



MEXICO

***RIESGO E INTEGRIDAD DE DUCTOS DE
TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS.***

ESPECIALIDAD: INGENIERÍA CIVIL

ING. MELESIO GUTIÉRREZ PÉREZ

México, D.F., marzo 11 de 2010

CONTENIDO

	Página
Resumen Ejecutivo	3
1. Introducción	5
2. Construcción de Ductos	7
3. Operación, Mantenimiento y atención de emergencias.	11
4. Revisión de la integridad de los ductos.	16
5. Normas de Seguridad y su verificación.	17
5.1 Gas Natural	18
5.2 PEMEX Refinacion.	25
5.3 PEMEX Exploración y Producción.	27
6. Propuesta de Norma Oficial: <i>"Administración de la integridad de ductos de recolección y transporte de hidrocarburos".</i>	30
7. Conclusiones	35
8. Referencias y Bibliografía.	36

RESUMEN EJECUTIVO

En este trabajo se analizan el riesgo y la integridad de los ductos de transporte de hidrocarburos, así como su importancia en la economía nacional y en la seguridad de la sociedad, con base en la Ley General de Protección Civil y en la Ley de Seguridad Nacional. Se describen los aspectos más importantes de la ingeniería de proyectos, de la fabricación de la tubería y de los procesos constructivos, como derecho de vía, alineado, doblado y soldado, prueba radiológica, protección anticorrosiva, bajado, tapado y lastrado de la tubería, así como de las obras especiales, las pruebas hidrostáticas y la protección catódica.

Se destaca la relevancia de la operación y mantenimiento para el buen funcionamiento de los ductos, así como de la atención a emergencias y prevención de daños. En particular la revisión de la integridad de los ductos tanto para identificar las causas potenciales que amenazan su integridad, como para proveer bases técnicas para lograr una operación segura a 5 años.

Se enfatiza la aplicación de normas de seguridad y los criterios de verificación de las mismas, en particular las normas oficiales mexicanas aplicables a gasoductos emitidas por la Secretaría de Energía a través de la Comisión Reguladora de Energía.

Como caso específico se muestra el sistema nacional de gasoductos operado por PEMEX y los sistemas de distribución operados por empresas privadas. Se tipifica la aplicación de la NOM-007-SECRE-1999 de transporte de gas natural para los ductos que transportan este producto.

También se describen los ductos que transportan derivados del petróleo en forma líquida, así como de los que transportan crudo operados en el primer caso por PEMEX Refinación y en el segundo por PEMEX Exploración y Producción, los cuales no están sujetos a normas oficiales mexicanas.

Se plantea la propuesta de norma oficial llamada "***Administración de la integridad de ductos de recolección y transporte de hidrocarburos***" que abarcaría todos los ductos existentes y futuros con el propósito de evaluar el riesgo y la integridad de los mismos, con base en diversos métodos de evaluación. En la misma se proponen plazos para el cumplimiento de la norma.

Se proponen algunas conclusiones que involucran a las autoridades municipales, estatales y federales, así como los propietarios de los ductos para disminuir los riesgos para la población, el ambiente y la economía.

1. INTRODUCCIÓN.

IMPORTANCIA DE LOS DUCTOS PARA TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS.

Los ductos para transporte de hidrocarburos son de importancia estratégica nacional y, como consecuencia de ello, los fenómenos asociados a esta infraestructura tienen un significado muy especial; tal es el caso de los costos alternativos de transporte, oportunidad en el arribo de productos, riesgos por cuanto a pérdida de los mismos y, sobre todo, daños a la población en la zona de influencia de los ductos e instalaciones complementarias, y al personal operador de los mismos. Como antecedente del tema que nos ocupa, es conveniente mencionar que hace 30 años Petróleos Mexicanos observó que los costos de transporte estaban resultando muy altos y estableció un programa con base en la utilización de ductos y barcos que liberó significativamente a las carreteras del transporte por autotank. Sin embargo, es conveniente resaltar que por diversas razones que escapan de las intenciones de la presente plática, en los últimos años nuevamente ha crecido la participación de otros modos de transporte y ha disminuido la construcción de ductos.

Con el fin de apreciar el significado de estos aspectos, es importante observar los costos de transporte en pesos por kilómetro de unidad de producto, que en el caso del transporte por ducto es de 5 centavos contra 90 en autotank y 43 por ferrocarril.

Por lo tanto, deberá considerarse una prioridad nacional reducir significativamente el transporte por autotank con beneficio directo en la red carretera que está ya saturada. Esta acción requiere la coordinación entre la Secretaría de Comunicaciones y Transportes y la Secretaría de Energía, en el contexto del Sistema Nacional de Planeación.

Pasando al tema central de este trabajo, es necesario reconocer que el sistema de ductos, si bien desempeña un papel prioritario para el sector privado e industrial, también representa un riesgo latente principalmente para la población civil, como lo atestiguan los siniestros de diversas magnitudes que se han presentado, generando pérdidas lamentables.

De ahí la importancia de la seguridad de los ductos, tema que engloba el propósito de la Ley General de Protección Civil, el Sistema Nacional de Protección Civil y la Ley de Seguridad Nacional.

En particular, la Ley General de Protección Civil en su tercer considerando señala:

... "con el propósito de proteger a la persona y a la sociedad ante la eventualidad de un desastre provocado por agentes naturales o humanos, ante acciones que se traduzcan en pérdidas de vidas, la afectación de la planta productiva, la destrucción de bienes materiales, el daño a la naturaleza y la interrupción de las funciones esenciales de la sociedad, así como el de procurar la recuperación de la población y su entorno a las condiciones de vida que tenían antes del desastre".

Por otro lado, la mencionada Ley señala que:

"los objetivos del Sistema Nacional de Protección Civil son compatibles con los de Seguridad Nacional, toda vez que ambos buscan proteger a la población frente a eventos provenientes de fuentes naturales o humanas que afecten su integridad, estabilidad y permanencia"

... "Que dicho ordenamiento contempla como amenazas a la Seguridad Nacional, entre otras, los actos tendientes a destruir o inhabilitar la infraestructura de carácter estratégico o indispensable para la provisión de bienes o servicios públicos".

Los propósitos anotados ponen en evidencia que los incidentes que de manera imprevisible pudieran presentarse en los sistemas de ductos, provocando como consecuencia daño a la población civil, pueden y deben ser incorporados a las funciones del Sistema Nacional de Protección Civil.

Por otro lado, si bien la protección a los seres humanos y su patrimonio constituye un propósito primordial y suficiente, es importante tomar en cuenta las ventajas en costo de transporte de los ductos en comparación con otros medios y por ello poner en relieve la opción lógica de revertir las citadas tendencias en el transporte de hidrocarburos reorientando las inversiones hacia la ampliación del sistema nacional de ductos y de manera muy particular al mejoramiento sustancial en sus condiciones de mantenimiento y vigilancia, lo cual repercutiría en una disminución significativa en los índices de robos y accidentes.

2. CONSTRUCCIÓN DE DUCTOS.

Los ductos representan hoy en día el medio más importante y eficiente de transporte de hidrocarburos, desde las zonas de producción, plantas de refinación y petroquímicas, hasta las áreas de utilización o distribución final de los productos o en su caso, para su embarque hacia el extranjero.

El significado estratégico de los ductos radica en la naturaleza de los productos que moviliza. Se trata de combustibles imprescindibles en la actualidad para la vida diaria de las familias, insustituibles en su calidad de combustibles para la marcha de gran parte de los procesos industriales y como materia prima para el procesamiento de una gran variedad de productos, desde sencillos utensilios cotidianos, hasta complejos componentes, necesarios inclusive para el equipo utilizado en los viajes a otros planetas.

De ahí la necesidad de contar con una red de ductos adecuada a los requerimientos de movilización de hidrocarburos, sujetos a procedimientos optimizados de construcción, operados por personal altamente capacitado, sujetos a modernos sistemas de vigilancia, mantenimiento y corrección de fallas.

Es necesario destacar que todas estas actividades se realizan en apego a la adecuada normatividad que se ha ido aclimatando y fortaleciendo con el tiempo. Sin embargo, se debe reconocer la necesidad de ampliar algunos aspectos de la misma, sobre todo en lo tocante a protección civil.

INGENIERÍA DE PROYECTO.

El proyecto de un ducto debe ser elaborado con particular cuidado debido a las características de los hidrocarburos para cuyo transporte ha sido diseñado. Es necesaria una revisión exhaustiva del mismo y realizar visitas de campo que permitan verificar si existen obstáculos de líneas de conducción de gas, petróleo, agua, problemas en la tenencia de la tierra y otros que en su caso debieran ser considerados en el diseño.

