



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO**

***“LOS FACTORES DE RIESGO Y LA VULNERABILIDAD FÍSICA
EN LOS DERECHOS DE VÍA DEL SISTEMA DE POLIDUCTOS;
ESTADO DE TABASCO”.***

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTOR EN GEOGRAFÍA**

P R E S E N T A

RUPERTO ENRIQUE OLIVERA VILLASEÑOR

ASESOR: DR. ARTURO MEJÍA RAMÍREZ

MÉXICO, D.F.

2006



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.

A mis padres y hermanos
Con amor y agradecimiento

A mis amigos entrañables
por su aliento y dedicación

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación no hubiera sido posible sin el apoyo de las autoridades del Instituto Mexicano del Petróleo al otorgarme una beca para la realización de los estudios de posgrado.

El trabajo es el producto de un gran esfuerzo y dedicación de muchos actores que participaron con su experiencia y entusiasmo en diversos ámbitos. A la Universidad Nacional Autónoma de México, a través del Instituto de Geografía y la División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Filosofía y Letras, a los académicos que me brindaron la gran oportunidad de aprender de sus experiencias y así poder desarrollar este proyecto de investigación y a los administrativos por su ayuda y orientación.

Debo destacar y agradecer infinitamente la labor del Comité Tutoral, encabezado por el Dr. Arturo Mejía Ramírez, la Dra. Marta Cervantes Ramírez y la Dra. Georgina Calderón Aragón, en mi formación académica y en la ejecución del trabajo hasta su conclusión.

También quiero hacer patente mi agradecimiento a los académicos por aceptar formar parte de mis sínodos y que, con sus oportunos comentarios, enriquecieron el contenido de este trabajo: Dra. Laura Elena Maderey Rascón, Mtra. Oralia Oropeza Orozco, Dr. Alejandro Rodríguez Castellanos y Dr. Jaime Núñez Farfán.

Al Dr. Mario Alberto Rodríguez Casas por su contribución invaluable para la terminación del proyecto, además de estar siempre dispuesto, orientandome con sus atinados comentarios.

A un gran número de amigos que estuvieron constantemente ofreciendome su apoyo e entusiasmo: Mtro. José Luis Rodríguez Ramírez, Ing. Marcos Joel Quiroz Hernández, Ing. José González Olmos e Ing. Ernesto Nolasco García.

Í N D I C E

Resumen (pag. 5)

Objetivos (pag. 10)

Metodología Aplicada (pag.10)

Estructura Capitular (pag. 11)

Introducción (pag. 13)

Planteamiento del Problema (pag. 16)

Capítulo 1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA DEL POLIDUCTO DE 12” DE DIÁMETRO DE LA REFINERÍA MINATITLÁN (VER.) A AGENCIA DE VENTAS VILLAHERMOSA, TAB. (pag. 29)

Capítulo 2. LOS FACTORES DE RIESGO Y LA VULNERABILIDAD FÍSICA EN LOS DERECHOS DE VÍA DEL SISTEMA DE POLIDUCTOS; ESTADO DE TABASCO. (pag. 67)

Capítulo 3. DETERMINACIÓN DE LA PROBABILIDAD DE FALLA A PARTIR DE DATOS HISTÓRICOS DE ACCIDENTES OCURRIDOS EN DUCTOS. (pag. 107)

Capítulo 4. DETERMINACIÓN DE LA MAGNITUD Y SEVERIDAD DE EVENTOS Y SU IMPACTO AL MEDIO AMBIENTE. (pag. 142)

Capítulo 5. LEYES Y REGLAMENTOS EN MATERIA DE PROTECCIÓN AMBIENTAL, RELACIONADAS CON LOS ESTUDIOS DE ANÁLISIS DE RIESGOS E IMPACTO AMBIENTAL EN LOS DERECHOS DE VÍA (DDV's) DEL DUCTO. (pag. 207)

Capítulo 6. RECOMENDACIONES: “ESTRATEGIAS PARA IMPLEMENTAR UN SISTEMA DE ADMINISTRACIÓN DE RIESGO, SEGURIDAD Y PROTECCIÓN AMBIENTAL EN INSTALACIONES PETROLERAS”. (pag. 223)

Conclusiones (pag. 233)

Glosario (pag. 239)

Bibliografía (pag. 242)

ANEXO A: Corrida de Resultado con el programa PHAST, para el Caso de Estudio. (pag. 249)

RESUMEN

En años recientes algunas causas fundamentales del incremento de accidentes en los poliductos de Pemex, han sido: la inadecuada evaluación de los mismos y la falta de gestión para erradicar esta problemática; adicionalmente no hay una base de datos histórica de accidentes en ductos de transporte de hidrocarburos disponible de manera oficial en nuestro país, estas circunstancias repercuten negativamente en la funcionalidad de ductos en México.

