directa proveniente de alguna fuente propia del sistema.

**Ranura:** Abertura delgada y poco profunda producida por algún objeto filoso.

**Rayos Gamma:** Radiación electromagnética emitida continuamente por fuentes radioactivas.

**Rayos X:** Radiación de longitud de onda controlable utilizada para obtener radiografías de alta sensibilidad.

**Rehabilitaciones Mayores:** Son las actividades de sustitución o modificación de partes de los sistemas para el transporte y recolección de hidrocarburos y petroquímicos, en estado líquido o gaseoso.

**Reparación definitiva:** Es el remplazo de la sección del ducto que está fuera de norma.

**Reparación permanente:** Es el reforzamiento de una sección de la tubería que contiene el defecto, mediante la colocación de una envolvente no metálica o metálica soldada longitudinalmente y donde la correspondiente soldadura circunferencial es opcional.

**Reparación provisional:** Es la acción de colocar envolventes tales como grapas de fábrica o improvisadas atornilladas en la sección de la tubería que contiene un daño o defecto.

**Sanidad:** Condición de un ducto cuyo material base y/o soldadura no contiene defectos.

**Solicitud:** Carga de tipo estático o dinámico que actúa en el ducto y que debe ser considerada durante el diseño.

**Soporte:** Elemento que soporta tanto cargas estáticas como dinámicas provenientes de la tubería y equipos a los cuales se encuentra asociado.

**Técnica de inspección de pared sencilla:** Es aquella en la que la radiación atraviesa solamente una pared de la soldadura (por lo general, la fuente está



ASPECTOS BASICOS DEL DISEÑO, CONSTRUCCION, INSPECCION Y MANTENIMIENTO DE DUCTOS  
TERRESTRES PARA TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS

centrada en el interior de la tubería), la cual será interpretada para su aceptación en la radiografía.

Técnica de inspección de doble pared: Es aquella en la que la radiación atraviesa dos paredes (la fuente se encuentra fuera de la tubería), de las cuales solo será interpretada para su aceptación en la radiografía, la pared de la soldadura del lado de la película.

Temperatura de diseño: Es la temperatura esperada en el ducto, bajo condiciones de operación máxima extraordinaria y que puede ser igual o mayor a la temperatura de operación.

Temperatura de operación: Es la temperatura máxima del ducto en condiciones normales de operación.

Temperatura de transición dúctil-frágil (TTDF): Temperatura a la cual un material presenta cambio de un comportamiento dúctil a frágil.

Tenacidad: Capacidad de un metal para absorber energía durante el proceso de fractura. Se considera una Baja Tenacidad cuando el valor es igual o menor a 20 lbs-pie.

Tramo corto: Sección "spool" o secciones de tubería unidas por una o más soldaduras circunferenciales de campo, con o sin conexiones. Puede ser parte de un ducto que se utiliza en cruces de cuerpos de agua (ríos o lagunas), claros libres, reparaciones de ductos o a la llegada y salida en válvulas de seccionamiento o trampas de diablos. Un tramo corto no debe ser mayor de 500 m.

Trampa de diablos: Dispositivo utilizado para fines de envío o recibo de diablos de inspección o limpieza interna del ducto.

Tubería: Componente tubular que se utiliza para construir un sistema de ductos, tal componente puede ser fabricado de diferentes materiales.

Válvula de alivio: Es un accesorio relevador automático de presión, actuando por presión estática aplicada sobre la válvula.

Válvula de seccionamiento: Accesorio que se utiliza para seccionar tramos de tubería para reparación, mantenimiento o emergencia del ducto.

Velocidad de corrosión: Es la pérdida de material metálico por unidad de tiempo, expresada en mm/año (pulg/año).



## ASPECTOS BASICOS DEL DISEÑO, CONSTRUCCION, INSPECCION Y MANTENIMIENTO DE DUCTOS TERRESTRES PARA TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS

### III. Aspectos básicos del diseño

#### III.1. Bases de usuario.

Las bases de usuario es el documento donde se especifican las características técnicas que el ducto a construir debe cumplir. La mínima información que debe contener este documento es:

- a) Descripción de la obra.
- b) Alcance del proyecto.
- c) Localización.
- d) Condiciones de operación.
- e) Características del fluido a transportar.
- f) Información sobre el derecho de vía ó sugerencia de trazo.
- g) Condiciones de mantenimiento.
- h) Instrumentación y dispositivos de seguridad.

Con esta información el diseñador debe elaborar las bases de diseño.

#### III.2. Bases de diseño

La información mínima que deben contener las bases de diseño es la siguiente:

- a) Características físicas y químicas del fluido.
- b) Clases de localización en el derecho de vía.
- c) Especificaciones del material y componentes seleccionados de acuerdo con 8.1.3.
- d) Presión y temperatura en condiciones normales y máximas de operación.
- e) Cargas sobre el ducto durante su fabricación, instalación, operación y mantenimiento de acuerdo con 8.1.4.
- f) Espesor adicional por desgaste de corrosión.
- g) Procesos de operación y mantenimiento.
- h) Protección contra la corrosión interna y externa.
- i) Características del derecho de vía.
- j) Requerimientos adicionales de diseño indicados en 8.1.11.
- k) Normas y especificaciones a utilizarse en el proyecto.

#### III.3 Solicitaciones

III.3.1 Presión interna de diseño. Todos los ductos deben diseñarse para soportar una presión interna de diseño la cual debe ser igual a 1.1 veces la presión de operación máxima (POM). En caso de ductos sumergidos, debe considerarse en el diseño el diferencial positivo máximo posible entre la presión externa y la presión interna.



ASPECTOS BASICOS DEL DISEÑO, CONSTRUCCION, INSPECCION Y MANTENIMIENTO DE DUCTOS  
TERRESTRES PARA TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS

III.3.2 Cargas vivas. El diseño debe incluir el peso del fluido transportado y cualquier otro material externo tal como hielo o nieve que se encuentre adherido al ducto.

III.3.3 Cargas muertas. El diseño debe incluir el peso propio del ducto, componentes o accesorios, recubrimientos y relleno de la zanja.

III.3.4 Cargas dinámicas. El diseño debe considerar las cargas dinámicas y los esfuerzos que éstas producen en la tubería. Estas incluyen sismo, impacto, movimiento del suelo, vibración debida a los vórtices generados por corriente.

III.3.5 Efectos de incremento de presión por expansión del fluido. En el diseño deben tomarse medidas para proveer la resistencia suficiente o aliviar el incremento de presión ocasionado por el calentamiento del fluido transportado.

III.3.6 Cargas por expansión térmica y por contracción. Se deben tomar las medidas necesarias para prevenir los efectos por expansión térmica y por contracción en los sistemas de tuberías.

III.3.7 Interacción suelo-tubería. En el diseño de ductos enterrados debe considerarse la interacción entre el suelo y la tubería, para determinar los desplazamientos longitudinales y las deformaciones de ésta última, principalmente en suelos no homogéneos.

### III.4 Presión interna de diseño

La tubería y sus componentes deben diseñarse para una presión interna de diseño ( $P_i$ ) igual a 1,1 veces la presión de operación máxima (POM) a régimen constante tanto para hidrocarburos líquidos como gaseosos, la cual no debe ser menor a la presión de la carga hidrostática en cualquier punto del ducto en una condición estática.

La presión interna de diseño para los sistemas de tuberías de acero o el espesor de pared nominal para una presión de diseño dada, será determinado por la siguiente expresión basada en la fórmula de Barlow.

$$P_i = [2t(SMYS)f_{CP}]/D \dots\dots\dots(1)$$

Donde:

- Pi = Presión interna de diseño, en kPa (lb/pulg<sup>2</sup>).
- D = Diámetro exterior nominal de la tubería, en mm (pulg.)
- t = Espesor de pared de acero de la tubería, en mm (pulg.).
- SMYS = Esfuerzo de Cedencia Mínimo Especificado (Specified Minimum Yield Strength), en kPa(lb/pulg<sup>2</sup>).



ASPECTOS BASICOS DEL DISEÑO, CONSTRUCCION, INSPECCION Y MANTENIMIENTO DE DUCTOS  
TERRESTRES PARA TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS

$f_{CP}$  = Factor de capacidad permisible por presión interna de diseño, y se determina como sigue:

$$f_{CP} = (f_{DIS})(f_{TEMP})(f_{JL}) \dots\dots\dots(2)$$

Donde:

$f_{DIS}$  = Factor de diseño por clase de localización que depende del tipo de fluido transportado.

$f_{TEMP}$  = Factor de diseño por temperatura.

$f_{JL}$  = Factor de junta longitudinal.

### III.5 Expansión y flexibilidad

El ducto debe diseñarse con la suficiente flexibilidad para absorber una posible expansión o contracción que pueda ocasionar esfuerzos en el material, mayores a los permisibles, momentos flexionantes de importancia en las juntas, fuerzas o momentos elevados en los puntos de conexión de equipos o en los puntos de guía o anclaje. Deben realizarse los respectivos análisis donde exista duda de la adecuada flexibilidad del sistema.

En ductos no restringidos superficiales, la flexibilidad se debe obtener mediante el uso de codos, omegas y cambios de dirección o utilizando juntas de expansión para absorber los cambios térmicos. Si se utilizan juntas de expansión, se deben instalar anclas de resistencia y rigidez suficiente para soportar las fuerzas en los extremos debidas a la presión del fluido u otras causas.

La expansión térmica de los ductos enterrados puede causar movimientos en los puntos terminales, cambios de dirección y cambio de dimensiones, acercándose o rebasando los esfuerzos permisibles. Dichos movimientos puedan reducirse a través de anclajes.

### III.6 Estabilidad

Todos los ductos sumergidos o aquellos tramos localizados en zonas pantanosas, áreas inundadas, áreas inundables, cruces de ríos, entre otros, deben ser estables bajo la acción combinada de cargas hidrostáticas e hidrodinámicas. La estabilidad del ducto puede lograrse con la colocación de lastre de concreto, con un espesor mínimo de 25 mm, anclajes puntualmente espaciados o enterrado del tramo, para cualquier diámetro y espesor de tubería.

Deben tomarse consideraciones especiales en aquellos ductos instalados en suelos flojos, que crucen diques, entre otros, donde el asentamiento diferencial puede llevar a pérdida de la integridad mecánica.



## ASPECTOS BASICOS DEL DISEÑO, CONSTRUCCION, INSPECCION Y MANTENIMIENTO DE DUCTOS TERRESTRES PARA TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS

### **III.7 Control de Corrosión**

Se deben implementar las medidas necesarias para el control de la corrosión interna y externa de la tubería, de acuerdo a las condiciones del sistema de ductos, el medio en el cual se encuentre y a lo indicado a lo siguiente.

III.7.1 Control de la corrosión exterior. El control de la corrosión exterior de los ductos debe realizarse mediante la aplicación de recubrimientos anticorrosivos específicos para tuberías enterradas o sumergidas, así como para tuberías aéreas en instalaciones superficiales, lo que se debe complementar con un sistema de protección catódica.

III.7.2 Protección catódica. Los ductos enterrados o sumergidos deben estar catódicamente protegidos por medio de ánodos galvánicos o por un sistema de ánodos con corriente impresa que mitigue la corrosión. El diseñador debe solicitar a PEMEX información del corredor de tuberías respecto a la cantidad de ductos, potenciales de protección de cada uno de ellos y resistividades del suelo, así como de las características y condiciones de operación de los sistemas de protección catódicas existentes. En caso de no contar PEMEX con esta información, el diseñador debe efectuar los trabajos correspondientes al estudio y pruebas de la protección catódica de los ductos existentes para considerarlo en el diseño del sistema de protección catódica del ducto nuevo.

III.7.3 Control de la corrosión interior. El control de la corrosión interna de los ductos debe de contemplar la instalación de niples de evaluación e inyección de inhibidores de corrosión.

### **III.8 Derecho de vía**

El ancho mínimo del derecho de vía debe ser de 10 a 25 m, de acuerdo a la Tabla 1.

El material producto de la excavación, en ningún caso debe estar a menos de 1 m de distancia de la orilla de la zanja, y la inclinación del material de la excavación no debe ser mayor a 45 grados con respecto a la superficie horizontal.