FABRICACIÓN DE TUBERÍA.

El primer aspecto a considerar en la fabricación de tubería es el producto que va a transportar; ya sea gas, condensados, crudo, gasolina, amoniaco, etc.; en

consecuencia, el nivel de presión que ha de soportar, lo cual orienta la decisión de utilizar costura longitudinal o fabricar tubería lisa.

Cabe mencionar que antes de formar el tubo, la placa es inspeccionada mediante ultrasonido; asimismo, se realizan pruebas de expandido, deformación, susceptibilidad al agrietamiento, de tensión y límite de elasticidad.

APERTURA DEL DERECHO DE VÍA.

Una vez que se realizó la carga, transporte y descarga de tubería, aplicando los procedimientos habituales para la protección de la misma, se lleva a cabo la apertura del derecho de vía, que es el nombre de la franja de terreno donde se va a alojar la tubería ya soldada y protegida con material anticorrosivo, y su ancho se determina según el diámetro de la misma.

Se puede considerar al derecho de vía como el ámbito propio del ducto, en la medida de que se aloja en su interior, reduciendo el riesgo de desperfectos intencionados o por accidente de cualquier tipo y dando espacio a la señalización indispensable para alertar a las personas que transiten por el área, protegiendo su seguridad y la de las instalaciones. El derecho de vía es en la actualidad de vital importancia en la construcción de infraestructura.

La apertura de la zanja para el derecho de vía puede ser un procedimiento simple o llegar a cierta complicación, dependiendo de las características de las zonas donde se establezca y la orografía de la región.

ALINEADO, DOBLADO Y SOLDADO.

Esta fase es particularmente importante en la construcción de una línea de conducción de hidrocarburos, ya que representa la hermeticidad y resistencia del ducto.

El efectuar dobleces permite salvar obstáculos naturales debidos a la topografía y accidentes del terreno, reduciendo costos y tiempo. Esta actividad se realiza respetando ciertas consideraciones referidas al grado límite de ovalamiento, posición de la costura longitudinal, límite permisible de ondulaciones o deformaciones, necesidad de evitar el colapsamiento, y radios máximos de doblez del tubo.

El alineado de la tubería es una etapa previa a la soldadura, permite proceder a inspeccionar tanto el cuerpo del tubo como los biseles para ver si existe algún tubo dañado y proceder a repararlo o a desecharlo.

La soldadura se hace con el apoyo de personal altamente especializado, debe estar permanentemente supervisada y sujeta a pruebas específicas.

Antes de iniciar esta actividad se califica el procedimiento de soldadura que se va a utilizar, la cual se realiza por medio de una compañía certificadora o por la supervisión del proyecto.

PRUEBA RADIOLÓGICA.

Las radiografías son un medio de prueba no destructiva que permite obtener indicaciones de defectos inadmisibles, para ello se utilizan Rayos X o Rayos Gamma, de acuerdo con el procedimiento establecido y calificado. Cuando en alguna junta soldada **se observa algún defecto se procede a su evaluación, de acuerdo con los "Estándares de Aceptabilidad" vigentes.**

PROTECCIÓN ANTICORROSIVA.

Por lo general el tipo de protección anticorrosiva se especifica en el proyecto, siendo que la protección interior se aplica como parte de la fabricación de la tubería, de acuerdo al flujo que vaya a transportar, el cual se especifica en el proyecto.

En lo que respecta a la protección externa existe una variedad de sistemas de control, sin embargo, en el caso de México, durante muchos años se ha utilizado la protección a base de alquitrán y asfalto, ya que proporciona la adhesión suficiente a la superficie del metal, aporta también ductibilidad para resistir agrietamientos, resistencia para soportar los daños por manejo de la tubería y esfuerzos en el terreno; además, son compatibles con cualquier protección catódica suplementaria.

LASTRADO DE LA TUBERÍA.

La tubería se lastra para adicionar peso cuando se va a utilizar para cruzar en áreas fluviales, lacustres, pantanos, presas, arroyos, Etc., o sea, en superficies que contengan agua.

BAJADO Y TAPADO DE TUBERÍA.

Antes de proceder al bajado de la tubería se prepara el fondo de la zanja, eliminando cualquier elemento que se contraponga al adecuado asentamiento de la misma. A continuación se prepara el fondo de la zanja verificando la profundidad de diseño, se procede a colocar una capa de arena para que la tubería asiente en ella, se coloca una capa de material suave encima de la tubería y se procede a taparla con el material producto de la excavación.

OBRAS ESPECIALES.

Se denomina obra especial aquella en que se pierde la continuidad de las fases de construcción por encontrarse algún obstáculo que impida el paso normal principalmente del proceso de soldadura, como cruzamiento de corrientes fluviales, de vías de comunicación, de líneas de conducción de hidrocarburos en operación, etc.. El procedimiento que se utiliza para soldar un ducto, depende de las características del obstáculo a superar, y puede ser tan complicado y costoso como la perforación direccional.

PRUEBAS HIDROSTÁTICAS EN TUBERÍAS Y PROTECCIÓN CATÓDICA.

La tubería que se va a utilizar en la construcción, debe estar certificada desde su fabricación conforme a la normatividad.

La corrosión en metales es un fenómeno natural que consiste en la tendencia de estos materiales a alcanzar un estado de equilibrio electroquímico con el medio.

Por ello, en los medios electrolíticos como suelos y agua se genera una corrosión que provoca daños a la tubería y la protección de esta se realiza mediante un sistema de protección catódica, método electroquímico que es un modificador del ambiente agresivo.

De manera más específica, la protección catódica consiste en obligar a la tubería a funcionar como un cátodo en una celda de corrosión, mediante la manipulación y modificación de factores electroquímicos.

Este tipo de protección debe instalarse de preferencia durante la construcción, se debe realizar de acuerdo con la normatividad específica.

En los casos de tuberías enterradas o sumergidas es necesario hacer pruebas para localizar contactos involuntarios con estructuras metálicas enterradas y corregir las anomalías.

3. OPERACIÓN, MANTENIMIENTO Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS.

OPERACIÓN.

La operación de un sistema de ductos, además de mantener el flujo normal de hidrocarburos en condiciones óptimas de volumen y presión para su transporte hacia los centros de destino, también se orienta a detectar y prever situaciones anormales en sus diferentes componentes, y así dar bases para posteriormente llevar a cabo procedimientos de mantenimiento preventivo y correctivo eficaces.

Este aspecto se manifiesta particularmente urgente debido a las acciones imprevisibles de daño en los componentes de los ductos con el propósito de sustraer de manera ilegal producto para beneficio propio, actividades que se realizan con acentuada frecuencia. Sin embargo, su mayor valor descansa en la posibilidad de solucionar de manera oportuna funcionamiento irregular que pudiera afectar la vida de las personas.

En gran medida la eficacia de la operación y mantenimiento radica en la práctica de llevar a cabo registros y reportes, que se realizan durante diferentes períodos, para diferentes propósitos, y dirigidos a componentes específicos de importancia particular.

Es importante destacar que dentro de los diferentes hidrocarburos que se transportan por ducto, recibe particular atención el gas natural debido a su gran volatilidad y por lo tanto riesgo significativo para la población y actividades que pudieran ser afectadas en caso de siniestro, de ahí que se realizan de manera reiterada y cuidadosa las acciones de odorización de este hidrocarburo.

La medición del flujo de hidrocarburos es un procedimiento indispensable, sobre todo cuando un tramo de tubería se somete a condiciones más exigentes respecto a las habituales, pues permite medir niveles de presión observados para ser comparados con el nivel máximo de presión permitido en cada caso, previniendo fallas en el flujo esperado del hidrocarburo, así como desperfectos por exceso de presión.

Cuando se realiza esta actividad, también es importante revisar el funcionamiento de los diferentes componentes de los medidores, con el fin de evitar posibles alteraciones en el abastecimiento del hidrocarburo.

PREVENCIÓN DE DAÑOS.

Sistemáticamente se realizan recorridos de vigilancia del ducto, así como inspecciones de fugas, los cuales se coordinan con la inspección de señalamientos y avisos a lo largo de la tubería, verificando que se encuentren completos y en buen estado.

Los señalamientos informan con toda claridad la necesidad de tener precaución por el peligro que representa la existencia de ducto de alta o baja presión; asimismo, se pone de manifiesto la zona que corresponde al derecho de vía, prohibición de acceso a determinadas áreas, teléfonos en caso de emergencia, etc.