Los estados con mayor número de accidentes registrados en ese periodo 1997-2001, de acuerdo a las estadísticas de la PROFEPA son: Veracruz con 502 casos, Campeche y Tabasco con 419 y 391 casos respectivamente. Entre estos tres estados se presenta casi el 80% del total nacional.

Una de las demandas del desarrollo económico de toda nación es la prestación de servicios en el transporte de hidrocarburos y sus destilados, y que esta se realice de manera oportuna, confiable, con un riesgo controlado, sin afectación a terceros y al medio ambiente entre otros aspectos (NFR-030-PEMEX-2003).

Esta investigación facilitará el desarrollo de estudios de riesgos operativos, con una propuesta metodológica basada en árboles de falla y datos de accidentes ocurridos en ductos de transporte de destilados y dentro de los planteamientos teóricos de la Geografía Física para su análisis. En estos términos, son identificados los factores de riesgos, como lo establece Kent Muhlbauer 1996, y la probabilidad de ocurrencia en el sistema de poliductos de Pemex-Refinación.

Proponemos una metodología de análisis de riesgo operativo, y vulnerabilidad física en los derechos de vía de poliductos, debido a daños por terceras partes, originados principalmente, por el hurto de gasolinas (tomas clandestinas) en los ductos de Petróleos Mexicanos "Pemex", que de acuerdo a las estadísticas

disponibles en los boletines de prensa de la paraestatal, ésta es la causante principal de accidentes en los sistemas de poliductos en nuestro país.

Cabe destacar que abordamos la problemática desde una perspectiva global de accidentes en ductos ocurridos en: El Mundo, en Estados Unidos de América, y en México, para después tratar específicamente el entorno que vive actualmente la industria de poliductos de Pemex-Refinación.

Para abordar esta problemática que vive hoy día la industria de ductos en nuestro país, es necesario contextualizarla a través del proceso histórico de la propia paraestatal, que ha derivado en una estructura administrativa con grandes nichos de oportunidad para mejorar y construir una verdadera empresa de clase mundial. Sin embargo, el alcance del estudio se centra particularmente en los hechos y procesos registrados en nuestro país durante los últimos 25 años y en particular, el sistema de poliductos del estado de Tabasco.

Es interesante destacar, que el desarrollo de la industria petrolera en nuestro país está marcado desde su génesis por las coyunturas históricas, y se ha caracterizado por una total y plena dependencia tecnológica y económica de los capitales e intereses extranjeros. El carácter estratégico de sus procesos en el ámbito internacional ha llevado a estas compañías a su crecimiento y acumulación de riqueza a costa de la explotación desmedida de los recursos petroleros del subsuelo de nuestro país en condiciones de dependencia económica y política. Más recientemente, la participación de estas compañías extranjeras en el sector petrolero es abrumador, como lo demuestran las fusiones y alianzas globales realizadas, en congruencia con sus propios planes de expansión; a su vez esta industria, fue pieza clave en las políticas industriales y estratégicas de desarrollo regional que el Estado impulsó particularmente entre los años setenta y ochenta, con el propósito de fortalecer la planta productiva del país y reorientar su localización hacia zonas de mayor potencial. Los espacios, cuyas ventajas

competitivas permitieron su incorporación al proceso de refinación y distribución de destilados, establecieron una vinculación económica en virtud de su espacialización productiva. Martínez. N., (2000).