La separación entre ductos dentro de la misma zanja debe ser de 1 m como mínimo y la separación entre ductos en diferente zanja debe ser de 2 m como mínimo de paño a paño. La separación entre ductos que se cruzan debe ser de 1 m como mínimo a paño inferior del ducto existente, tanto para excavación a cielo abierto como para perforación direccional.

La separación mínima entre la pata de la torre o sistema de tierras de la estructura de una línea de transmisión eléctrica y el ducto debe ser mayor de 15 m para



ASPECTOS BASICOS DEL DISEÑO, CONSTRUCCION, INSPECCION Y MANTENIMIENTO DE DUCTOS  
TERRESTRES PARA TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS

líneas de transmisión eléctrica de 400 kilovolts, y mayor de 10 m para líneas de transmisión eléctrica de 230 kilovolts y menores.

Cuando no sea posible lograr las distancias mínimas recomendadas, se debe realizar un estudio del caso particular para reforzar el recubrimiento dieléctrico de la tubería donde sea necesario y, por ningún motivo, la distancia debe ser menor a 3 m respecto de la pata de la línea de transmisión eléctrica.

Diámetro (d) mm (pulg.)	Ancho mínimo del derecho de vía en (m)		
	A	B	C
De 50.8 (2) a 203.2 (8)	10	3	7
De 254.0 (10) a 457.2 (18)	13	4	9
De 508.0 (20) a 914.4 (36)	15	5	10
Mayores de 914.4 (36)	25	10	15

Tabla 1. Ancho mínimo del derecho de vía

### III. 9 Enterrado del ducto

El colchón mínimo de suelo que debe tener el ducto es el indicado en las Tablas 2 y 3 para Gas y Líquido respectivamente. Para vías fluviales mayores a 30 m de ancho debe realizarse un estudio específico del cruce.

Localización	Excavación normal (m)	Excavación en Roca (m)
Clase 1	1.00	0.60
Clase 2, 3 y 4	1.20	0.60
Cruces de Rios y arroyos (vías fluviales)	1.80	0.60

Tabla 2. Colchón mínimo de suelo en línea regular para gas

Localización	Excavación normal (m)	Excavación en Roca (m)
Área industrial, comercial o residencial.	1.20	0.60
Cruces de ríos y arroyos. (vías fluviales)	1.80	0.60
Cualquier otra área.	1.20	0.60

Tabla 3. Colchón mínimo de suelo en línea regular para líquido

### III.10 Válvulas de seccionamiento

Los ductos deben considerar válvulas de seccionamiento para limitar el riesgo y daño ocasionado por rotura del ducto, las cuales deben proporcionar un sello



## ASPECTOS BASICOS DEL DISEÑO, CONSTRUCCION, INSPECCION Y MANTENIMIENTO DE DUCTOS TERRESTRES PARA TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS

seguro en ambos extremos, independiente de la presión de la línea; así como facilitar el mantenimiento del sistema. Dichas válvulas se deben instalar en lugares de fácil acceso y protegerlas de daños o alteraciones. Asimismo, se debe considerar una infraestructura para su fácil operación. La localización de las válvulas se hará preferentemente en los lugares que por necesidad de operación sea conveniente instalarse como:



Figura 2. Válvula de compuerta para seccionamiento

- a) En cada conexión ramal al ducto principal, de manera que su ubicación sea lo más cercano a ésta.
- b) Antes y después de cruces con ríos, lagos o lagunas conforme al estudio de riesgo.
- c) Antes y después del cruce de fuentes de abastecimiento de agua para consumo humano.
- d) En caso de ductos de conducción de líquidos con pendientes pronunciadas (ascendentes o descendentes), 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 corriente arriba o también instalar un mayor número de válvulas de seccionamiento accionadas por actuador para una rápida operación. En cualquier caso, la ubicación de las válvulas debe considerar la seguridad pública y no rebasar con la carga hidrostática, la presión interna de diseño de la tubería y la capacidad de presión de los componentes del ducto. Asimismo, de optarse por la instalación de válvulas de retención, deben considerarse los arreglos necesarios que permitan las corridas de diablos tanto de limpieza como instrumentados de última generación.

En ductos que transporten gas, la localización de las válvulas de seccionamiento, debe estar de acuerdo con las clases de localización señaladas en la Tabla 4. En el caso de ductos que transporten líquido en áreas industriales, comerciales o residenciales, la máxima separación debe ser 12 km.



## ASPECTOS BASICOS DEL DISEÑO, CONSTRUCCION, INSPECCION Y MANTENIMIENTO DE DUCTOS TERRESTRES PARA TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS

La separación de las válvulas de seccionamiento puede ser ligeramente ajustada sin exceder el 10 por ciento, con la finalidad de permitir que la válvula sea instalada en un lugar más factible.

Clasificación por clase de localización	Espaciamiento máximo (km)
1	32
2	24
3	16
4	8

Tabla 4. Espaciamiento máximo para válvulas de seccionamiento para ductos que transportan gas

### III.11 Trampas de diablos

Se deben colocar trampas de diablos según se considere necesario para una eficiente operación y mantenimiento del ducto.

Se debe realizar un análisis de flexibilidad a las trampas de diablos, donde se determine el tipo de soporte y anclaje así como su ubicación. Las trampas de diablos deben incluir anclajes y soportes que eviten la transmisión de esfuerzos originados por la expansión y contracción de la tubería a las instalaciones y equipos conectados.

Con base en el estudio de riesgo, deben establecerse áreas libres intermedias entre áreas de trampas de diablos o entre áreas de válvulas u otra instalación superficial, con la finalidad de que en el caso de accidentes no se afecte a las instalaciones vecinas. Si por cuestiones de espacio no es posible considerar dicha área libre, será necesaria la colocación de barreras físicas artificiales (bardas) o utilizar las naturales existentes, que separen las instalaciones.

### III.12 Cruces

Los cruces deben considerarse como una obra especial debido a que requieren de consideraciones específicas para su diseño y construcción dado que interrumpen la instalación de la línea regular, por lo que deben cumplirse los requisitos señalados a continuación para cada caso particular.

**III.12.1 Cruzamiento con ríos o cuerpos de agua.** Los cruzamientos de los ductos con ríos o cuerpos de agua, requieren de un análisis y diseño para disminuir el riesgo de contaminación en caso de fuga del hidrocarburo. Estos cruzamientos pueden realizarse de dos formas: aéreos y subfluviales. Para el primer caso se debe construir un sistema de soportería para la tubería por medio de pilas, armaduras y cables (similar a un puente). Debe evitarse la colocación de



## ASPECTOS BASICOS DEL DISEÑO, CONSTRUCCION, INSPECCION Y MANTENIMIENTO DE DUCTOS TERRESTRES PARA TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS

curvas verticales en la zona del cauce, procurando que el tramo de tubería (lingada) sea recto y sus extremos estén bien empotrados en los taludes de las orillas. Mientras que para el segundo caso, la tubería debe instalarse bajo el fondo del río, a una profundidad mínima de acuerdo a lo indicado en la sección III.9, para garantizar que el ducto quede fuera de una posible erosión del agua a todo lo ancho del cauce.

Los principales factores que se deben considerar en el diseño de un cruce bajo el agua son:

- a) Velocidad de corriente
- b) Turbulencia
- c) Socavación y azolve
- d) Desplazamiento de riberas
- e) Cambios de temperatura
- f) Calado de embarcaciones
- g) Corrosión
- h) Dragado
- i) Flotación
- j) Estadísticas de incremento de nivel debido a variaciones climatológicas.
- k) Historial del cauce natural.

**III.12.2. Cruzamiento con vías de comunicación.** Los cruzamientos con vías de comunicación, deben ser perpendiculares al eje longitudinal de carreteras o vías férreas, en caso de no ser posible se permite una desviación máxima de 30° con respecto a la normal. En estos cruzamientos no se permite el uso de camisas de protección.

Debe realizarse una revisión estructural en el ducto enterrado que cruza con vías de comunicación, ya sea calles pavimentadas, caminos de terracería vecinales y/o estatales o accesos a predios particulares por donde circulen vehículos pesados, tractores, maquinaria pesada y/o vehículos de carga. Lo anterior con el fin de garantizar que en ninguno de los casos la suma de esfuerzos circunferenciales debidos a la presión interna de diseño y a las cargas externas exceda el 90 por ciento del esfuerzo mínimo de cedencia especificado (SMYS) de la tubería, debiéndose revisar por fatiga a causa de los esfuerzos cíclicos.

El ducto enterrado con perforación direccional, debe instalarse a una profundidad mínima de 3 m desde el lomo superior del ducto.



## ASPECTOS BASICOS DEL DISEÑO, CONSTRUCCION, INSPECCION Y MANTENIMIENTO DE DUCTOS TERRESTRES PARA TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS

### **IV. Especificaciones básicas de construcción**

#### **IV.1 Procedimientos de construcción y certificados de calidad**

El contratista debe entregar a PEMEX los procedimientos constructivos que apliquen, relacionados a continuación, los cuales serán revisados y comentados. Asimismo, se debe entregar el certificado del sistema de gestión de la calidad otorgado por un organismo de certificación acreditado por la “EMA”.

- 1) Recubrimiento anticorrosivo en planta de la tubería (atmosférica y sumergida).
- 2) Lastrado.
- 3) Conformación del derecho de vía.
- 4) Caminos de acceso.
- 5) Inspección de materiales.
- 6) Registro y control de materiales.
- 7) Almacenamiento y transporte.
- 8) Excavación de zanja.
- 9) Reparación de soldaduras.
- 10) Tendido.
- 11) Doblado.
- 12) Alineado.
- 13) Soldadura.
- 14) Procedimientos de inspección radiográfica para soldaduras de campo, para calificación de soldadores y para reparación de soldadura.
- 15) Protección anticorrosiva de la tubería y accesorios (atmosférica y sumergida).
- 16) Recubrimiento anticorrosivo en juntas de campo.
- 17) Prueba dieléctrica del recubrimiento.
- 18) Sistema de protección interior con inhibidores.
- 19) Bajado y tapado.
- 20) Prueba hidrostática.
- 21) Limpieza interior.
- 22) Inspección con diablo geómetra con Sistema de Posicionamiento Global (GPS).
- 23) Reacondicionamiento del derecho de vía.
- 24) Señalización del derecho de vía e instalaciones superficiales.
- 25) Sistema de protección catódica.
- 26) Obras especiales.
- 27) Perforación direccional.

#### **IV.2 Certificados de equipo y maquinaria**

Se deben entregar a PEMEX los certificados vigentes de calibración únicamente del equipo y maquinaria que requiera de calibración y que serán utilizados en la



## ASPECTOS BASICOS DEL DISEÑO, CONSTRUCCION, INSPECCION Y MANTENIMIENTO DE DUCTOS TERRESTRES PARA TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS

obra. Estos certificados deben ser emitidos por un laboratorio acreditado por la "EMA" u otro organismo internacional que tenga reconocimiento mutuo con esta entidad.

### **IV. 3 Materiales**

Durante el manejo y almacenamiento de la tubería, recubrimientos, válvulas y conexiones se debe tener el cuidado necesario para no ocasionar daños, evitando que la tubería caiga y golpee contra objetos que lo abollen, aplasten, corten, ranuren o que dañen su recubrimiento. Las abrazaderas de los equipos utilizados para el manejo y transporte de la tubería deben estar acojinadas.

Se debe realizar una inspección visual a la tubería nueva. No se acepta tubería usada o, nueva de especificación desconocida.

Se deben presentar los registros de pruebas FAT (Pruebas de aceptación de fabricación) que indiquen la fecha de fabricación, certificados de calidad y la garantía del fabricante o proveedor de todos los materiales y en su caso, el pedimento de importación si son de procedencia extranjera.

Los materiales y equipos permanentes deben cumplir con los requerimientos de las requisiciones y de la ingeniería del proyecto (especificaciones).

Los materiales (válvulas, conexiones, tubería, accesorios, recubrimientos, entre otros) se deben inspeccionar visualmente para verificar el estado físico de los mismos, con la finalidad de corroborar que cumplen con la calidad y cantidad requerida; en el caso de observarse algún golpe o daño en alguno de ellos, dicho material debe ser retirado para su evaluación y/o sustitución.

Para el caso de las válvulas, éstas deben ser sometidas a la prueba hidrostática en sitio y verificar el funcionamiento de sus dispositivos de apertura y cierre antes de su instalación, además deben contar con su registro de prueba en fábrica, certificados de calidad y estampado API o equivalente.