El personal de operación reporta inmediatamente cualquier condición anormal del sistema de transporte o en algún segmento del mismo, incluyendo cambios en la presión de diseño, temperatura y condiciones de flujo.

PRESIONES MÁXIMAS DE OPERACIÓN.

Existen diferentes criterios que de manera simultánea, esto es, no alternativa, acotan la forma como se debe manejar la presión en un segmento de tubería. Conviene destacar algunos ejemplos:

No superar la presión de diseño del componente más débil del segmento.

En ninguna situación se debe operar una tubería a un nivel superior al 80% de la presión de prueba.

En atención a circunstancias especiales, antes de ajustar la presión de operación por encima de la máxima presión permisible de operación, entre otros aspectos se deben revisar los proyectos de diseño, pruebas previas, así como los datos históricos de operación y mantenimiento del segmento de tubería para con ello poder determinar si el incremento está de acuerdo con los criterios de seguridad y regulatorios establecidos.

Asimismo, el incremento de presión debe espaciarse en incrementos menores que paulatinamente cubran el incremento total.

Finalmente, en este aspecto es importante indicar que cualquier aumento de presión sobre la presión máxima de operación tiene que ser aprobado por la unidad de verificación que corresponda.

ABANDONO.

Cuando un elemento del sistema es abandonado en un lugar, por cualquiera que fuera la razón, y en particular, tratándose de gas, el segmento deberá ser desconectado de cualquier fuente, despresurizado, purgado del producto contenido, bloqueado adecuadamente, desconectado del segmento que permanece activo e inertizado de manera apropiada.

INVESTIGACIÓN DE FALLA.

En un evento de falla dentro del sistema, la autoridad responsable conduce inmediatamente una investigación para determinar las causas probables a fin de implantar procedimientos para minimizar la recurrencia. Se debe contar con medios de mitigación o sustitución de tubería cuando los reportes de fuga indiquen una incidencia que rebase los límites establecidos por la práctica general.

PLAN DE EMERGENCIA.

El plan de emergencia se realiza anualmente para asegurar que los procedimientos sean congruentes con las condiciones de operación actuales, los números telefónicos de los servicios de atención de emergencias y los requerimientos de los programas para prevención de accidentes.

MANTENIMIENTO.

Cada segmento o sistema de tuberías que presente una condición insegura es reemplazado, reparado o retirado de servicio. Las fugas peligrosas deben ser reparadas rápidamente o bien el tramo donde se encuentren deberá ser reemplazado o abandonado.

La inspección de fugas debe llevarse a cabo en todos los sistemas, los estudios se realizan bajo diferentes tipos de procedimientos y al cabo de diferentes periodos, dependiendo del tipo de hidrocarburo e instalación de que se trate.

Cualquier fuga o ruptura y sus reparaciones, es documentada y registrada; estos registros deberán conservarse mientras el sistema de transporte se mantenga en operación.

PATRULLAJE.

La vigilancia del derecho de vía del ducto deberá realizarse de acuerdo con lo establecido en la normatividad de referencia, considerando también las actividades que involucren los alrededores del sistema y que a su vez puedan crear una condición insegura, esto incluye también los anuncios y señalizaciones de la línea y el crecimiento de vegetación en el derecho de vía.

En el patrullaje se considera también la inspección de válvulas de bloqueo y aislamiento, reguladoras de control de presión y de relevo, con las características que corresponde a cada caso, incluyendo el comportamiento de las variables que regulan.

CONTROL DE CORROSIÓN.

Los sistemas de tuberías que hayan sido enterrados o sumergidos son protegidos de la corrosión externa, por medio de un recubrimiento de protección en su superficie externa y un sistema de protección catódica.

El sistema de protección catódica debe cumplir ciertos requisitos técnicos para considerarse que está funcionando correctamente. Estas características se refieren al nivel del voltaje catódico, a los cambios en el mismo, en sus cambios de polarización y a la carga de corriente. Por lo tanto, cada tubería que se encuentre bajo protección catódica es verificada semestralmente y cada deficiencia encontrada es corregida en un tiempo máximo de seis meses.

REPARACIONES.

Cualquier daño o deterioro de la tubería debe ser reparado tan pronto como sea posible, sin embargo, las fugas deben recibir atención inmediata.

Siempre que se detecte una fuga, se toman medidas inmediatas para proteger al público, de igual manera, tratándose de una imperfección o daño que afecte el servicio de un tramo de línea de transporte, sobre todo si no es posible realizar una reparación definitiva en el momento de su detección, por lo cual se programa a la brevedad posible.

Antes de realizar una reparación se elabora un procedimiento previo que incluye la selección de materiales, de acuerdo a la normatividad correspondiente.

Las tuberías que no hayan sido sometidas a protección catódica, deberán ser inspeccionadas anualmente a fin de determinar la protección requerida.

Cada imperfección o daño que afecte las propiedades físicas de un tramo de tubo de acero se debe reparar o retirar.

PURGADO.

Ningún trabajo de purgado o venteo de una sección de tubería se puede realizar sin previa notificación a las instancias estatales y municipales de Protección Civil local, la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA) estatal y del usuario del sistema de transporte. No se requiere la presencia física de un inspector por parte de dichas instancias, pero si se requiere que sean enteradas del día y hora estimados en que se harán los trabajos. El jefe de operación del sector deberá notificar por escrito, con al menos 48 horas de anticipación, a las instancias referidas.

Está estrictamente prohibido efectuar simultáneamente cualquier tipo de trabajo que implique generación de chispa o uso de flama abierta. El empleo de equipo de comunicación no es posible a una distancia menor de 15 metros del punto de desfogue.

4. REVISIÓN DE LA INTEGRIDAD DE LOS DUCTOS.

Los ductos de transporte de hidrocarburos son estructuras de alto riesgo si no se les dá mantenimiento. Este puede ser preventivo o correctivo, pero ambos tienden a preservar la integridad de los ductos y por lo tanto la seguridad de las instalaciones y de la población.

El mantenimiento correctivo ocurre cuando un elemento ya se venció o se deterioró y por lo tanto hay que cambiarlo o reforzarlo y el preventivo es una revisión periódica para conocer el estado que guarda la estructura y hacer los cambios convenientes. Ambos requieren previamente de procedimientos de inspección.

Mediante la inspección se busca conocer el estado actual estructural, es decir la integridad del ducto. La inspección puede realizarse de muchas maneras: desde una simple inspección visual con registros sistematizados, o mediante equipo de ultrasonido, hasta el uso de aparatos de muy alta tecnología (diablos instrumentados).

El propósito es que los ductos se operen bajo condiciones seguras y eficientes, no obstante que los ductos presenten condiciones inadecuadas o daños por procesos corrosivos, grietas, laminaciones u otros. Mediante el uso de envolvertes, grapas, abrazaderas y mangas se pueden reforzar estructural y físicamente los ductos para quedar en condiciones de operación.

Un reporte de inspección con diablos instrumentados es un documento amplio y complejo que evalúa la integridad mecánica del ducto con base en las anomalías detectadas, con el propósito de:

- ⇒ Revisar hallazgos encontrados por el equipo instrumentado.
- ⇒ Identificar las causas potenciales de corrosión que amenazan la integridad del ducto.
- ⇒ Evaluar la importancia de las indicaciones de corrosión.
- ⇒ Evaluar la importancia de otras indicaciones (abolladuras, defectos de soldadura y de fabricación).
- ⇒ Dictaminar el estado de integridad actual.
- ⇒ Con base en la información disponible, estimar una velocidad de corrosión para futuras reparaciones.
- ⇒ Proveer bases técnicas para lograr una operación segura a 5 años.
- ⇒ Proveer métodos de reparación apropiados.

5. NORMAS DE SEGURIDAD Y SU VERIFICACIÓN.

Existen y se aplican muchas normas internacionales y nacionales tanto para la construcción como para la operación de ductos, pero son obligatorias las Normas Oficiales Mexicanas (**NOM's**) emitidas por la autoridad correspondiente, en este caso la Secretaría de Energía para el caso del gas natural. El transporte de crudo y productos derivados no está regulado y no tiene normas oficiales.

La verificación de las normas se realiza mediante la evaluación de la conformidad de dichas normas, que consiste en un análisis de la información documental y visitas de campo para revisión de métodos, procedimientos y registros de calidad, en el diseño, la construcción y la operación de los ductos.

La evaluación de la conformidad de las **NOM's** debe ser realizado por una unidad de verificación (UV) debidamente acreditada y aprobada por la Comisión Reguladora de Energía.