Consecuentemente, una región estratégica para el desarrollo de toda esta infraestructura fue localizada en el sureste mexicano, comprendiendo los estados de Veracruz, Tabasco, Campeche y Chiapas. En estas circunstancias, nuestra investigación está dirigida a una fracción de la compleja infraestructura instalada en el sureste del país, es decir al sistema de transporte por ductos y nos referimos al poliducto de 12" de D.N. Minatitlán-Villahermosa que une a los estados de Veracruz y Tabasco en la distribución y transporte de destilados de petróleo a una gran porción de dicha región.

Cabe resaltar, que el alcance del trabajo está dirigido a las condiciones de transformación histórica reciente y de operación en el transporte de destilados de petróleo por ducto imperantes en el estado de Tabasco.

Como bien sabemos a través del los medios masivos de comunicación (prensa, radio y televisión), en Petróleos Mexicanos prevalece una compleja situación que tiene que ver con los accidentes en su sistema de ductos, las causas son diversas, pero una constante sin duda alguna es la falta de un mantenimiento adecuado y el abandono en que se encuentran los poliductos en términos generales.

Reiterando, el deterioro (paulatino y las recurrentes emergencias desde los años setenta hasta nuestros días), de las instalaciones de los ductos de transporte de destilados de petróleo (poliductos), y su escaso mantenimiento en la mayoría de sus instalaciones a provocado la generación de accidentes. Estas circunstancias y otros argumentos que se listan más adelante en este apartado, han despertado nuestro interés para estudiar el fenómeno desde la posición de la Geografía Física

y abordar el riesgo-desastre para el sistema de poliductos de Pemex y particularmente en el estado de Tabasco.

Varios son los argumentos que adicionalmente, llamaron nuestra atención para estudiar los accidentes de poliductos en el estado de Tabasco y entre los más importantes podemos enunciar los siguientes:

- a) La sociedad y la actividad económica ha sufrido una transformación radical en el estado de Tabasco, durante los siglos XIX y XX, la historia resguarda impactantes narrativas de la devastadora explotación de los recursos madereros en sus selvas tropicales, Tudela (1992).
- b) La ganadería extensiva marca otrora era de explotación de los suelos y las inmensas áreas dedicadas a plantaciones de pastizales para el ganado. El cambio del uso del suelo para esta nueva actividad alcanzó su auge en los años 60 y 70, así como la pérdida de especies de flora y fauna autóctonas.
- c) Evidentemente, la falta de una política de desarrollo sustentable en la región, repercutió y sigue cobrando grandes costos a la población, deteriorando las fuentes de trabajo e ingresos de manera alarmante, lo cual ha provocado problemas sociales, la migración y pobreza en la sociedad tabasqueña.

El descubrimiento y explotación de yacimientos de crudo y gas, modificó nuevamente el escenario socioeconómico del Sureste. Pemex atrajo a un gran número de trabajadores eventuales para transformar el espacio e imponer un renovado mercado en los servicios y aumento de la inflación. Las repercusiones no tardaron en manifestarse: el abandono de las tierras dedicadas a la agricultura, el incremento de precios de los terrenos, casas y rentas, canasta básica y servicios en general se desbordaron golpeando cada vez más a la población, en este sentido cabe recordar a Milton Santos (1986: 10), que dice “el espacio, por tanto, se volvió la mercancía universal por excelencia”. Mercancía de vital importancia en la conformación de la

- a) vulnerabilidad de las sociedades, toda vez que el espacio es manipulado y con ello se profundizan las diferencias de clases, vulnerabilidad que refleja la práctica acumulada de la sociedad capitalista.
- b) El estado de Tabasco, es el mayor receptor de agua dulce de país. Estratégicamente, cumple un nicho de oportunidades por sus grandes riquezas naturales. Pero también, es importante desde el punto de vista de los accidentes que se han registrado en sus corredores o derechos de vía donde se alojan los ductos de las subsidiarias de Pemex.
- c) Todos estos elementos integran razones importantes de estudio en la región y por ello fue seleccionada para desarrollar un caso de estudio, en una de las regiones más frágiles del país.

En suma, del análisis y resultados obtenidos en esta investigación, concluimos que el factor de riesgo con mayor probabilidad de ocurrencia en pipelines, es debido a daños por terceras partes, en primer término, seguido de los daños originados por corrosión en segundo término. Asimismo, se hace un diagnóstico del grado de vulnerabilidad física en los derechos de vía de pipelines por: tallas de destino e invasiones a los mismos por asentamientos humanos irregulares.