Se debe llevar un registro de la tubería, válvulas, conexiones, accesorios, instrumentos, entre otros y anotar como mínimo los siguientes datos: especificación del material, número de pedido para su adquisición, proveedor o lote y número de serie en el orden de fabricación, en su caso indicar si el material se encuentra dañado. Asimismo, se debe llevar un registro y control de los materiales consumibles conforme al procedimiento establecido para este fin.

En el suministro de materiales, se debe considerar un porcentaje de tubería por desperdicio debido a cualquier eventualidad que pueda suceder durante la



ASPECTOS BASICOS DEL DISEÑO, CONSTRUCCION, INSPECCION Y MANTENIMIENTO DE DUCTOS  
TERRESTRES PARA TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS

construcción. Como mínimo se deben considerar las cantidades indicadas en la Tabla 5.

Longitud de ducto (km)	Tubería de desperdicio (m)
Hasta 1	60
Hasta 10	250
Hasta 100	750
Mayores a 100	0.5 % de la longitud

Tabla 5. Tubería de desperdicio.

#### IV.4 Derecho de vía

IV.4.1 Trazo y nivelación. Se debe evitar ocasionar daños a propiedades públicas y privadas colindantes con los derechos de vía de los ductos. Es responsabilidad del constructor, restablecer a las condiciones originales cualquier propiedad que haya sufrido daño.

IV.4.2 Apertura y ampliación. El derecho de vía debe quedar libre de árboles, arbustos y plantas, ejecutándose las operaciones de destronque, roza y desenraice, de tal forma que el área quede libre de madera, leña, basura y raíces, y el terreno esté listo para la conformación y excavación de la zanja sin existir obstáculos. Se debe retirar la capa vegetal de la zona que se afectará durante la construcción, mantenerla separada del resto del material producto de la excavación. Al finalizar el tapado de la zanja, depositar la capa vegetal sobre el derecho de vía afectado.

En caso de que exista el derecho de vía y solo se requiera ampliación, se deben localizar los ductos existentes por medio de un detector de metales y donde exista duda (en cruces con ductos o líneas de alta tensión), realizar sondeos mediante excavación con herramienta manual, indicando su ubicación.

#### IV.5 Conformación

Se debe construir la plantilla del derecho de vía de acuerdo con la sección y niveles de la rasante del proyecto, dejando una superficie uniforme de sección transversal definida. Dicha superficie debe tener características de estabilidad permanente. La plantilla del derecho de vía debe conservarse en perfectas condiciones durante todo el tiempo que dure la construcción del ducto, debiéndose inspeccionar periódicamente para hacer las reparaciones necesarias principalmente en tiempos de lluvia o en tramos con grandes taludes y no obstruir el avance de las diferentes fases de la obra.



## ASPECTOS BASICOS DEL DISEÑO, CONSTRUCCION, INSPECCION Y MANTENIMIENTO DE DUCTOS TERRESTRES PARA TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS

Se debe mantener el libre tránsito en las vías de comunicación. Todos los ductos existentes en el derecho de vía se deben de localizar por medio de detector de metales, colocando estacas e indicando su diámetro, profundidad y una franja de color, de acuerdo al código de colores, que indique su servicio, estas balizas se deben colocar apropiadamente a lo largo del derecho de vía donde se esté realizando la obra.

### IV.6 Caminos de acceso

Los caminos de acceso a los centros de distribución, obras especiales y a las desviaciones obligadas del derecho de vía, deben construirse según proyecto con los mismos equipos con los que se construya el derecho de vía pero con anticipación a los trabajos del ducto. Estos caminos se consideran provisionales, pero deben mantenerse en condiciones de tránsito durante el tiempo que dure la construcción de la obra.

### IV. 7 Excavación de zanja

La zanja donde se alojará la tubería, debe tener el ancho y profundidad indicados en el proyecto de acuerdo con el diámetro del ducto. La profundidad de enterrado depende de la localización de la zona, el uso de la superficie del terreno y las cargas impuestas por el paso de vehículos y/o ferrocarriles. La superficie del fondo de la zanja debe quedar conformada a un nivel tal que la tubería al ser bajada se apoye totalmente en el terreno.

El ancho mínimo en el fondo de la zanja debe ser de 0.60 m para tuberías de 12” de diámetro nominal y menores, y de 0.30 m más un diámetro para tuberías mayores de 12” de diámetro nominal. En caso de tener dos ductos en una misma zanja se debe garantizar la separación mínima especificada en III.8, mediante la colocación de algún material ligero y removible con herramientas manuales, por ejemplo inyectando poliuretano.



Figura 3. Excavación de zanja



## ASPECTOS BASICOS DEL DISEÑO, CONSTRUCCION, INSPECCION Y MANTENIMIENTO DE DUCTOS TERRESTRES PARA TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS

### IV.8 Tendido

El tendido de la tubería debe efectuarse acomodando la tubería a lo largo del derecho de vía una tras otra pero traslapadas entre 5 y 10 cm, paralelos a la zanja del lado del tránsito del equipo a una distancia fija desde la zanja, sin provocar derrumbes. Esta operación debe realizarse sin que las tuberías sufran ningún daño siguiendo el procedimiento correspondiente.

### IV.9 Doblado

El doblado de la tubería se debe hacer en frío, evitando que ésta se deforme o se formen arrugas en el doblado, debiendo conservar sus dimensiones de sección después de ser doblada. Los dobleces deben ser distribuidos hasta donde sea posible en la mayor longitud del ducto, y en ningún caso debe ser el radio del doblado tan corto que no cumpla las especificaciones de doblado.

El número de dobleces de una tubería debe llevarse al mínimo, procurando conformar el derecho de vía y consecuentemente el fondo de la zanja para eliminar en lo posible los cambios de pendiente que obliguen a doblar la tubería. Los dobleces de tuberías deben hacerse sin alterar las dimensiones de la sección transversal de la tubería recta y deben quedar libres de arrugas, grietas u otras evidencias de daño mecánico.

Los dobleces de tuberías deben hacerse por medio de máquinas dobladoras especiales apropiadas para el diámetro de la tubería. No se permite el calentamiento de las tuberías para ser dobladas.

Los cambios de dirección requeridos para apegarse al contorno de la zanja pueden realizarse doblando el ducto de acuerdo a los radios mínimos indicados en la Tabla 6. No se permite el doblado de tuberías con costura helicoidal.

Diámetro mm (pulg)	Radio mínimo
323.9 (12.75) y menores	18 D
355.6 (14)	21 D
406.4 (16)	24 D
457.0 (18)	27 D
Mayores de 457.0 (18)	30 D

Tabla 6. Radio mínimo

Los extremos de las tuberías que se doblan deben tener un tramo recto de 1,8 m como mínimo. La soldadura longitudinal de la tubería que se dobla, debe quedar en el eje neutro de flexión de la tubería.



## ASPECTOS BASICOS DEL DISEÑO, CONSTRUCCION, INSPECCION Y MANTENIMIENTO DE DUCTOS TERRESTRES PARA TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS

### **IV.10 Alineado**

Esta operación debe efectuarse, juntando las tuberías extremo a extremo para preparar el ducto que se debe colocar paralelo a la zanja, dejando constituida la junta con la separación y alineamiento entre tuberías indicado en los procedimientos de soldadura, y manteniendo fijas las tuberías mientras se deposita el primer cordón de soldadura.

El ducto que se va construyendo debe ser colocado sobre apoyos, generalmente sobre polines de madera, dejando un claro de 40 cm mínimo entre la parte inferior del ducto y el terreno con el propósito de tener espacio para finalizar la soldadura, así como para ejecutar después las fases de prueba y las operaciones de protección mecánica.

### **IV.11 Calificación y certificación de los procedimientos de soldadura**

El procedimiento que se utilice para la operación de soldadura en el ducto debe ser calificado y certificado, mediante pruebas destructivas y no destructivas, para asegurar que las soldaduras tengan propiedades mecánicas apropiadas para la tubería y accesorios, conforme a lo establecido en la NRF-020-PEMEX-2005.

Para servicio no amargo, la calificación de los procedimientos de soldadura debe realizarse de acuerdo a lo establecido en el API STANDARD 1104 o equivalente. Para el caso de servicio amargo y trampas de diablos, la calificación de los procedimientos de soldadura debe realizarse de acuerdo a lo establecido en el Código ASME Sección IX y a la sección 7.3.3, Parte 2 de la NACE MR 0175/ISO 15156-2 o equivalente.

Las juntas soldadas a tope pueden ser bisel tipo V sencilla, doble V u otra geometría de acuerdo a la ingeniería. La transición entre extremos de espesor diferente se puede realizar biselando el espesor utilizando máquina biseladora, torno o por esmerilado con el diseño de bisel especificado en el proyecto. No se permite realizar el biselado y contra biselado de la tubería utilizando equipo de corte oxiacetileno.

Soldaduras de filete. Las soldaduras de filete pueden ser tanto cóncavas como ligeramente convexas. Para efecto de la resistencia de la soldadura, las dimensiones se miden como la longitud del cateto mayor del triángulo de catetos iguales inscrito en la sección transversal de la soldadura, tal como se ilustra en la Fig. 2 de este documento, que cubre los detalles recomendados para las conexiones bridadas.



ASPECTOS BASICOS DEL DISEÑO, CONSTRUCCION, INSPECCION Y MANTENIMIENTO DE DUCTOS  
TERRESTRES PARA TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS

#### IV.12 Soldaduras de campo

Los electrodos utilizados deben ser de acuerdo a lo descrito en la especificación de procedimiento de soldadura y cumplir con lo establecido en la NRF-084-PEMEX-2004.

La aplicación de la soldadura se debe proteger de las condiciones meteorológicas adversas (lluvia, viento, polvo, humedad, entre otros) que le puedan perjudicar.

El alineamiento de tuberías de diámetro igual o mayor a 12" se debe realizar mediante alineadores internos manteniéndolos durante el fondeo. En el alineamiento de tubería menor a 12" de diámetro y en los empates mayores a 12" de diámetro se deben utilizar alineadores externos tipo canasta, los cuales se deben mantener hasta aplicar un 50 por ciento del fondeo distribuido en toda la circunferencia de la tubería.

La conexión eléctrica de tierra no se debe soldar a la tubería, así como tampoco sobre equipos de proceso instalados, para producir la continuidad eléctrica entre la máquina de soldar y la tubería que se va a soldar.

Todas las soldaduras de ductos en campo tanto en línea regular, como en obras especiales y empates, se deben radiografiar al 100 por ciento con una fuente de radiación de acuerdo al espesor y con la técnica de inspección de pared sencilla, en ductos de 12" y hasta 60" de diámetro, y la de doble pared sólo se debe hacer cuando por el diámetro o cualquier obstrucción no sea posible aplicar la de pared sencilla, para obtener radiografías que cumplan con los requerimientos de aceptación para servicio no amargo descritos en el API STANDARD 1104 o equivalente y para servicio amargo con ASME B31.3 o equivalente, de acuerdo al espesor y conforme se indica a continuación:

Espesor en acero	Fuente de radiación
1 a 50 mm	Rayos X
19 a 80 mm	Iridio 192
38 a 150 mm	Cobalto 60

Tabla 7. Tipos de radiografía

Lo anterior, sólo cuando haya el suministro de energía eléctrica, en caso contrario se debe utilizar gammagrafía. El espesor se refiere al grueso total de la pared del ducto que está en contacto con la placa radiográfica en pared sencilla o en doble pared.



## ASPECTOS BASICOS DEL DISEÑO, CONSTRUCCION, INSPECCION Y MANTENIMIENTO DE DUCTOS TERRESTRES PARA TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS

### **IV.13 Protección anticorrosiva en juntas de campo**

La protección anticorrosiva de los extremos de la tubería (aproximadamente 30 cm a cada lado de la tubería) se debe realizar efectuando previamente la limpieza de la superficie conforme con el tipo de recubrimiento establecido en la norma de referencia NRF-026-PEMEX-2008.

La protección anticorrosiva en juntas de campo, debe ser compatible y tener un desprendimiento catódico igual o menor que la que fue aplicada en planta para la tubería enterrada.