La UV debe obtener la información documental y realizar la inspección en campo de las instalaciones principales del sistema de transporte como son los puntos de recepción, las estaciones de medición y regulación, válvulas de seccionamiento y protección catódica.

La UV debe verificar que el propietario asegura el correcto funcionamiento del sistema de transporte mediante programas de mantenimiento preventivo, mantenimiento de la protección catódica, monitoreo de fugas, inspección y calibración de reguladores de presión, de válvulas de relevo y de válvulas de seccionamiento.

En materia de seguridad el propietario debe contar con programa de prevención de accidentes, información y educación a usuarios y población, plan integral de seguridad y protección civil, atención a emergencias, titularidad de derechos de vía y análisis de riesgo ambiental.

Esta verificación deberá aplicarse en los ductos de transporte de los 3 organismos subsidiarios de PEMEX. De un total de 58,881 kms, 28,775 kms corresponden a PEP, 14 182 kms a PEMEX Refinación, y 16,035 kms a PEMEX Gas y Petroquímica Básica, incluyendo los ductos privados.

DUCTOS DE TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS (KM)

PEMEX GAS Y PB

GASODUCTOS DEL SNG	8 985	
GASODUCTOS PRIVADOS	3 500	
LPG DUCTOS	3 050	
DUCTOS PETROQUÍMICOS SECUNDARIOS	500	
SUBTOTAL		16,035.

PEMEX REFINACIÓN

DUCTOS DE SUMINISTRO DE CRUDO A REFINERIAS	5 197	
POLIDUCTOS DE TRANSPORTE DE REFINERIAS AT.A	<u>8 985</u>	
SUBTOTAL		14,182.

PEMEX EXPLORACIÓN Y PRODUCCIÓN

DUCTOS DE TRANSPORTE OPERADO	10 691	
DUCTOS DE DESCARGAS Y PRODUCCIÓN DE GAS	<u>18 074</u>	
SUBTOTAL		28,775

TOTAL		58,881
-------	--	--------

5.1 GAS NATURAL.

Empezaremos primero revisando el sistema nacional de gasoductos. El sistema inicia en Cd. PEMEX en Tabasco y sigue la línea costera del Golfo con el gasoducto troncal de 48" hasta San Fernando Tamaulipas y se ramifica al centro y occidente de la república y al noreste de la misma.

MAPA DE LOCALIZACIÓN DE OPERACIONES DE PEMEX



El gas natural es un producto regulado por la Comisión Reguladora de Energía (CRE) tanto en precio como en nuevas instalaciones, operación, mantenimiento y seguridad de las mismas, fija el precio en el Ship Channel de Houston y permite la participación privada en todas las actividades excepto en la producción.

Esto significa que el sistema nacional de gasoductos propiedad de PEMEX, está regulado y entra en competencia con sistemas privados. Cuenta con 8,985 kms de diferentes diámetros y longitudes a los que se han sumado algunos ductos de propiedad privada pero que son operados por PEMEX Gas y Petroquímica Básica (PGPB). Existen 3,500 kms de ductos de propiedad privada que son operados por ellos mismos y cerca de 1000 ramales de usos propios muchos de ellos operados por compañías privadas, medianas y pequeñas.

Tanto el Sistema Nacional de Gasoductos como los ductos privados, están sujetos a normas de seguridad establecidas por la Secretaría de Energía a través de la CRE. De éstas la que más nos interesa es la NOM 007 aplicable a transporte de gas natural.

Los usuarios de los gasoductos del sistema se detallan en el siguiente cuadro en el que se observa la inyección y extracción de PEMEX Exploración y Producción (PEP), en las dos primeras columnas, Refinación en la tercera, PEMEX Petroquímica en la cuarta para el propio PGPB en la quinta, Comisión Federal de Electricidad en la sexta, distribución en la séptima, usos propios en la octava, sin permiso de usos propios en la novena y 113 ramales incorporados por la Comisión Reguladora de Energía y algunos fuera de operación.

SISTEMA NACIONAL DE USUARIOS DEL GASODUCTO

SECTOR	PEP Iny.	PEP Ext.	REF	PPQ	PGPB	CFE	DIST	PTUP	SIN PTUP	AL SNG RES-406	TOTAL	F/OP
CÁRDENAS		11			5			2		3	21	2
CHIHUAHUA					7	4	11	7	5	2	36	4
GUADALAJARA							1	1	1		3	
MADERO	1	3	2		4	1	4	10	2	1	28	2
MENDOZA	3		11		7			5		10	36	5
MINATITLAN	1	1	5	6	4				1	18	36	13
MONTERREY	1		1		6	10	49	9	8	28	112	2
REYNOSA	6	3			7	2	19	2	1	2	42	
SALAMANCA			1		6	4	20	14	4	15	64	
TORREÓN					4	3	5	5	1	2	20	
TLAXCALA		1	6	1		1	11	10	4	4	38	3
VTA. CARPIO			1	1	2	3	7	5	7	20	46	6
VERACRUZ	2	1	4		5	1		3	7	8	31	3
TOTALES	14	20	31	8	57	29	127	73	41	113	513	41

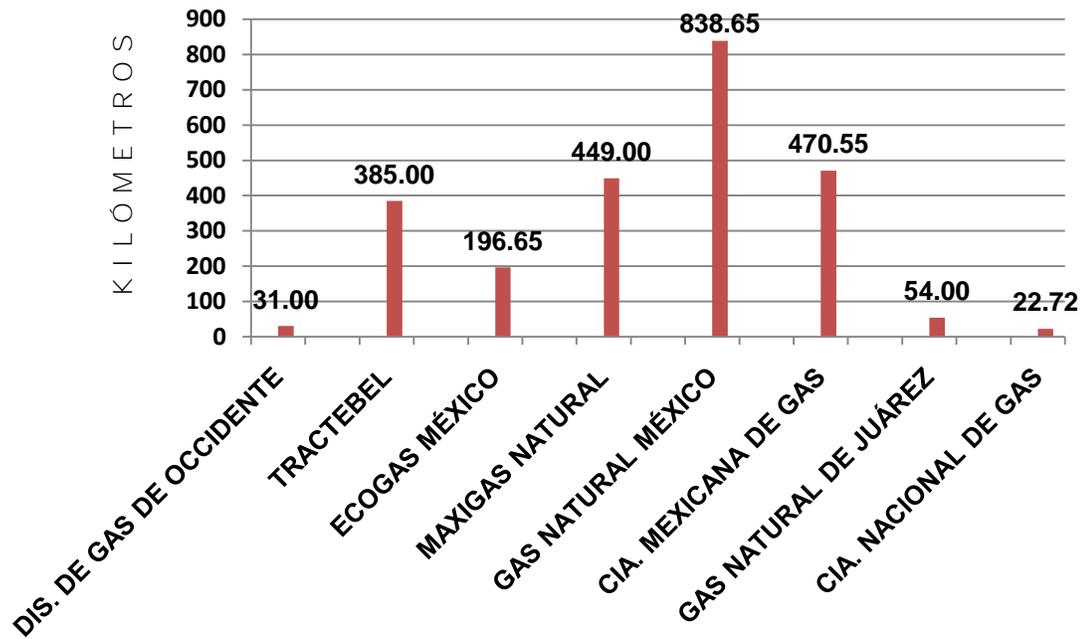
Complementariamente se presentan las redes de distribución de las que no hemos hablado, casi todas obtenidas por licitación por empresas extranjeras con experiencia

operativa para distribuir gas natural; los permisos fueron otorgados a los ganadores casi todos en la década de los 90.