OBJETIVOS

- Identificar los factores de riesgo asociados a la operación de poliductos de transporte de destilados, con fundamento en el historial de accidentes registrados en las instalaciones de PEMEX.
- Determinación de las probabilidades de falla, magnitud y severidad del daño de los factores de riesgos, así como sus efectos al medio ambiente con base en los incidentes registrados.
- Disponer de información cualitativa y cuantitativa para su utilización en la modelación de escenarios hipotéticos de falla con el empleo del software PHAST.
- Proveer elementos de juicio que faciliten la toma de decisiones pertinentes en la administración del riesgo en el sistema de poliductos del estado de Tabasco.

METODOLOGÍA APLICADA

A partir del conocimiento de las características de los factores de riesgo y de como se manifiestan estos en los sistemas de poliductos de Pemex-Refinación, se definió una clasificación de los mismos que los agrupa en cuatro: daños por terceras partes, corrosión, operaciones incorrectas y diseño, Muhlbauer (1996), en el contexto de accidentes. Esto debe resaltarse, en virtud de que en el país no existe disponible oficialmente una base de datos que clasifique los factores de riesgo asociados a la operación de los poliductos en el país.

Posteriormente, con el empleo de técnicas cualitativas (empleamos el árbol de fallas, en este caso particular), fueron obtenidas las probabilidades de falla de los factores de riesgo y de los elementos o eventos que los generan, de tal suerte que con esta información se tienen resultados concretos de las tendencias y la probabilidad de ocurrencia de los mismos.

Entonces, el siguiente paso en el proceso metodológico propuesto, fue generar hipótesis de accidentes en todo el sistema del poliducto de 12" D.N., para ello fue necesario consultar a especialistas en la técnica de Hazop, y con su colaboración elegimos los escenarios hipotéticos de falla más recurrentes y en zonas sensibles como las ciudades de Cárdenas y Villahermosa.

Con los datos y resultados obtenidos de las etapas ejecutadas anteriormente, nos auxiliamos nuevamente de otra herramienta técnica y esta consistió en el desarrollo de un análisis de consecuencias (cuantitativo), es decir empleamos un software denominado PHAST (Program hazard analysis system tools) para la estimación de la magnitud de efectos-escenarios de accidentes, en los derechos de vías del referido poliducto.

Evidentemente, que fue necesario realizar una investigación minuciosa para obtener los datos e información fundamental en diversos ámbitos de Pemex, INEGI, PROFEPA, Hemeroteca, Cartografía, Cámaras de Comercio, Universidades y otras. Adicionalmente, un enriquecedor trabajo de campo para identificar y conocer la problemática imperante en los derechos de vía del poliducto de 12" D.N., con origen en la Refinería de Minatitlán Ver. y destino final en la Agencia de Ventas de la ciudad de Villahermosa, Tab.

En el desarrollo de los trabajos de campo el empleo de la entrevista fue de vital importancia y colaboró para cubrir los requisitos básicos de la investigación. Las entrevistas fueron aplicadas a diversos agentes tanto públicos como privados, cabe destacar que la discrecionalidad y anonimato en cierta información e informantes fue respetada y no fueron citados en este trabajo.

ESTRUCTURA CAPITULAR

En el capítulo 1, se hace una descripción general que le da una estructura de sistema al poliducto de 12" D.N., se identifica cual es el objetivo del poliducto, las zonas pobladas que atravieza en toda su longitud. Varios son los temas que son

descritos para este sistema: infraestructura, uso del suelo, climatología, fisiografía y geomorfología, sismicidad, actividad volcánica, cuerpos de agua, etc.

En el capítulo 2, son identificados y definidos cada uno de los factores de riesgo con base en la clasificación propuesta por Kent Muhlbauer (1996), asimismo, se introduce el concepto de vulnerabilidad física en los derechos de vía del poliducto de 12" D.N.

La determinación de la probabilidad de falla a partir de los datos históricos de accidentes en poliductos de Pemex-Refinación, es tratada en el capítulo 3. Aquí partimos, desde una perspectiva global de accidentes en ductos de transporte de hidrocarburos en el mundo, los Estados Unidos de América, para luego analizar los de nuestro país y mediante técnicas cualitativas como por ejemplo el árbol de fallas, hasta llegar a tales determinaciones en el contexto nacional.