En caso de tubería lastrada, las juntas de campo deben llevar una lámina, fleje e inyección de resina de poliuretano. Se debe tener cuidado durante todas las fases de la construcción de no dañar el recubrimiento anticorrosivo.

### **IV.14 Prueba dieléctrica del recubrimiento**

Antes de ser levantada la tubería de sus apoyos para el bajado a la zanja, se debe correr el detector dieléctrico a todo lo largo, teniendo cuidado especial cuando se pase por los puntos donde se encontraba apoyada.

Cualquier defecto del recubrimiento debe ser reparado conforme a lo indicado en la NRF-026-PEMEX-2008.

### **IV.15 Bajado y tapado**

Se debe tener cuidado de no dañar el recubrimiento anticorrosivo durante el bajado y relleno de la zanja. El material producto de la excavación debe ser devuelto a la zanja eliminando todo aquello que pueda dañar el recubrimiento, de manera que después del asentamiento la superficie del terreno no tenga depresiones y salientes en el área de la zanja o que el montón de tierra lateral interfiera con cualquier tráfico eventual o normal en el lugar.



Figura 4. Bajado de lingada



## ASPECTOS BASICOS DEL DISEÑO, CONSTRUCCION, INSPECCION Y MANTENIMIENTO DE DUCTOS TERRESTRES PARA TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS

Después del relleno de la zanja debe despejarse el derecho de vía y otras áreas circundantes, si es el caso, y debe disponerse de todos los materiales de desperdicio, escombros y desechos resultantes. Debe emparejarse el terreno llenando hoyos, surcos y reparando cualquier daño, debiendo restaurarse el terreno para una condición estable y de uso y pueda razonablemente tomar la consistencia que tenía el terreno anterior a la construcción.

### IV.16 Empates

Por construcción, durante las operaciones de alineado se permite tener desconectadas secciones del ducto. Estas secciones tendrán que ser unidas en sus extremos para dar continuidad a la misma, operación que es conocida como “empate”.

El seccionamiento puede ocurrir al interrumpir el soldado de la línea regular como se indica:

- a) Por una sección del ducto que cruza por debajo de una vía férrea, de un camino o de otro obstáculo que no será instalada por la cuadrilla de alineado y soldado.
- b) Cuando la línea regular se interrumpe en un cruzamiento de río, laguna, estero, entre otros.
- c) Cuando el ducto se interrumpe en una estación de bombas, en una trampa de diablos o en una válvula de seccionamiento.
- d) Por acomodo de la tubería en la zanja.
- e) Cuando el ducto se deja abierto para corrida de diablos.

Para unir estas secciones y dar continuidad al ducto debe seguirse el procedimiento de soldadura establecido, usar el equipo necesario y realizar los trabajos para que las secciones queden alineadas y así evitar sobreesfuerzos.

Las soldaduras de empate que no sean probadas hidrostáticamente, deben inspeccionarse con radiografía o ultrasonido al 100 por ciento.

En el caso particular del empleo de carretes de ajuste, estos deben tener una longitud mínima de la mitad del diámetro en tuberías mayores o iguales a 18” de diámetro nominal y de un diámetro para tuberías menores o iguales a 16” de diámetro nominal.

### IV.17 Prueba hidrostática

Todos los ductos nuevos deben someterse a una prueba hidrostática para comprobar su hermeticidad. El equipo mínimo necesario para la realización de la prueba hidrostática debe incluir: bomba de gran volumen, filtro para asegurar una



## ASPECTOS BASICOS DEL DISEÑO, CONSTRUCCION, INSPECCION Y MANTENIMIENTO DE DUCTOS TERRESTRES PARA TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS

prueba limpia, bomba de inyección de inhibidores de corrosión, instrumentos de medición, válvula de alivio y bomba para presurizar el ducto a niveles mayores a los indicados en el procedimiento de prueba.

El agua que se utilice debe ser neutra y libre de partículas en suspensión, que no pasen en una malla de 100 hilos por pulgada.

La duración de la prueba será de 8 horas mínimo y 4 horas en tubería (tramo corto) o secciones prefabricadas que sean parte y se integren al sistema del ducto sin prueba posterior. El valor de la presión para la prueba hidrostática debe ser de 1,25 veces la presión de diseño.

Cuando alguno de los elementos del sistema sea de menor resistencia, éste debe ser aislado para no ser probado con el resto. Después de hacer la prueba hidrostática, los ductos, válvulas y accesorios serán drenados completamente para evitar daños por congelamiento o por corrosión. El equipo de un sistema de tubería que no se sujete a la prueba debe desconectarse.

La prueba hidrostática se debe efectuar al sistema completo, en caso de que por las características y complejidad del sistema no fuera posible, se puede efectuar por secciones previo conocimiento y análisis del sistema de prueba respectivo. Las pruebas de presión hidrostática deben realizarse tanto en el sistema completo de ductos como en tramos y componentes terminados del sistema. Las trampas de diablos, múltiples y accesorios, deben someterse a la prueba hidrostática hasta los límites similares que se requieren en el sistema.

Al comprobar satisfactoriamente las pruebas de las tuberías, se deben hacer todas las conexiones necesarias para eliminar el agua por medio de diablos o esferas corridas con aire. La fuente de abastecimiento de agua y las áreas para desalojarla después de la prueba, deben cumplir con los requisitos de la Comisión Nacional del Agua y también de las normas oficiales correspondientes; asimismo, se ordenarán los análisis de laboratorio necesarios para verificar la calidad especificada.

Como alternativa se puede realizar una prueba neumática, en cuyo caso el fluido de prueba será algún gas inerte. La presión de prueba debe ser 125 por ciento de la presión de diseño y el tiempo mínimo de prueba de 8 horas. Dicha prueba implica riesgo de que se libere la energía almacenada en el gas comprimido, por lo que se deben tomar medidas precautorias para minimizar el riesgo del personal por la posibilidad de una falla frágil. La temperatura de la prueba debe considerarse en función de los resultados de las pruebas de tenacidad del material del ducto.



## ASPECTOS BASICOS DEL DISEÑO, CONSTRUCCION, INSPECCION Y MANTENIMIENTO DE DUCTOS TERRESTRES PARA TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS

Después de realizarse la prueba hidrostática, se deben correr los diablos de limpieza para desprender materias que puedan resultar de cada junta soldada entre tuberías y otros residuos que hayan quedado en el interior de la tubería.

### **IV.18 Inspección con diablo geómetra**

Se debe realizar la inspección interior del ducto completo a ductos factibles de inspeccionar con equipo instrumentado, mediante una corrida de diablo geómetra con Sistema de Posicionamiento Global (GPS), que cumpla con los requisitos establecidos en la NRF-060-PEMEX-2006, previa a la entrega al área operativa, adicionalmente y por requerimiento del área usuaria podrá efectuarse una corrida con equipo instrumentado para la medición de espesores, cumpliendo con los requisitos establecidos en la NRF-060-PEMEX-2006. En caso de detectarse alguna anomalía, se debe proceder a efectuar las reparaciones, llevando los registros correspondientes.

### **IV.19 Reacondicionamiento del derecho de vía**

Se debe recolectar todo el material utilizable que haya quedado a lo largo del derecho de vía y transportarlo a los lugares adecuados para su almacenamiento. Se debe hacer una limpieza general del derecho de vía, despejándolo de toda clase de desperdicios que hayan quedado en él.

Todo el material de relleno debe ser devuelto a la zanja, de manera que después del asentamiento, la superficie del terreno no tenga depresiones y salientes en el área de la zanja o que el montón de tierra lateral interfiera con cualquier tráfico eventual o normal en el lugar.

Los diques, terrazas, drenajes o canales que fueron desviados o cortados durante la construcción y que quedaron sujetos a derrumbes, se deben reponer con sacos de arena o apisonado, dando la densidad necesaria para contener la presión y la resistencia a la erosión.

En campos de cultivo, las rocas grandes o de cantos rodados provenientes de la zanja que se encuentren a un lado sobre el terreno, deben ser removidas para que no interfieran con las operaciones de labranza.

La operación de relleno debe hacerse manualmente con la herramienta adecuada, cuando se expongan edificios u otras estructuras a posibles daños por el equipo mecánico.

Cuando la tubería cruce con un drenaje subterráneo, éste debe ser protegido durante la construcción y restaurado al finalizar la obra.



## ASPECTOS BASICOS DEL DISEÑO, CONSTRUCCION, INSPECCION Y MANTENIMIENTO DE DUCTOS TERRESTRES PARA TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS

Para evitar posibles accidentes en cruces de caminos, debe rellenarse la zona durante la construcción del ducto, apisonando por capas y poniendo una capa final de grava de 30 cm (12”) de espesor.

Los residuos de material de la construcción tales como: leña, terrones u otras concentraciones de materia orgánica que forman compuestos ácidos por putrefacción, deben ser removidos, incluso como protección de las piezas de acero de los equipos expuestos.

Se deben restaurar los terrenos atravesados por la tubería, los cuales se deben dejar hasta donde sea posible, en las condiciones anteriores a la ejecución de la obra, trátase de terrenos particulares o de cruces de obras públicas, como las vías de comunicación. Es necesario que la faja de terreno o amplitud del derecho de vía para operación y mantenimiento se deje en condiciones de estabilidad permanente de su superficie.

Deben hacerse reparaciones duraderas de las bardas y otros cercados a través de los cuales se han tenido puertas temporales u otros medios de paso. Deben usarse materiales nuevos en las reparaciones. Las estructuras deben quedar con las mismas o mejores condiciones que había antes de la construcción. Todas las reparaciones deben ser a satisfacción de los propietarios o inquilinos. Se deben remover todos los medios temporales de acceso al derecho de vía, excepto aquellos que el proyecto señale para usos de mantenimiento o para uso del propietario del terreno, según la conveniencia. Se deben restaurar y reparar las condiciones originales de todos los derechos de vía públicos en los puntos donde fueron interceptados por el derecho de vía del ducto.



Figura 5. Empate de línea regular



## ASPECTOS BASICOS DEL DISEÑO, CONSTRUCCION, INSPECCION Y MANTENIMIENTO DE DUCTOS TERRESTRES PARA TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS

Una vez limpio el derecho de vía, el material excavado o cortado en las lomas, bordos de arroyos o ríos, acequias o canales y otros sitios, durante la apertura y conformación del derecho de vía, deben ser protegidos contra deslizamientos y erosión, mediante compactación, rompe corrientes, drenes y siembra de pasto en caso de ser necesario.

### **IV.20 Obras especiales**

Las obras especiales deben construirse conforme a proyecto. El constructor es responsable de no interrumpir el tránsito de vehículos o el flujo de ríos durante la construcción de las obras especiales, así como tomar las medidas necesarias en cada caso.

La continuidad de la construcción del ducto no debe interrumpirse cuando se cruce con pequeños canales, arroyos o barrancas angostas y poco profundas que permitan al ducto, por resistencia propia, cruzar el obstáculo sin requerir de soportes, y siempre que no exista el peligro de que la tubería sea alcanzada por la corriente o se acumulen escombros, o que los taludes de los bancos de apoyo consistan de material suave que no sea capaz de soportar el peso del ducto y esté sujeto a deslaves y erosión.



## ASPECTOS BASICOS DEL DISEÑO, CONSTRUCCION, INSPECCION Y MANTENIMIENTO DE DUCTOS TERRESTRES PARA TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS

### V. Inspección

Todas las anomalías que se encuentren durante la inspección, deben informarse en los reportes de resultados indicando las acciones necesarias para confirmarlas y en su caso, corregirlas.

Todas las instalaciones superficiales durante el primer año de operación deberán ser sometidas a: Inspección visual (Nivel 1), medición de dureza de campo y análisis de flexibilidad, con la finalidad de identificar las condiciones externas que ocasionen altos esfuerzos y detectar materiales de alta dureza que pudieran ser frágiles y susceptibles a fractura, generados durante la construcción.

#### V.1 Inspección Nivel 1

Comprende la inspección visual a lo largo del ducto con el fin de determinar defectos, anomalías y problemas que tenga la tubería y que puedan ser detectados a simple vista. Este nivel de inspección se debe realizar a: tubería superficial, trampas de diablos, válvulas, cruces de vías de comunicación, cruces de ríos y derechos de vía.

Este nivel de inspección comprende dos metodologías:

- A) Recorrido terrestre.
- B) Recorrido aéreo.