ZONAS GEOGRÁFICAS DE DISTRIBUCIÓN DE GAS NATURAL (MAG)

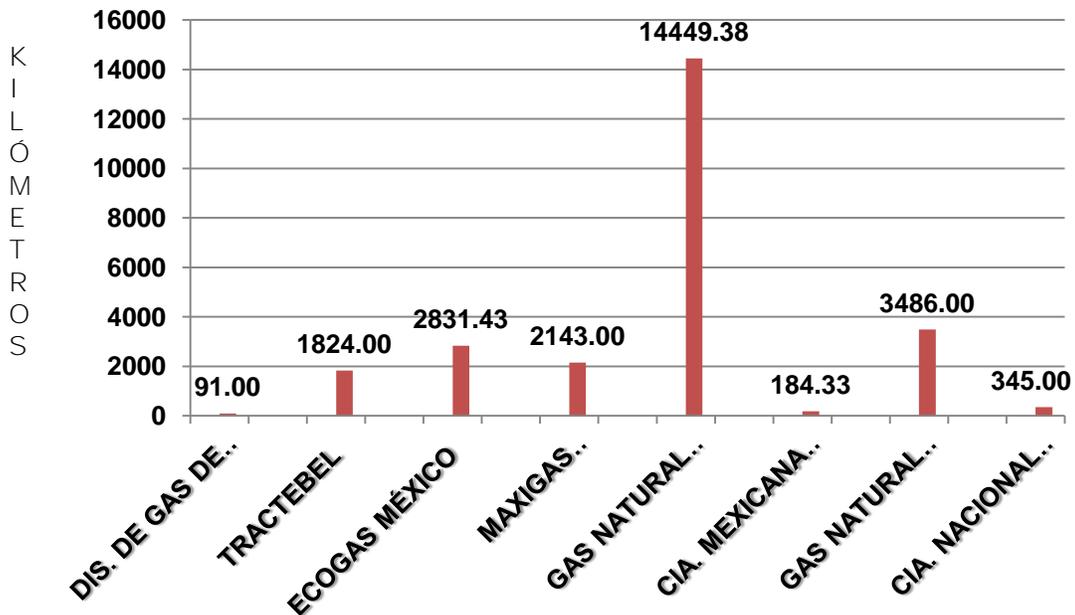
ZONA GEOGRÁFICA	FECHA DE TERMINACIÓN DEL PERIODO DE EXCLUSIVIDAD
VALLE CUAUTITLÁN-TEXCOCO-HIDALGO	3 DE SEPTIEMBRE DE 2003
NORTE DE TAMAULIPAS	27 DE MARZO DE 2010
PUEBLA – TLAXCALA	28 DE FEBRERO DE 2012
CIUDAD JUÁREZ	2 DE DICIEMBRE DE 2002
MONTERREY	24 DE SEPTIEMBRE DE 2002
RÍO PÁNUCO	19 DE DICIEMBRE DE 2009
QUERÉTARO	10 DE DICIEMBRE DE 2003
GUADALAJARA	21 DE JULIO DE 2012
CHIHUAHUA	20 DE MAYO DE 2009
LA LAGUNA-DURANGO	18 DE JUNIO DE 2011
MEXICALI	27 DE SEPTIEMBRE DE 2008
PIEDRAS NEGRAS	20 DE MARZO DE 2002
SALTILLO	20 DE JUNIO DE 2002
REGIÓN METROPOLITANA DE TOLUCA	3 DE SEPTIEMBRE DE 2009
NUEVO LAREDO	17 DE NOVIEMBRE DE 2002
BAJÍO	15 DE ENERO DE 2011
BAJÍO NORTE	2 DE FEBRERO DE 2012
DISTRITO FEDERAL	3 DE SEPTIEMBRE DE 2003
CANANEA	9 DE AGOSTO DE 2004
HERMOSILLO-GUAYMAS-EMPALME	9 DE JUNIO DE 2009

KMS DE TUBERÍA DE ACERO INSTALADA



Estas empresas han construido una amplia red para llevar el gas desde el punto de entrega hasta los usuarios. Han construido una red de tubería de acero de alrededor de 2,300 kms y aproximadamente 25,000 kms de polietileno, adicionales a las redes existentes que obtuvieron al ganar la licitación. La red de distribución está sujeta a la norma NOM 003 para fines de seguridad.

KMS DE TUBERÍA DE POLIETILENO INSTALADA



Las instalaciones de los usuarios, industriales, comerciales y residenciales se vigilan con la norma NOM 002 tanto preoperativa de construcción, como periódica de operación y mantenimiento. Las instalaciones de consumos industriales y comerciales deben verificarse anualmente si su consumo es mayor a 360 gigacalorías (gcal) y cada 2 años cuando su consumo es inferior. Las instalaciones residenciales deben de ser verificadas pre operativamente durante la construcción y cada 5 años por operación y mantenimiento.

Las instalaciones de gas natural están sometidas, reguladas y vigiladas por normas oficiales mexicanas de carácter obligatorio. Regulación que, por cierto, no ha llegado a completarse totalmente pues aún existen 400 ramales de usos propios que son tierra de nadie porque no se ha logrado un acuerdo entre la Comisión Reguladora de Energía y PEMEX Gas y Petroquímica Básica y por lo tanto no hay claridad en la operación y mantenimiento de dichos ramales.

Al respecto, cabe mencionar que han surgido muchas compañías medianas y pequeñas que prestan el servicio de operación y mantenimiento a los ramales que llevan gas a las industrias y que también deben cumplir con las normas oficiales.

También hay que decir que los usuarios no siempre cumplen con la obligación de verificar sus instalaciones periódicamente y la autoridad no tiene mecanismos para obligarlos. Aquí es donde es conveniente que las autoridades de protección civil participen para detectarlas y obligarlas a su verificación periódica como apoyo a la entidad reguladora y para seguridad de la población civil.

Las normas oficiales de gas natural se relacionan a continuación y norman desde la calidad y odorización del gas hasta la seguridad de las instalaciones.

NORMAS OFICIALES MEXICANAS DE GAS NATURAL

NOM-001-SECRE-2003, Calidad del Gas Natural, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 29 de marzo de 2004.

NOM-002-SECRE-2003 Instalaciones de Aprovechamiento de Gas Natural (Variable) Publicada en el Diario Oficial de la Federación 8 de Diciembre del 2003.

NOM-003-SECRE-2002, Distribución de Gas Natural, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 12 de marzo de 2003.

NOM-004-SECRE-1997 Gas Natural Licuado – Instalaciones Vehiculares

NOM-005-SECRE-1997, Gas Natural Licuado- Estaciones de servicio publicada en el Diario Oficial de la Federación el 16 de diciembre de 1997.

NOM-006-SECRE-1999, Odorización del gas natural, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 27 de enero de 2000.

NOM-007-SECRE-1999, Transporte de Gas Natural, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 4 de febrero de 2000.

NOM-008-SECRE-1999, Control de la corrosión externa en tuberías de acero enterradas y/o sumergidas, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 10 de enero del 2000.

NOM-009-SECRE-2002. Monitoreo, Detección y Clasificación de Fugas Natural y Gas LP en ductos. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 8 de febrero del 2002.

NOM-010-SECRE-2002 Gas Natural Comprimido para uso automotor. Requisitos mínimos de seguridad para estaciones de servicio. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 23 de octubre del 2002.

NOM-011-SECRE-2000 Gas Natural Comprimido para uso automotor. Requisitos mínimos de seguridad en instalaciones vehiculares. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 23 de octubre del 2002.

NOM-013-SECRE-2004 Requisitos de seguridad para el diseño, construcción, operación y mantenimiento de terminales de almacenamiento de gas natural licuado que incluyen sistemas, equipos e instalaciones de recepción, conducción, vaporización y entrega de gas natural . Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 8 de noviembre del 2004.

Junto con la norma 007 de transporte por ductos, se verifican como normas subsidiarias la 001, de calidad y 008 y la 009 (control de corrosión y detección de fugas), con la finalidad de recopilar y analizar sistemáticamente el cumplimiento de la norma y la verificación en campo del nivel satisfactorio de seguridad.

Se verifica que se disponga del programa de Operación y Mantenimiento (OM), que se usen los equipos adecuados y calibrados, que se dispone del personal calificado y que se identifique toda la información de tal manera que permita su rastreabilidad, que se disponga del manual de métodos y procedimientos, la actualización de los planos del sistema, la capacitación proporcionada a los operadores, el reporte de inspección a válvulas y reguladores, al sistema de protección catódica, de calibración de medidores, de realización de simulacros, de inspección de patrullaje del gasoducto, incluyendo los reportes semestrales entregados a la CRE y el plan integral de seguridad y de protección civil. La verificación de los certificados de calidad y calibración de los equipos, mantenimiento de registros y disponibilidad de los datos y magnitud de la incertidumbre.

Debe levantarse un acta circunstanciada de la revisión en campo y al final emitir un dictamen de la verificación y validación de los reportes, es decir se realiza la evaluación de la conformidad de la norma.

5.2 PEMEX REFINACIÓN.

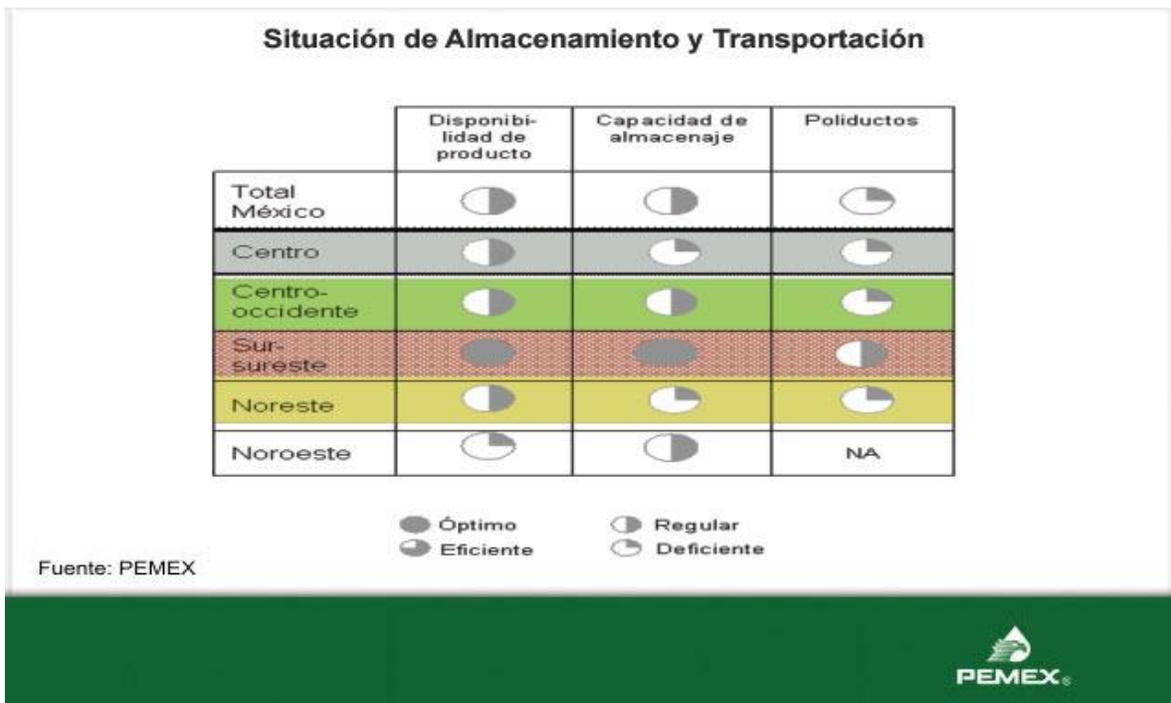
Observamos en el mapa la infraestructura correspondiente integrada por más de 5000 kms de oleoductos, cerca de 9000 kms de poliductos, 6 refinерías, 15 terminales marítimas, 77 terminales de almacenamiento y distribución. Con la refinерía de Minatitlán y una más que se construya en 6 años aumentará la longitud de ductos y poliductos en esta infraestructura (Tula).

PEMEX REFINACIÓN



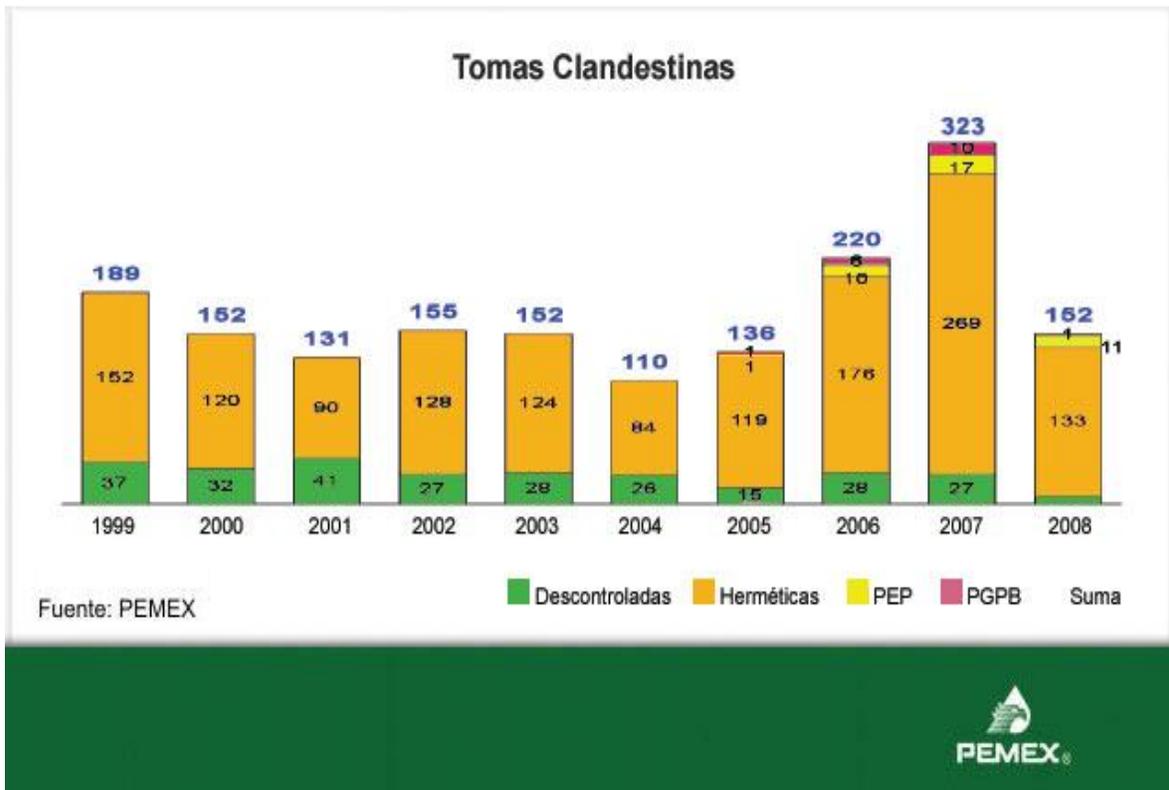
Los riesgos en estos ductos están estimados por PEMEX en el cuadro correspondiente, particularmente en la última columna observamos riesgo alto en la mayor parte del país. Los ductos tienen una antigüedad entre 20 y 30 años de construidos y cabe observar que fueron construidos con altas especificaciones, pero el mantenimiento ha sido en ocasiones deficiente y no están sujetas a normas obligatorias dado que este campo no está regulado. En las últimas reformas del Congreso a la Ley de Petróleos Mexicanos, se faculta a la Comisión Reguladora de Energía para regular la operación de los ductos que transportan derivados de petróleo, es decir principalmente los poliductos que llevan derivados de las refinerías a las terminales de almacenamiento. Sin embargo, aún no se pone en práctica esta reforma por falta de presupuesto en la CRE. Por lo tanto, PEMEX Refinación únicamente se encargará de operar los ductos que transportan crudo de PEP a las refinerías y podrán establecerse normas de seguridad obligatorias, sobre todo si se regulan a través de la Comisión de Hidrocarburos o la CRE.

RIESGOS



En relación a la seguridad de los ductos, además de los derrames por deficiencia en la instalación, muy contaminantes por cierto, está el problema de las tomas clandestinas,

que se muestran en la gráfica, y que aumentaron notablemente en 2006 y 2007 que curiosamente coinciden con los años políticos más difíciles de la última década.



Los derrames y fugas, tendrán que ir disminuyendo con la aplicación de normas oficiales, pero además debe buscarse una solución de fondo para atacar el problema de las tomas clandestinas. Por ejemplo darle tratamiento de crimen organizado lo que de hecho es, y combatirlo con medios y penas correspondientes a la gravedad de los actos que ponen en riesgo la seguridad de la población civil.

5.3 PEMEX EXPLORACIÓN Y PRODUCCIÓN.

Para estas actividades PEP ha dividido el país en tres regiones: norte, sur y marina. Recientemente consolidó dos regiones marinas en una sola dada la declinación de la producción en el yacimiento de Cantarel. Los campos de

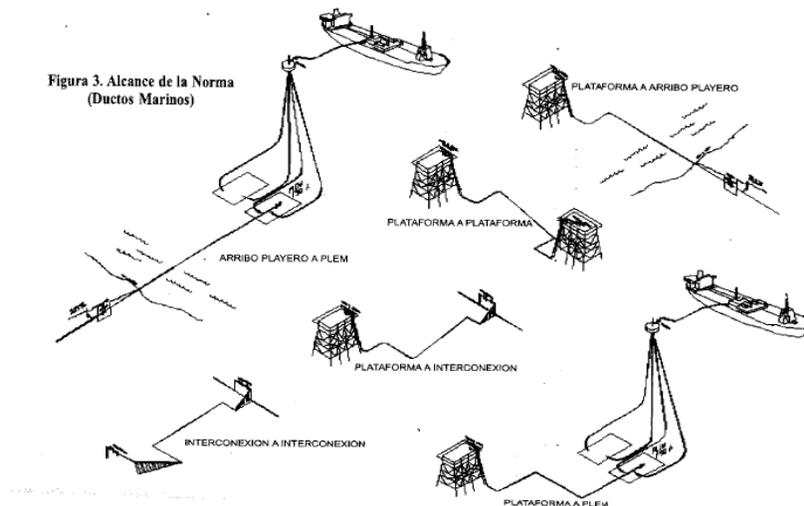
producción se encuentran a lo largo de la fachada del Golfo desde el Golfo de Campeche, Chiapas, Tabasco, Veracruz, Tamaulipas hasta Burgos.