**A) Recorrido terrestre.** Este tipo de inspección se debe realizar mediante el uso de vehículo y en su caso recorridos a pie para acceder a las instalaciones que serán inspeccionadas; debe hacerse a todo lo largo del ducto, donde se incluyen: trampas de diablos, válvulas de seccionamiento y áreas de topografía accidentada o pantanosa y se debe efectuar en zonas urbanas cada quince días y en zonas rurales una vez al mes.

Los trabajos a efectuar según corresponda deben considerar como mínimo lo siguiente:

- a) Verificar la protección anticorrosiva conforme al inciso 8.3.2.1.3.
- b) Golpes y abolladuras en el ducto.
- c) Estabilidad del ducto y del derecho de vía.
- d) Vibración del ducto.
- e) Condición mecánica de los anclajes o soportes.
- f) Condición de cruces (aéreos, con ríos, sobre puentes, entre otros).
- g) Corrosión de apoyos y anclajes o soportes.
- h) Condición de los señalamientos existentes e identificación de los faltantes.



## ASPECTOS BASICOS DEL DISEÑO, CONSTRUCCION, INSPECCION Y MANTENIMIENTO DE DUCTOS TERRESTRES PARA TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS

- i) Asentamientos humanos y actividades de construcción sobre el derecho de vía.
- j) Limpieza y vegetación que pueda dañar el ducto.
- k) Tomas clandestinas.
- l) Desprendimiento de lastre de concreto.
- m) Colchón de enterrado en sitios sujetos a erosión (pantanos, ríos, lagunas, entre otros).
- n) Tramos semienterrados.

Se deben verificar las condiciones de la superficie y sus zonas adyacentes, observando indicaciones de fugas, actividades de instalaciones y demás factores que afecten la seguridad y la operación del ducto, además de construcción de caminos, desazolve de zanjas, cunetas e invasiones al derecho de vía.

En los cruces bajo el agua se debe verificar el colchón de enterrado una vez al año, que no exista acumulación de desechos u otras condiciones que afecten la seguridad y la protección de los cruces como resultado de inundaciones o tempestades.

En la tubería superficial se debe revisar la corrosión en la zona de contacto entre el ducto y el soporte, estado de la pintura anticorrosiva, socavación y asentamientos diferenciales en la base de los soportes, falta de apoyo entre tubería y soporte, presencia de basura, hierba o maleza, entre otros.

**B) Recorrido aéreo.** Se debe utilizar este recorrido para la localización de riesgos potenciales en zonas de difícil acceso tales como: áreas pantanosas o zonas de topografía accidentada, además de localizar o detectar maquinaria pesada trabajando en las cercanías del derecho de vía, labores agrícolas de desmonte y quema; explotación de minas, canteras, entre otros.

Los recorridos aéreos se deben efectuar cada 60 días y cuando éstos se realicen, no se efectuarán los recorridos terrestres correspondientes. Se debe obtener un registro en video del recorrido en un periodo de cada seis meses, además de garantizar que la frecuencia de inspección del ducto completo utilizando cualquiera de las dos metodologías que comprende este nivel de inspección no exceda de 30 días.

### V.2 Inspección Nivel 2

Corresponde a la inspección en sitios o zonas específicas donde se requiera determinar la condición en la que se encuentra la tubería. Este nivel de inspección comprende: línea regular e instalaciones superficiales, sistemas y dispositivos de seguridad, equipos y conexiones.



## ASPECTOS BASICOS DEL DISEÑO, CONSTRUCCION, INSPECCION Y MANTENIMIENTO DE DUCTOS TERRESTRES PARA TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS

**Línea Regular.** La línea regular se debe inspeccionar para evaluar la protección anticorrosiva y las discontinuidades producidas por fenómenos de corrosión de cualquier configuración geométrica o de otro tipo que causen la disminución del espesor más allá de los límites permisibles en el diseño.

**Medición de espesores.** La medición de los espesores de pared se debe realizar con el propósito de conocer la condición en que se encuentra el ducto en cuanto al espesor de pared remanente que tiene la tubería y de esta manera determinar si puede o no seguir operando bajo las condiciones actuales; se debe efectuar mediante la técnica de ultrasonido, tanto en puntos de la línea regular como en sitios donde el desgaste de pared puede ser importante.

Cuando se trate de tramos enterrados se deben realizar las excavaciones correspondientes y limpiar la zona próxima a la tubería para efectuar la medición del espesor, una vez efectuada ésta, se debe restituir el recubrimiento en caso de que haya sido retirado, rellenar y dejar en las mismas condiciones el área donde se efectuó.

La medición de espesores debe efectuarse cada año los primeros dos años de vida del ducto, y luego se programará para realizar esta inspección en un tiempo no mayor a una tercera parte del periodo determinado a partir de la velocidad de corrosión que proporcione la menor vida remanente.

Durante la inspección y medición de espesores de pared se deben ejecutar las siguientes actividades:

- a) Excavación mínima en la zona de inspección de acuerdo al diámetro del ducto, profundidad y condiciones del terreno.
- b) Limpieza de puntos de medición.
- c) Medición de espesores y de longitudes de defectos.
- d) Reposición del material de relleno en la zona de excavación y del recubrimiento anticorrosivo en caso de haberse retirado.

Previo al registro de resultados se debe dimensionar, en tamaño y profundidad, las cazuelas, picaduras de corrosión o cualquier otro defecto que cause la mayor disminución de espesor del material, asimismo, se debe elaborar el isométrico donde se indiquen los lugares inspeccionados, así como una fotografía de las indicaciones encontradas. Los resultados obtenidos en la inspección se deben registrar en un formato de "Reporte de Resultados".

**Protección Catódica.** Se deben efectuar un monitoreo y una medición del potencial de polarización de protección catódica en todo el eje longitudinal del ducto, respetando los criterios, tipo de inspección, frecuencia, requisitos de



ASPECTOS BASICOS DEL DISEÑO, CONSTRUCCION, INSPECCION Y MANTENIMIENTO DE DUCTOS  
TERRESTRES PARA TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS

personal y equipo, trabajos a ejecutar, así como los registros de los resultados generados; todo lo anterior conforme a lo establecido en la NRF-047-PEMEX-2007.

**Protección Anticorrosiva.** Se debe inspeccionar visualmente y con equipo detector de fallas, el estado en el que se encuentra la protección anticorrosiva tanto en la línea regular como en los sitios o puntos críticos y, dependiendo de su estado emitir las recomendaciones respectivas y realizar el mantenimiento correspondiente. Esta inspección se debe realizar cada tres años o antes si después de la inspección visual o patrullaje de la tubería se detecta la necesidad de dar mantenimiento al recubrimiento.

**Sistemas y dispositivos de seguridad.** Los sistemas y dispositivos de seguridad, tales como limitadores de presión o temperatura, reguladores de presión, instrumentos de control y válvulas de alivio entre otros; se deben evaluar mediante una inspección Nivel 2.

La periodicidad con la que se debe inspeccionar los sistemas y dispositivos de seguridad debe ser por lo menos de una vez al año. Las válvulas de seguridad adicionalmente se deben sujetar a una prueba de desempeño como su calibración.

**Equipos, válvulas, accesorios y conexiones.** Se debe aplicar una inspección Nivel 1 para evaluar los equipos y conexiones que forman parte de los ductos de transporte. Los equipos lo constituyen: trampas de "diablos", válvulas, bridas, injertos, entre otros.

La periodicidad con la que se debe inspeccionar los equipos, válvulas, accesorios y conexiones debe ser cuando menos una vez al año para asegurar las condiciones apropiadas de operación.

### V.3 Inspección Nivel 3

Cuando se requiera comprobar las condiciones del ducto en toda la longitud, se debe efectuar una inspección de la tubería con un equipo instrumentado (diablo) que cumpla los requisitos establecidos en la NRF-060-PEMEX-2006, y de acuerdo con los resultados de la inspección se debe efectuar un AIM (Análisis de Integridad Mecánica) para programar los trabajos de mantenimiento preventivo y/o correctivo.

Se deben inspeccionar mediante diablo instrumentado los ductos que a juicio del usuario lo requieran y reúnan las condiciones para inspección como son las dimensiones de las trampas y las condiciones de operación para obtener las velocidades de desplazamiento requeridas por el "diablo". La inspección mediante



ASPECTOS BASICOS DEL DISEÑO, CONSTRUCCION, INSPECCION Y MANTENIMIENTO DE DUCTOS  
TERRESTRES PARA TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS

diablo instrumentado de ductos con tubería helicoidal debe realizarse tomando las precauciones necesarias para la obtención de registros de medición cerca de la costura espiral de la soldadura y de la interpretación de estos registros por parte de personal con experiencia.

#### **V.4 Inspección Nivel 4**

Este nivel corresponde a una inspección localizada y detallada de zonas específicas en el ducto y depende de los resultados obtenidos por otros niveles de inspección, para lo cual PEMEX debe elaborar un programa de inspección considerando todos los puntos con discontinuidades (ranuras, grietas, abolladuras, deformaciones, socavaciones, entre otros).

Esta inspección debe ser realizada por técnicos de nivel II como mínimo, especializado en las técnicas de inspección visual, ultrasonido, radiografía industrial, líquidos penetrantes y partículas magnéticas. Todos ellos calificados de acuerdo con la práctica recomendada ASNT SNT-TC-1<sup>a</sup>.



## ASPECTOS BASICOS DEL DISEÑO, CONSTRUCCION, INSPECCION Y MANTENIMIENTO DE DUCTOS TERRESTRES PARA TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS

### VI. Aspectos básicos del mantenimiento de ductos

Actualmente se entiende el mantenimiento de ductos como el conjunto de actividades desarrolladas con el objeto de mantener y conservar en condiciones físicas convenientes los ductos, instalaciones y equipos destinados para el transporte de hidrocarburos derivados de la exploración, explotación y refinación de productos petrolíferos, logrando que operen de manera segura y confiable bajo normatividad y técnicas nacionales e internacionales, coadyuvando de esta manera a la continuidad de las operaciones y al cumplimiento de los programas de producción.

Con los programas de mantenimiento se desarrollan las acciones para emprender con oportunidad y calidad los trabajos de mantenimiento preventivo, correctivo y de conservación aplicando los métodos de control de programa-tiempo y programa-costos y evaluar los sistemas del mantenimiento en cuanto a confirmarlos, corregirlos y/o ampliarlos.

Las actividades de mantenimiento se clasifican en predictivas, preventivas y correctivas.

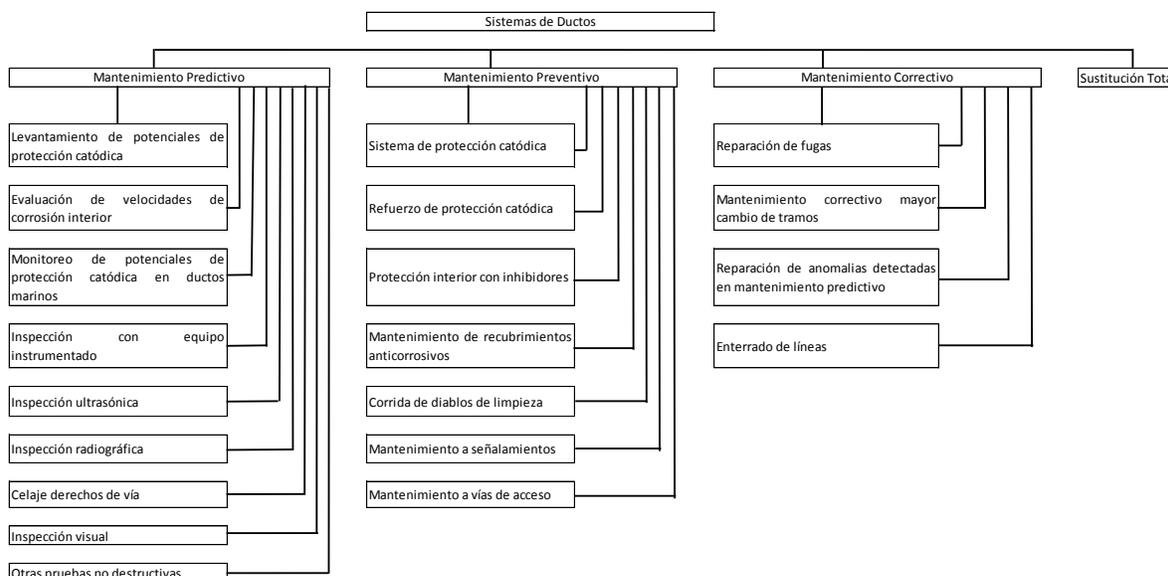


Figura 6. Clasificación de trabajos de mantenimiento de ductos

#### VI.1 Mantenimiento preventivo de ductos

En los trabajos de un mantenimiento preventivo deben ser considerados los derechos de vía, los sistemas y dispositivos de seguridad, las señalizaciones y las instalaciones superficiales. En el ducto, se debe llevar a cabo la instalación de



## ASPECTOS BASICOS DEL DISEÑO, CONSTRUCCION, INSPECCION Y MANTENIMIENTO DE DUCTOS TERRESTRES PARA TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS

testigos de corrosión, verificar si el ducto cuenta con un programa de inyección de inhibidores para evaluar su aplicabilidad y comprobar su eficiencia. Se deben mantener aisladas eléctricamente las camisas de protección e los ductos en los cruces con vías de comunicación para evitar continuidad y disminuir los problemas de corrosión en el ducto de transporte.