PEP – ZONIFICACIÓN



Los ductos no es posible representarlos en un mapa de este tamaño pero les presento aquí un esquema tipo de ductos marinos recordando que junto con los terrestres suman 28,775 kms en PEP.

DUCTOS MARINOS



PEP tampoco está sujeto a regulación normativa y aunque se rige con altas normas internacionales de construcción tiene el mantenimiento más deficiente de todas las subsidiarias.

En los últimos 7 años PEP ha hecho grandes esfuerzos para resolver y disminuir los riesgos en los ductos aplicando un sistema de integridad y transfiriendo la responsabilidad del mantenimiento a empresas privadas. Hace 4 años se lanzó una iniciativa invitando a empresas internacionales para participar en licitaciones por zonas con promociones en HOUSTON y ALBERTA. Ésta promoción estaba dirigida a empresas con experiencia de operación en sistemas de ductos con más de 30,000 kms pero no hubo interés de las empresas en asumir los riesgos de ductos ya construidos, que era el propósito de PEMEX.

Finalmente PEP modificó su requerimiento y sacó un concurso para 1,775 kms de **ductos en la zona sur con el objetivo de "asegurar la integridad y confiabilidad del sistema de transporte de hidrocarburos por ducto"** para ir cubriendo después el resto de los sistemas con el mismo procedimiento.

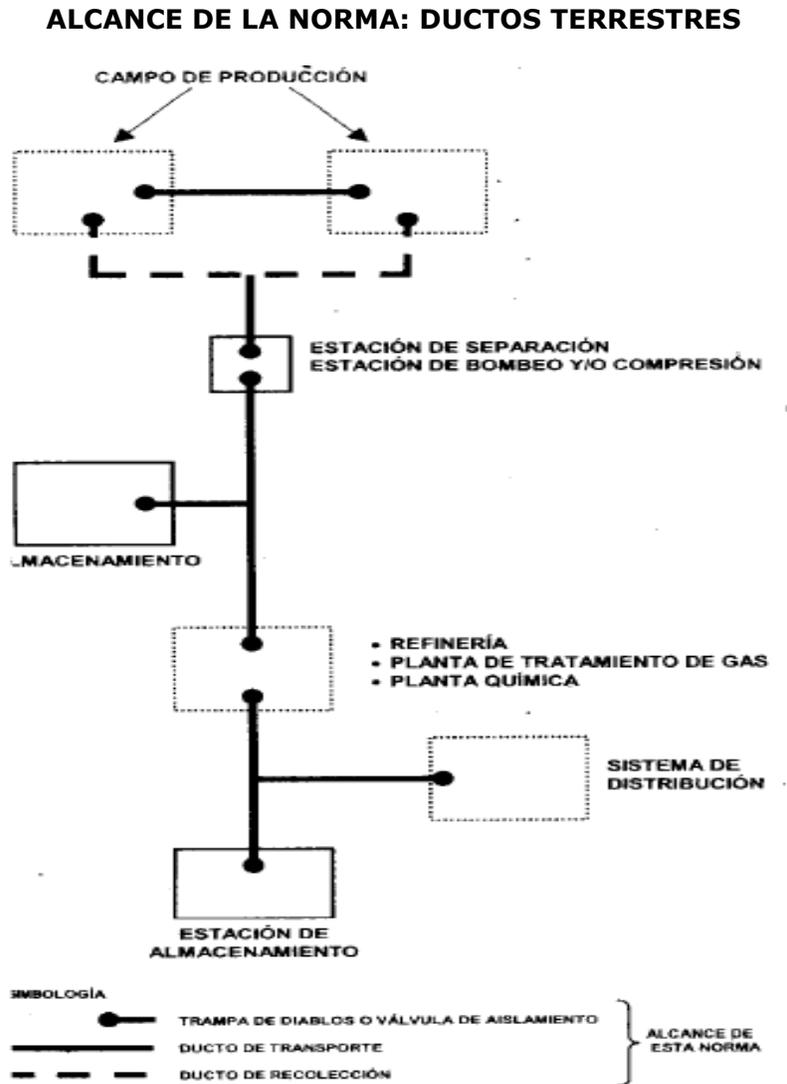
El licitante ganador ha demostrado haber operado y administrado en forma ininterrumpida durante cinco años sistemas de transporte de hidrocarburos que cuenten con las siguientes características:

1. Una longitud no menor a 1,700 kms.
2. Volumen transportado no menor a 350 Mbd de hidrocarburos líquidos.
3. Haber implantado y aplicado sistemas de administración de la integridad similar al plan de la administración de integridad de ductos, y sistemas de calidad, seguridad, salud y protección ambiental.
4. Haber implantado en los sistemas de transporte operados algún sistema de automatización.

Recientemente PEP ha licitado y adjudicado una segunda región similar a la primera con lo que está avanzando en el mejoramiento de la integridad de los ductos de transporte de crudo y gas amargo, pero debe tomarse en consideración que las instalaciones de PEMEX Exploración y Producción se encuentran cerca de comunidades que al irse desarrollando desordenadamente quedan en zona de riesgo.

6. PROPUESTA DE NORMA OFICIAL: "ADMINISTRACIÓN DE LA INTEGRIDAD DE DUCTOS DE RECOLECCIÓN Y TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS".

Existe una propuesta de norma oficial mexicana aplicable a todo tipo de ductos que transportan hidrocarburos terrestres y marinos, con alcance desde los campos de producción hasta el almacenamiento y distribución, pasando por las estaciones de separación, bombeo y compresión y las refinerías y plantas químicas y de tratamiento de gas.



Esta norma cubre todos los factores para verificar el estado de los ductos como son:

- Identificación de peligros potenciales.
- Recopilación, revisión e integración de datos.
- Evaluación del riesgo.

- d) Evaluación de la integridad.
- e) Respuesta a la evaluación de la integridad.

MÉTODOS DE EVALUACIÓN DEL RIESGO.

Los métodos de evaluación el riesgo aceptables por esta norma se describen a continuación:

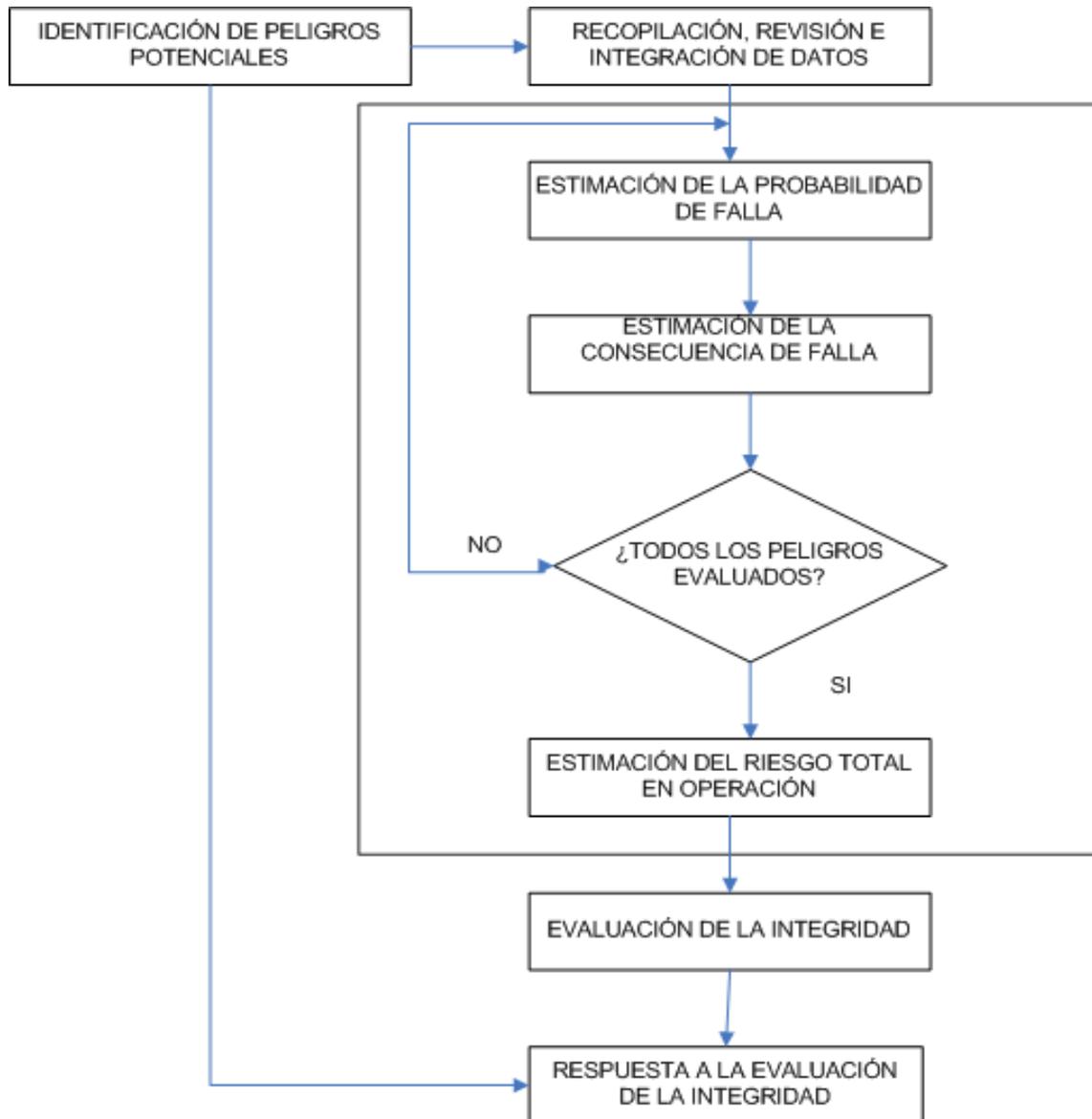
- 1) **EXPERTOS EN LA MATERIA.** - Consiste en realizar reuniones de expertos los cuales, tomando en cuenta información disponible en la literatura técnica, asignan un valor numérico relativo tanto por la probabilidad de falla de cada peligro potencial como para sus consecuencias. Los expertos deben analizar cada segmento del ducto.
- 2) **EVALUACIÓN RELATIVA.** - Basado en el conocimiento detallado de un ducto específico y en una mayor cantidad de datos, este método desarrolla modelos del riesgo dirigidos a conocer los peligros que han impactado históricamente la operación del ducto. Identifican y evalúan los mayores peligros y consecuencias relevantes que el ducto ha tenido en el pasado. Se considera un modelo del riesgo relativo porque los resultados se comparan con valores obtenidos del mismo modelo. Este método es más complejo y requiere datos más específico que el método de evaluación de expertos.
- 3) **MODELOS BASADOS EN ESCENARIOS.** - Este método genera la descripción de un evento, o series de eventos, que conduce a la falla y evalúa tanto la probabilidad de falla como sus consecuencias. Incluye la construcción de árboles de eventos, árboles de decisión y/o árboles de falla.
- 4) **MODELOS PROBABILÍSTICOS.** - Este método es el más complejo y el que requiere de mayor cantidad de datos. Combina matemáticamente las frecuencias de eventos o series de eventos para determinar la frecuencia de un incidente. Los resultados que se obtienen se comparan con las probabilidades del riesgo aceptables establecidas por el operador.

Los principales peligros potenciales, son corrosión externa, corrosión interna, agrietamiento por corrosión bajo esfuerzos, defectos de fabricación, fallas en la construcción, fallas en el equipo, daños por terceros, operaciones incorrectas y clima y fuerzas externas.

El método de evaluación del riesgo consiste, partiendo de la identificación de los peligros potenciales, en disponer de datos fidedignos, estimar la probabilidad de falla, estimar la consecuencia de falla y si están todos los peligros evaluados, estimar el

riesgo total en operación, evaluar la integridad y proponer la respuesta a la evaluación de la integridad.

MÉTODOS DE EVALUACIÓN DE RIESGO



Los métodos de evaluación del riesgo aceptables por esta norma son:

- a) Expertos en la materia.
- b) Evaluación relativa.
- c) Modelos basados en escenarios.
- d) Modelos probabilísticos.

La evaluación de la integridad se realiza con los siguientes procedimientos:

- a) Metodologías específicas.
- b) Inspección interna.
- c) Prueba Hidrostática.
- d) Evaluación directa.
- e) Caracterización.

y la respuesta a la evaluación de la integridad, con las estrategias primarias de reparación, se basan en las siguientes anomalías:

- a) Pérdida de metal externa.
- b) Pérdida de metal interna.
- c) Fugas, fisuras, quemaduras y defectos en soldaduras.
- d) Abolladuras, plana o con concentración de esfuerzos.

OBSERVANCIA Y PLAZOS PARA EL CUMPLIMIENTO DE ESTA NORMA.

Las empresas públicas y privadas deben elaborar su plan de administración de integridad de ductos considerando lo siguiente:

- a) Las actividades referentes a identificación de peligros potenciales, recopilación, revisión e integración de datos y evaluación de riesgo, deben realizarse dentro de un período de veinticuatro meses, de acuerdo al siguiente programa:
 - 1. 20% del total de la longitud de sus ductos en seis meses después de la entrada en vigencia de la presente norma.
 - 2. 60% del total de la longitud de sus ductos en quince meses después de la entrada en vigencia de la presente norma.
 - 3. 100% del total de la longitud de sus ductos en veinticuatro meses después de la entrada en vigencia de la presente norma.

- b) Las actividades referentes a la evaluación de integridad y a la respuesta a la evaluación de integridad deben realizarse de acuerdo al siguiente programa:
 - 1. 20% del total de la longitud de sus ductos en cuatro años.
 - 2. 60% del total de la longitud de sus ductos en ocho años.
 - 3. 100% del total de la longitud de sus ductos en doce años.

OBSERVANCIA DE ESTA NORMA.

La vigilancia del cumplimiento de la presente norma corresponde a la Secretaría de Energía.

Las violaciones a la misma se sancionarán en los términos de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, su Reglamento y demás ordenamiento jurídicos aplicables.

INFRAESTRUCTURA DE DUCTOS REQUERIDA

PRODUCTO / DUCTO	LONGITUD REQUERIDA KMS
GASODUCTOS	3,123
LPG DUCTOS	1,176
POLIDUCTOS	2,885
OLEODUCTOS	1,327
OTROS DUCTOS	230 (ISOBUTANO)
T O T A L	8,741

7. CONCLUSIONES.

- 1) Los ductos de transporte de hidrocarburos son uno de los principales factores de desarrollo económico, pero también una fuente de riesgo para la población, el ambiente y la economía.
- 2) La Ley de Protección Civil y la Ley de Protección Ambiental, marcan los lineamientos y normas a seguir por los propietarios de los ductos para seguridad de la población y de las propias instalaciones.
- 3) Las autoridades de protección civil deben coordinarse con las autoridades de Energía para vigilar el cumplimiento de las normas de seguridad por los propietarios de los ductos e instalaciones.
- 4) Las autoridades locales (municipales) deben establecer restricciones para que el desarrollo urbano y las obras que realizan no interfieran con los ductos e instalaciones provocando riesgos innecesarios.
- 5) Los propietarios de los ductos e instalaciones deben cumplir estrictamente la normatividad oficial y en caso contrario deberán ser sancionados.
- 6) Es necesario emitir una norma oficial para todo tipo de ductos de transporte de hidrocarburos como la propuesta, o bien normas oficiales para cada uno de ellos.
- 7) Dar tratamiento de crimen organizado a las tomas clandestinas de hidrocarburos por el alto riesgo que estos actos representan para la seguridad nacional.

8. REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA.

- A. Ley de Protección Civil.
- B. Manual de Supervisión de ductos. DTP Consultores, México.
- C. Informe de inspección. Ing. Gustavo Montoya D., Inspection Technologies Rosen, Mex., marzo 2008,
- D. Pipelines Rules of Thumb Handbook. EW Mc Allister Editors, Canada
- E. Normas de Gas Natural. CRE Secretaría de Energía. Diario Oficial, México, febrero 04 de 2000, abril 11 de 2001,
- F. Informe de PEMEX al Congreso de la Unión. 2009, México.
- G. **Propuesta de Norma Oficial "Administración de la Integridad de ductos de recolección y transporte de hidrocarburos"**. Secretaría de Energía. Diario Oficial. 2009.