Se deben tomar acciones inmediatas donde la inspección indique que la protección catódica y la protección mecánica o anticorrosiva no son lo suficientemente adecuadas. Estas acciones deben incluir lo siguiente:

- Reparar, remplazar o ajustar los componentes del sistema de protección catódica.
- Proveer una protección catódica adicional donde sea necesario.
- Limpiar y aplicar recubrimiento en estructuras desnudas.
- Reparar, remplazar o ajustar monoblocks o bridas aislantes.
- Remover los contactos metálicos accidentales.
- Reparar los dispositivos de aislamiento que se encuentren defectuosos.

En los segmentos de ducto donde se hayan medido valores de potenciales tubo-suelo por debajo del mínimo especificado, se debe realizar el reforzamiento de la protección catódica, instalando ánodos de sacrificio mediante soldadura de aluminotermia en áreas secas y, soldadura húmeda en aquellos puntos donde el ducto este sumergido. Las acciones a tomar se deben efectuar conforme a los procedimientos revisados por Pemex.

El derecho de vía debe conservar en lo posible las condiciones originales y servir de acceso adecuado a las cuadrillas de mantenimiento. Se deben conservar en buen estado los caminos de acceso al derecho de vía y a las instala, con el propósito de garantizar eficiencia en acciones emergentes. Se deben mantener en buen estado las áreas adyacentes, cunetas, diques y otras obras de drenaje para proteger contra deslaves y erosión el derecho de vía. En todos los trabajos de mantenimiento que se realicen en el derecho de vía deben ser supervisados los equipos que se manejan, así como la seguridad pública y del personal. Se deben conservar en buen estado la señalización y mantener actualizado el tipo de localización del derecho de vía.

Se debe tener en buen estado la protección anticorrosiva (recubrimientos) en las instalaciones superficiales, tal como lo establece la norma NRF-004-PEMEX-2000. Se deben conservar libres de maleza, escombros, materiales dispersos, basura, etc. Las cercas perimetrales u sus puertas de acceso se deben conservar en buen estado, así como los pisos de trabajo, escaleras y andadores.

En cuanto a los sistemas y dispositivos de seguridad, se debe mantener el apriete (torque) recomendado por el fabricante en los espárragos de las conexiones



## ASPECTOS BASICOS DEL DISEÑO, CONSTRUCCION, INSPECCION Y MANTENIMIENTO DE DUCTOS TERRESTRES PARA TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS

mecánicas de los sistemas de ductos para prevenir fugas y se debe efectuar un mantenimiento periódico al equipo, válvulas, reguladores, etc. La periodicidad mínima será la indicada por el fabricante o de acuerdo a lo especificado en el código Ref. ASME B31.8, Capítulo V, párrafo 851.2 o equivalente.

La inspección es parte del mantenimiento preventivo ya que detecta las posibles fallas, en esta actividad se considera el control de supervisión, monitoreo y/o verificación manual automática, las cuales detectan las fallas posibles de las instalaciones. En general se pueden clasificar los elementos a inspeccionar en función de los tipos de falla que se enlistan a continuación:

- Falla mecánica por: desgaste, corrosión, vibración.
- Falla por acumulación de desechos en: filtros, separadores, trampas de diablos.
- Fallas por regulación en: presión, temperatura, tensión mecánica, holgura.
- Falla de voltaje, amperaje y resistencia en la protección catódica.
- Fallas químicas del producto transportado.



Figura 7. Postes de señalamiento y toma de potenciales

### VI.2 Mantenimiento correctivo de ductos

Las actividades que se desarrollan en este tipo de mantenimiento son: reparación y remplazo. La reconstrucción es el mantenimiento de rehabilitación total de las propiedades físicas al término de su vida útil. Este mantenimiento se debe justificar técnica y económicamente, lo cual es frecuente en aquellos casos en que es difícil la adquisición del remplazo y considera lo siguiente:

**Reparaciones:** actividad que consiste en restablecer el adecuado funcionamiento de los bienes físicos, mediante la corrección de fallas (reconstrucción parcial), o bien, rehabilitar es una reparación que consiste en una reparación parcial.

**Remplazo o cambio:** restablece el adecuado funcionamiento de los bienes físicos al sustituir las partes o componentes que han fallado o están defectuosas y su vida útil y/o económica ha concluido. En ocasiones es necesario sustituir totalmente el



ASPECTOS BASICOS DEL DISEÑO, CONSTRUCCION, INSPECCION Y MANTENIMIENTO DE DUCTOS  
TERRESTRES PARA TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS

bien físico por diferentes razones técnicas, lo cual generalmente es responsabilidad del mantenimiento.



Figura 8. Envoltorio metálico para reparación de fallas

**Modificación:** reduce las fallas repetitivas mediante la alteración del diseño original. Dentro de esta actividad, se considera el reacondicionamiento que consiste en restablecer el funcionamiento de un bien físico, alterando su diseño original para adecuarlo a nuevas condiciones de operación. Cuando se requiere de una modificación de importancia, es necesario realizar un proyecto. Las modificaciones no siempre obedecen a razones técnicas, pudiendo ser por conceptos ajenos a una decisión de mantenimiento, ya sea por incremento de la producción o por la reducción de costos. Las razones pueden ser técnicas, económicas, financieras, sociales, comerciales u otras, como ejemplo:

- Operación y mantenimiento.
- Incremento en el consumo de energía.
- Incremento en los costos de mantenimiento (por intensidad y frecuencia).
- Reducción en el respaldo de refacciones y servicio.
- Peligrosidad en su operación.
- Falta de garantía en el funcionamiento.
- Reparación incosteable.
- Obsolescencia.
- Equipo actual más rápido, versátil, eficiente, seguro y cómodo.
- Desplazamiento tecnológico.
- Disposiciones legales de control de la contaminación.
- Producción: falta de flexibilidad y/o versatilidad.



**ASPECTOS BASICOS DEL DISEÑO, CONSTRUCCION, INSPECCION Y MANTENIMIENTO DE DUCTOS TERRESTRES PARA TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS**

TIPO	LIMITES (para defectos aislados)	ACCIONES	REPARACION DEFINITIVA O PERMANENTE ACEPTADA
Ranuras	Profundidad mayor de 10% del espesor nominal		
Abolladuras	Cuando afecten la curvatura de la tubería en la soldadura longitudinal o en cualquier soldadura circunferencial.	Sustituir tramo* o reparar	1 o 2
	Las que contengan algún concentrador de esfuerzos tal como arrancadura o ranura.		
	Las que excedan una profundidad de 6.4 mm (1/4 pulg.) en una tubería de 304.8 mm (12 pulg.) y menores o 2% del diámetro nominal de tuberías mayores de 304.8 mm (12 pulg.).		
Daño caliente	Los daños calientes que rebasen el 10% del espesor nominal de la tubería deben ser evaluados con estudios de ingeniería.	Sustituir tramo* o reparar	1, 2 o 3
Grietas	Inaceptable a menos que se realice un estudio de mecánica de fractura.	Sustituir tramo* o reparar	1 o 2
Imperfecciones en soldadura			
Penetración inadecuada y fusión incompleta	25.4 mm (1 pulg.) de longitud	Sustituir tramo* o reparar	1 o 2
Área quemada	6.4 mm (1/4 pulg.) de dimensión máxima o el espesor del material base	Sustituir tramo* o reparar	1 o 2
Inclusiones de escoria	50.8 mm (2 pulg.) de longitud o 1.6 mm (1/16 pulg.) de ancho	Sustituir tramo* o reparar	1 o 2
Porosidad o burbujas de gas	1.6 mm (1/16 pulg.) de dimensión máxima	Sustituir tramo* o reparar	1 o 2
Socavación	Profundidad de 0.8 mm (1/32 pulg.) o 12.5% del espesor (el que sea menor) y su longitud no excederá el valor menor entre 50.8 mm (2 pulg.) o 3.2 mm (1/8 pulg.) de la longitud de soldadura	Sustituir tramo* o reparar	1 o 2
Corrosión externa generalizada	Espesor mínimo requerido de acuerdo a la sección 8.1.6.3	Reparar, reemplazar u operar a presión reducida	1, 2 o 5
Corrosión interna generalizada	Espesor mínimo requerido de acuerdo a la sección 8.1.6.3	Reparar, reemplazar u operar a presión reducida	1 o 2
Corrosión localizada intrna	De acuerdo al Anexo E de esta norma de referencia.	Reparar, reemplazar u operar a presión reducida	1 o 2
Corrosión localizada externa	De acuerdo al Anexo E de esta norma de referencia.	Reparar, reemplazar u operar a presión reducida	1, 2, 3, 4 y 5
<p>NOTA: En caso de presentarse fuga en cualquier tipo de discontinuidades citadas, ésta debe ser reparada mediante el método de reparación definitiva o permanente.</p> <p>REPARACIONES:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Sustitución de tramo.</li> <li>Envolvente circunferencial completa soldada.</li> <li>Esmerilado hasta un 10% del espesor de pared nominal.</li> <li>Relleno con material de aporte.</li> <li>Refuerzo no metálico.</li> </ol> <p>* Una soldadura sólo podrá ser reparada 2 veces y si vuelve a salir con defecto se debe eliminar cortando un carrete.</p>			

Tabla 8. Reparaciones permanentes o definitivas aceptadas

### VI.3 Actividades del mantenimiento de ductos

Los programas de inspección y mantenimiento de la red de ductos incluyen las siguientes actividades:



#### ASPECTOS BASICOS DEL DISEÑO, CONSTRUCCION, INSPECCION Y MANTENIMIENTO DE DUCTOS TERRESTRES PARA TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS

- Mantenimiento de derechos de vía y de vías de acceso, así como instalación o reposición de los señalamientos correspondientes.
- Celaje de ductos principales.
- Inspección de ductos principales con equipo instrumentado, para la localización precisa de defectos y anomalías, con dispositivos denominados “diablos geoposicionadores”.
- Levantamiento de perfiles de potencial a ductos terrestres y marinos.
- Refuerzos de protección catódica a ductos cuando se detectan deficiencias en la protección y bajos índices de potencial.
- Instalación de sistemas de protección catódica nuevos o adicionales.
- Protección anticorrosiva interior a base de inyección de inhibidores.
- Monitoreo de velocidades de corrosión en líneas con tratamiento de inhibidores y en líneas sin tratamiento.
- Mantenimiento de recubrimientos anticorrosivos en instalaciones superficiales y ductos descubiertos.
- Sustitución de tubería metálica y no metálica en ductos o tramos de ductos con anomalías detectadas.



ASPECTOS BASICOS DEL DISEÑO, CONSTRUCCION, INSPECCION Y MANTENIMIENTO DE DUCTOS  
TERRESTRES PARA TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS

## VII. Descripción general del proyecto de ingeniería complementaria, procura y construcción del ducto de 18 pulgadas de diámetro, de Cima de Togo Estado de Hidalgo a Venta de Carpio, Estado de México

### Descripción General

Los trabajos consistieron en la construcción de un ducto de 103.6 km de longitud aproximadamente y de 18" de diámetro nominal, el cual partió de la estación de rebombeo Cima de Togo a la terminal de recibo Venta de Carpio siguiendo el trazo del Derecho de Vía (DDV) 091 hasta llegar a Venta de Carpio; se interconecta en la estación Venta de Carpio al poliducto Minatitlán-Azcapotzalco de 16" D.N., con un horizonte de operación de 20 años.

Las características generales de la tubería para el proyecto contempló un ducto de 18 pulgadas de diámetro elaborado de acero al carbón de alta resistencia y bajo contenido de carbón, especificación API-SPC-5L, X-52 con costura fabricada de acuerdo a la norma NRF-002-PEMEX-2001 Rev.0, con espesores seleccionados aplicando la ecuación de Barlow y a los criterios indicados en la norma NRF-030-PEMEX-2006.

### VII.1 Cruzamientos

Con el diagrama general de cruzamientos con SCT a lo largo del trazo del ducto y el diagrama general de ubicaciones marginales con derechos de vía de terceros (CFE, FFCC) a lo largo del trazo del ducto, se han definido 214 cruzamientos, entre los cuales existen cruzamientos de carretera, de canal o arroyo, con caminos de terracería, con vías de comunicación tuneleados, con cuerpos de agua a cielo abierto, con vías de comunicación a cielo abierto, con canales, con líneas de alta tensión, direccionales y de segundo orden. La siguiente Tabla indica un resumen del Tipo de Cruzamiento, cantidad y longitud total:

Tipo de Cruzamiento	Cantidad	Longitud Total (m)
Tuneleados	19	784
Direccionados	06	543
Segundo orden	155	4,811
Cuerpos de agua	15	362
Carreteras	19	280
Total	214	6,780

Tabla 9. Listado de cruzamientos



## ASPECTOS BASICOS DEL DISEÑO, CONSTRUCCION, INSPECCION Y MANTENIMIENTO DE DUCTOS TERRESTRES PARA TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS



**Figura 9. Cruce tuneleado INAH**

### **VII. 2 Libramientos**

Debido a que el D.D.V. 091 tiene algunos puntos invadidos o que la traza urbana creció y por consiguiente pasa en medio de algunas poblaciones de los estados de Hidalgo y de México, se consideraron los siguientes libramientos.

1. Libramiento al área de reserva natural en la Laguna de Tecocomulco, evitando dejar el poliducto en zona inundable, con una longitud aproximada de 9 km.
2. Libramiento de Tepeapulco y Ciudad Sahagún, con una longitud aproximada de 14 km.
3. Libramiento de poblados en Otumba de Gómez Farfás y Cuautlacingo, con una longitud aproximada de 10.1 km.

### **VII. 3 Descripción del Trazo.**

El ducto de proyecto parte de la Estación Cima de Togo, se interconecta en la trampa de recibo de diablos del poliducto existente Tuxpan-Azcapotzalco 24"-18"-14" D.N., sigue el derecho de vía existente, paralelo al poliducto de 14" D.N.

En el Km 2+250 se aproxima a una pequeña población denominada Alhuajoyucan, en el estado de Hidalgo, por lo que se deben tomar las medidas necesarias para protección del ducto. Después de esta población se tiene un cruce con un arroyo del mismo nombre que la población mencionada, el cual se construyó a cielo abierto colocando costaleras para desviar el flujo de la corriente mientras duró la construcción. En este punto se construyeron dos válvulas de seccionamiento una en la Margen Izquierda del Río Alhuajoyucan en el km 2+315 y otra en la Margen Derecha del Río Alhuajoyucan km 3+020. Continúa sobre el derecho de vía existente debiendo realizarse cruzamientos con caminos, escurrideros, carreteras pavimentadas, entre otros. Pasa por la población San Lorenzo, en el estado de Hidalgo en donde se realizaron obras para protección del poliducto ya que esta población está muy cercana al Derecho de Vía Existente.



## ASPECTOS BASICOS DEL DISEÑO, CONSTRUCCION, INSPECCION Y MANTENIMIENTO DE DUCTOS TERRESTRES PARA TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS

En el Km 10+630 se realizó el cruce a cielo abierto con el río San Lorenzo. En este punto se construyeron dos válvulas de seccionamiento una en la Margen Izquierda del Río San Lorenzo km 10+600 y otro en la Margen Derecha del Río San Lorenzo km 11+690. Se siguió el trazo existente realizándose obras especiales en carreteras, caminos, carreteras en etapa de construcción y escurrideros hasta aproximarse a la Laguna de Tecocomulco donde en el Km 21+600 aproximadamente se localiza la válvula de seccionamiento del mismo nombre "Tecocomulco"; en esta zona se construirá dicha válvula para enseguida realizar el primer libramiento, "libramiento de la laguna de Tecocomulco" para alejarnos del área inundable por la laguna, debiéndose construir un derecho de vía nuevo.

En el Km 30+300 aproximadamente se regresa al derecho de vía existente después de la zona inundable por la Laguna de Tecocomulco, se continuo el trazo en dirección a Cd. Sahagún realizando obras especiales en caminos, canales de riego y arroyos. Aproximadamente en el km 33+740 se construyo la válvula de seccionamiento "San Isidro". Debido al incremento en la población de Cd. Sahagún y a que el derecho de vía en sus cercanías se encuentra muy poblado se realizó un nuevo libramiento en el kilómetro 44+300 aproximadamente, el libramiento número 2 denominado "libramiento Ciudad Sahagún" y 900 m. después se construyo la trampa de recibo y envío de diablos "Xihuingo" en el km 45+200. En este libramiento se realizaron obras especiales con caminos, carreteras, canales, arroyos y vías de FFCC; ejecutándose el cruzamiento de la carretera "Arco Norte" por el método de Perforación Horizontal Direccionada.

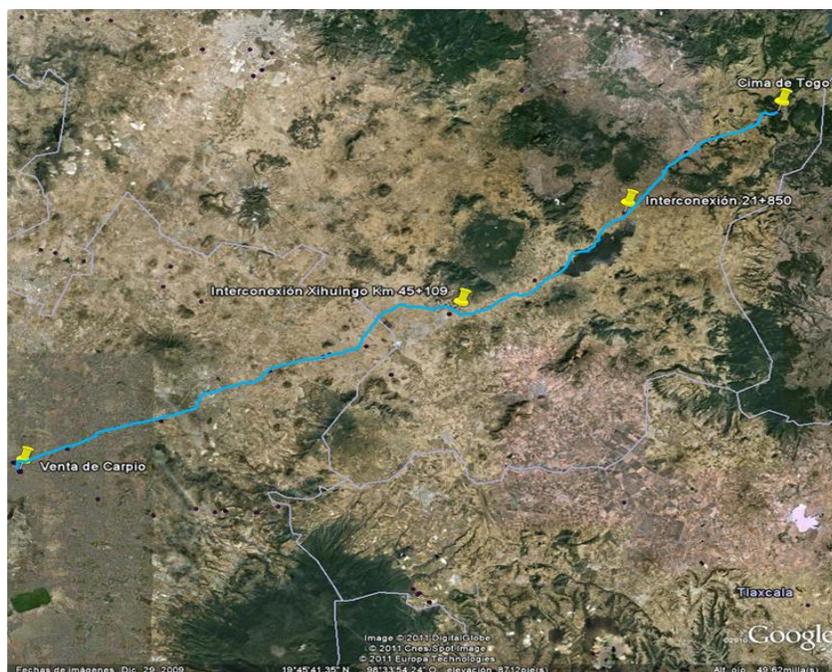


Figura 10. Trazo del ducto



## ASPECTOS BASICOS DEL DISEÑO, CONSTRUCCION, INSPECCION Y MANTENIMIENTO DE DUCTOS TERRESTRES PARA TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS

En el Km 58+550 se retorna al derecho de vía existente para continuar paralelos al poliducto de 14" D.N. siguiendo hasta la población de Otumba. En este trayecto se realizaron cruzamientos con líneas de alta tensión, carreteras, caminos, vías de FFCC y escurrideros.

En el Km 68+600 aproximadamente inicia el tercer libramiento del proyecto, denominado "libramiento Otumba", en donde el poliducto de proyecto se construyo paralelo al derecho de vía de FFCC y en donde se realizaron cruzamientos con carreteras, caminos, calles, vías de FFCC y arroyos. En el km 68+935 se construyo la válvula de seccionamiento Axapusco, En el Km 78+700 se reincorpora al derecho de vía existente y se continua hasta llegar a Venta de Carpio, en este ultimo tramo del proyecto se realizaron cruzamientos con caminos, carreteras, calles, vías de FFCC, canales, líneas de alta tensión y autopistas.

En Venta de Carpio se realizó la construcción de una trampa de recibo de diablos y la interconexión con el poliducto Minatitlán-Azcapotzalco de 16" D.N.; sitio donde concluye el proyecto.

### **VII. 4 Interconexión en Cima de Togo**

En la estación de compresión y bombeo Cima de Togo se realizo la interconexión del nuevo poliducto de 18" con las líneas existentes del ducto de 14" Cima de Togo-Azcapotzalco; abarcando la ejecución de levantamientos de campo requeridos para realizar el arreglo de la tubería y la integración de instalaciones nuevas con las instalaciones existentes así como los servicios de mecánica de suelos y detección de tuberías o estructuras enterradas para evitar incidentes durante la construcción. Posteriormente, con base en los levantamientos de campo, el cumplimiento de la normatividad vigente aplicable y las recomendaciones adicionales de seguridad, fue necesario realizar la detección de la tubería y estructuras enterradas, los estudios de control de corrosión y la solución a la problemática encontrada, con lo que se definió la trayectoria y ubicación óptima de la nueva tubería, así como el arreglo definitivo de la trampa de envío de diablos. La interconexión de las 2 líneas se llevo a cabo mediante una libranza operativa que permitió sacar al ducto de 14" de operación.

### **VII.5 Válvulas de Seccionamiento**

Con la finalidad de seccionar el ducto en tramos de ducto que faciliten la operación, el mantenimiento, la atención e emergencias así como para limitar el riesgo y daño causado por rotura del ducto, se construyeron las válvulas de seccionamiento siguientes:

1. VS en Cima de Togo, Km 0+000
2. VS MD Río Alhuajoyucan, Km 2+315



## ASPECTOS BASICOS DEL DISEÑO, CONSTRUCCION, INSPECCION Y MANTENIMIENTO DE DUCTOS TERRESTRES PARA TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS

3. VS MI Río Alhuajoyucan, Km 3+020
4. VS MD Río San Lorenzo, Km 10+600
5. VS MI Río San Lorenzo, Km 11+690
6. VS Tecocomulco, Km 21+600
7. VS San Isidro, Km 33+740
8. VS Axapusco, Km 68+935
9. VS Otumba, Km 81+890
10. VS Acolman, Km 90+580
11. VS Las Minas, Km 98+850

### **VII.6 Trampa de Recibo y Envío de Diablos (TRED) Xihuingo**

Con la finalidad de eficiente el mantenimiento y la operación del ducto, que permita realizar las inspecciones interiores con diablo instrumentado que el mantenimiento futuro requiera, se construyo la trampa de recibo y envío de diablos “TRED Xihuingo”, en el km 45+200 aproximadamente.

Esta TRED cuenta con una fosa recuperadora de residuos con capacidad para contener el líquido desalojado de la (TRED), así como un registro para cada cubeta, cubierto de rejilla Irving instalado debajo de la tapa abisagrada, cuyo objetivo es captar los restos de hidrocarburos que se queden en la cubeta como producto de las corridas de diablos, estos registros deben conectarse a la fosa de recuperados, el sistema de vaciado será por medio de una unidad móvil.

La instalación completa esta confinada por una barda perimetral y puerta de acceso de materiales y dimensiones que impidan el fácil acceso a la misma con un sistema de detección de intrusos.

### **VII.7 Interconexiones TRD Venta de Carpio**

Se destino un área anexa a la trampa de envío de Diablos existente en el Poliducto Minatitlán-Azcapotzalco de 16” de D.N. en la terminal Venta de Carpio, para la ubicación de la TRD de 18” de diámetro del nuevo ducto, donde se conectan ambas líneas para utilizar el tramo de 16” de diámetro nominal del poliducto Venta de Carpio – TAR 18 de Marzo (Azcapotzalco). La nueva T.R.D. de 18” de diámetro nominal comparte los servicios ya existentes. La interconexión se realizó por medio de libranza operativa dejando fuera de operación por un lapso de tiempo el ducto de 16”.

### **VII.8 Sistema de Protección Catódica**

El alcance de la protección catódica para los ductos que se encuentran alojados en el derecho de vía que aloja también al ducto de 18” del proyecto, implica únicamente el mantener los niveles de protección actuales ó en su caso,



ASPECTOS BASICOS DEL DISEÑO, CONSTRUCCION, INSPECCION Y MANTENIMIENTO DE DUCTOS  
TERRESTRES PARA TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS

rehabilitar las camas anódicas existentes. El alcance contemplo sustituir los rectificadores anteriormente instalados por rectificadores de tecnología del tipo Switching con salidas independientes (módulos) así como la construcción de casetas de rectificadores nuevas, distribuidos de la forma siguiente:

- Un módulo de salida para el ducto de 14” D.N. tramo Cima de Togo-Venta de Carpio.
- Un módulo de salida para el ducto de 18” D.N. tramo Cima de Togo-Venta de Carpio.
- Un módulo de salida para el gasoducto de 18 “D.N. tramo de Cima de Togo a Venta de Carpio

Por lo anterior se construyeron, remodelaron y sustituyeron las casetas y rectificadores siguientes:

- Rectificador de protección catódica Alhuajoyucan (nuevo)
- Rectificador de protección catódica Allende (nuevo)
- Rectificador de protección catódica Ciudad Sahagún (remodelado).
- Rectificador de protección catódica Otumba (remodelado).
- Rectificador de protección Catódica Las Minas (remodelado).
- Rectificador de protección catódica Venta de Carpio (remodelado).

El sistema de protección catódica implementa rectificadores automáticos (en sitio) monitoreados y telecontrolados desde una estación maestra; operan por potencial, corriente y voltaje. El equipo instalado permite conocer las siguientes variables:

- Corriente de salida en tiempo real
- Tensión de salida en tiempo real
- Corriente de entrada en tiempo real
- Tensión de entrada en tiempo real
- Potencial de protección en tiempo real
- Modo de control
- Presentación de alarmas en idioma español
- Definición de modo de operación
- Sincronización ON/OFF
- Registros históricos etc.

El sistema de puesta a tierra considera una barra de conexión común (bus) la cual esta aislada del medio ambiente para garantizar la integridad física del personal encargado del mantenimiento y de la protección contra la corrosión química del medio ambiente.



ASPECTOS BASICOS DEL DISEÑO, CONSTRUCCION, INSPECCION Y MANTENIMIENTO DE DUCTOS  
TERRESTRES PARA TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS

### VII.9 Sistema de Recubrimiento Anticorrosivo

La selección del recubrimiento anticorrosivo para el ducto 18" Cima de Togo-Venta de Carpio fue de acuerdo a las condiciones de campo y a los estudios realizados. La selección considero entre otros el análisis de las tensiones inducidas por las líneas de alta tensión que comparten el derecho de vía con el ducto nuevo.



Figura 11. Parcheo de junta con recubrimiento anticorrosivo

Por lo anterior se tomo la decisión de aplicar un recubrimiento anticorrosivo conocido como RAM-100-SP-PLUS, el cual Es un compuesto epóxico poliaminico termofijo para protección anticorrosiva de vanguardia en ductos de acero o concreto e instalaciones petroleras en operación sometidos al embate de la mayoría de los ácidos, vapores corrosivos, medio ambiente agresivo, ataque de microorganismo, choque térmico, salinidad, humedad, desgaste por fricción y abrasión.

Es un sistema genérico epóxico liquido de altos con resinas poliaminicas alifáticas y reforzados con cristales de cuarzo y zirconio, intercalando cargas inertes plásticas, denotando que el sistema completo es pigmentado.

### VII.10 Aislamientos Eléctricos

Los aislamientos eléctricos se consideraron en las trampas de envío y recibo de diablos, así como en las válvulas de seccionamiento por medio de una junta aislante del tipo Monoblock.

Así mismo se considero el aislamiento eléctrico entre mocheta- ducto- abrazadera empleando un sistema adecuado que no requiera mantenimiento constante y no tenga un desprendimiento que origine posteriormente corrosión.



ASPECTOS BASICOS DEL DISEÑO, CONSTRUCCION, INSPECCION Y MANTENIMIENTO DE DUCTOS  
TERRESTRES PARA TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS

### **VII.11 Sistema General de Monitoreo y Control**

La operación del ducto será por medio de un sistema de monitoreo y control para vigilar remotamente la operación del ducto de 18" con la instrumentación y equipos requeridos en las instalaciones, interconexiones, trampas de envío, trampas de recibo de diablos y válvulas de seccionamiento desde la estación de rebombeo Cima de Togo hasta la terminal de recibo en Venta de Carpio.

En las instalaciones, interconexiones, trampas de envío, trampas de recibo de diablos y válvulas de seccionamiento, se recolectan directamente las variables de operación de la instalación correspondiente por medio de instrumentos conectados con una Unidad Terminal Remota (UTR), a través de esta la información se transmite al SCADA de Pemex Gas y Petroquímica Básica a través del sistema de telecomunicaciones que se implemento en este proyecto y que esta ligado con la red de telecomunicaciones de Petróleos Mexicanos.

El registro, monitoreo y control del ducto considera las siguientes variables: la presión y flujo de entrada y salida, así como el monitoreo de apertura y cierres de válvulas.

Los registros deben ser continuos, midiendo y registrando las variables como presión de línea en las instalaciones, antes y después de las válvulas de bloqueo que sean críticas para la operación normal y que se requieran operar durante cualquier eventualidad que afecte la operación; presión de tanques de nitrógeno de actuadores; flujo en válvulas de seguridad; flujo en drenes de cubetas de trampas; detector de paso de diablos no intrusivo en trampas de diablos; monitoreo del estado de las válvulas de bloqueo y su control.

La UTR recibe datos de los instrumentos de campo y control de estado/cierre/apertura de las válvulas de bloqueo de las instalaciones, interconexiones, válvulas de entrada y salida de estación en trampas de envío, trampas de recibo, y válvula de by-pass para trampa de recibo y envío de diablos, así como en válvulas de seccionamiento.

### **VII.12 Sistema de Telecomunicaciones**

Para poder cumplir con el objetivo de establecer los sistemas de comunicación para el sistema de monitoreo y control y para el sistema de protección catódica, se utilizan los sistemas de comunicación existentes en PEMEX, los cuales se tuvieron que ampliar para poder utilizarse en el envío/recepción de la información entre las instalaciones remotas y los centros de control, los subsistemas de comunicación que se utilizan son los siguientes:

- Sistema de comunicación satelital



ASPECTOS BASICOS DEL DISEÑO, CONSTRUCCION, INSPECCION Y MANTENIMIENTO DE DUCTOS  
TERRESTRES PARA TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS

- Sistema de comunicaciones de datos
- Sistema troncal de comunicaciones
- Sistema de radiocomunicación de espectro disperso



Figura 12. Sistema de telecomunicaciones



## ASPECTOS BASICOS DEL DISEÑO, CONSTRUCCION, INSPECCION Y MANTENIMIENTO DE DUCTOS TERRESTRES PARA TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS

### **VIII. Conclusiones**

Para la operación de los sistemas de transporte de hidrocarburos por ducto de las diferentes zonas geográficas del país, bajo condiciones de seguridad y eficiencia, es necesario implementar medidas de control y de reducción de riesgos durante la operación, por lo que se requiere generar obras tendientes a minimizar condiciones de riesgo que influyen directamente en los parámetros operativos (máxima presión permisible de operación, espesor de tubería y densidad de población), en el caso de ductos en operación.

La ejecución de proyectos de mantenimiento permite transportar hidrocarburos en condiciones favorables, avanzado en la erradicación de fugas por corrosión, mediante un reforzamiento de los mantenimientos predictivos y correctivos, permitiendo atenuar la velocidad de corrosión de los ductos y el consecuente deterioro de la integridad mecánica de los mismos. Estas acciones han incrementado la vida útil de los ductos y la rentabilidad de la infraestructura actual.

Pemex tiene como misión y es uno de sus objetivos estratégicos, el satisfacer la demanda nacional de productos petrolíferos y maximizar el valor económico de la empresa. Durante los últimos años la demanda creciente de petrolíferos en todo el territorio nacional ha provocado la saturación de la infraestructura existente, por lo que cualquier eventualidad puede convertir el suministro de hidrocarburos en una contingencia de carácter nacional.

En ese sentido la zona Metropolitana de la Cd. México es la región del país de mayor consumo de combustibles y tiene una creciente demanda para los años futuros, además de que consume gasolinas oxigenadas debido a las restricciones ambientales de la Ciudad, razón por la cual Pemex contempla dentro de su plan de negocios a largo plazo, la instrumentación del abastecimiento óptimo de las crecientes demandas de hidrocarburos de todo tipo.

Por lo anterior y con la finalidad de optimizar los sistemas de transporte por ducto, se requiere incrementar la capacidad de transporte de los ductos en operación, para garantizar el suministro de hidrocarburos con un costo mínimo, maximizando el uso de los activos con una operación eficiente y segura.

Tal es el caso del proyecto de “INGENIERÍA COMPLEMENTARIA, PROCURA Y CONSTRUCCIÓN DEL DUCTO DE 18 PULGADAS DE DIAMETRO DE CIMA DE TOGO, ESTADO DE HIDALGO A VENTA DE CARPIO, ESTADO DE MEXICO”, el cual se construyó con la finalidad de optimizar el sistema de transporte por ducto Tuxpan - Cima de Togo - Azcapotzalco, incrementando la capacidad de transporte de 70 a 140 MBD desde Tuxpan, Veracruz hasta Azcapotzalco para garantizar el



ASPECTOS BASICOS DEL DISEÑO, CONSTRUCCION, INSPECCION Y MANTENIMIENTO DE DUCTOS TERRESTRES PARA TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS  
suministro de combustibles con un costo mínimo, maximizando el uso de los activos con una operación eficiente y segura.



Figura 13. Ducto 18" Cima de Togo-Venta de Carpio

Por otro lado, con la finalidad de incrementar y abastecer la creciente demanda de gas natural, principalmente en el ámbito industrial en todo el territorio nacional, Pemex planea la construcción de la segunda etapa del proyecto denominado Los Ramones, proyecto que contempla la construcción de un gasoducto de 740 km de longitud y 42" d diámetro, abarcando los estados de Nuevo León, Tamaulipas, San Luis Potosí, Querétaro y Guanajuato.

En consecuencia, Pemex consciente de su compromiso de prestar servicios oportunos y de calidad, buscando optimizar el funcionamiento de sus instalaciones e incrementar la producción, el transporte y las ventas, con la finalidad de maximizar el valor económico de la empresa, diseña y ejecuta proyectos de mantenimiento de la infraestructura existente y de incremento de la capacidad de transporte por ducto, todo ello previendo la conservación del medio ambiente y la satisfacción de las necesidades de suministro de hidrocarburos, cumpliendo además con las normas internacionales de calidad y seguridad, tomando en consideración todos aquellos servicios primarios y auxiliares necesarios para el diseño, construcción, operación y mantenimiento confiable de la nueva infraestructura y cumpliendo con las leyes, normas, reglamentos y lineamientos aplicables.



ASPECTOS BASICOS DEL DISEÑO, CONSTRUCCION, INSPECCION Y MANTENIMIENTO DE DUCTOS  
TERRESTRES PARA TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS

**IX. Referencias**

1. Norma de Referencia NRF-001-PEMEX-2007 Tubería de acero para recolección y transporte de hidrocarburos.
2. Norma de Referencia NRF-004-PEMEX-2003 Protección con recubrimientos anticorrosivos a instalaciones superficiales de ductos.
3. Norma de Referencia NRF-026-PEMEX-2008 Protección con recubrimientos anticorrosivos para tuberías enterradas y/o sumergidas.
4. Norma de Referencia NRF-030-PEMEX-2009 Diseño, Construcción, Inspección y Mantenimiento de Ductos Terrestres para Transporte y Recolección de Hidrocarburos.
5. Manual de Operación y Mantenimiento de Ductos de Transporte y Distribución de Hidrocarburos de Pemex.
6. Manual del Sistema de Gestión Integral de la Subdirección de Ductos.