Después, en el capítulo 4 se describen las técnicas cualitativas y cuantitativas, mismas que arrojan resultados fundamentales para estimar la magnitud de los efectos-escenarios de los accidentes hipotéticos preestablecidos como los más impactantes a la población, el medio natural y las propias instalaciones.

Los capítulos 5 y 6, se refieren a las leyes y reglamentos en materia de protección ambiental y recomendaciones estratégicas respectivamente.

Finalmente, las conclusiones, glosario, bibliografía y anexos.

INTRODUCCIÓN

Como actividad productiva, la industria petrolera impulsó en nuestro país un proceso de concentración espacial de empleo y riqueza en ciertas regiones atractivas para las inversiones empresariales, frente al abandono y descapitalización de otras, lo que conllevó el reforzamiento de los desequilibrios territoriales, Hernández, H. (1983).

El histórico y complejo mundo de la industria petrolera mexicana incorporó, a lo largo de varias décadas, territorios estratégicos que contaban con materias primas (petróleo y gas natural) y las vinculó con las unidades y complejos de producción, con las zonas de consumo nacionales y con los centros de exportación a través de un sistema de líneas de distribución y transporte de ductos (de varios diámetros). Las ventajas competitivas que presentaron estos espacios estimularon el interés de los círculos oficiales, sobre todo a partir de los años setenta en que surge la necesidad de organizar el sistema económico y social de México, que ante la crisis incipiente demandó una mayor participación pública. Con este fin se gestionaron diversas acciones políticas destinadas a relocalizar actividades productivas mediante una estrategia que contempló el desarrollo regional sustentado en la combinación de sus recursos energéticos, y grandes inversiones en obras de infraestructura y programas urbano-industriales.

Durante las diferentes etapas del desarrollo petrolero pero sobre todo entre 1972 y 1982, el medio natural experimentó una nueva fase de deterioro, debido a que el crecimiento tan acelerado dejó en segundo término la protección ambiental. La apertura con que se llevaron a cabo estas actividades en la época del auge, y la absoluta prioridad otorgada a la producción, determinaron la despreocupación casi total de los aspectos físicos ambientales (CINVESTAV, 1985), de tal suerte que las tierras bajas e inundables se visualizaron solo como obstáculos y frenos al

desarrollo petrolero, generándose impactos que, en muchos casos, persisten hasta la actualidad.

Cabe señalar que las afectaciones no solo han ocasionado daños a los ecosistemas y a los recursos naturales, sino que, con frecuencia, han contribuido al deterioro de los medios de producción rurales, creando un malestar social creciente como se ha hecho evidente en los municipios de Paraíso, Cárdenas, Cunduacán y Centro, entre otros.

También debe señalarse, que las alteraciones ambientales no han sido de origen exclusivo de Pemex. Cuando éste irrumpe en el espacio de Tabasco, su geografía ya había experimentado cambios notables sobre todo debido a la construcción del ferrocarril y la carretera del Golfo, la ejecución de grandes obras hidráulicas y la deforestación de selvas para la ampliación de la frontera agrícola y pecuaria (CODEZPET, 1985). Por lo tanto el deterioro ambiental en la zona petrolera de Tabasco, incluyendo el distrito petrolero de Villahermosa, es consecuencia de la interacción de las intervenciones humanas y, en particular, de las actividades petroleras a nivel local y puntual, Zavala (1988).

El eslabonamiento de las actividades de exploración, explotación, refinación, petroquímica básica y secundaria, distribución, almacenamiento y comercialización de los hidrocarburos, integraron tecnológica y espacialmente al país y acentuaron, al mismo tiempo, los flujos de intercambio, tanto a nivel inter como intrarregional, con el fin de abastecer la demanda interna del sector industrial y comercial, y orientar los excedentes al exterior. Las particularidades tecnológicas de la industria petrolera y lo estratégico de su producción en el mundo, la han llevado a depender de las decisiones y políticas internacionales en relación con su situación (básicamente en el precio del recurso natural y/o materias primas) y su crecimiento (condicionado por la demanda), y por ende, la

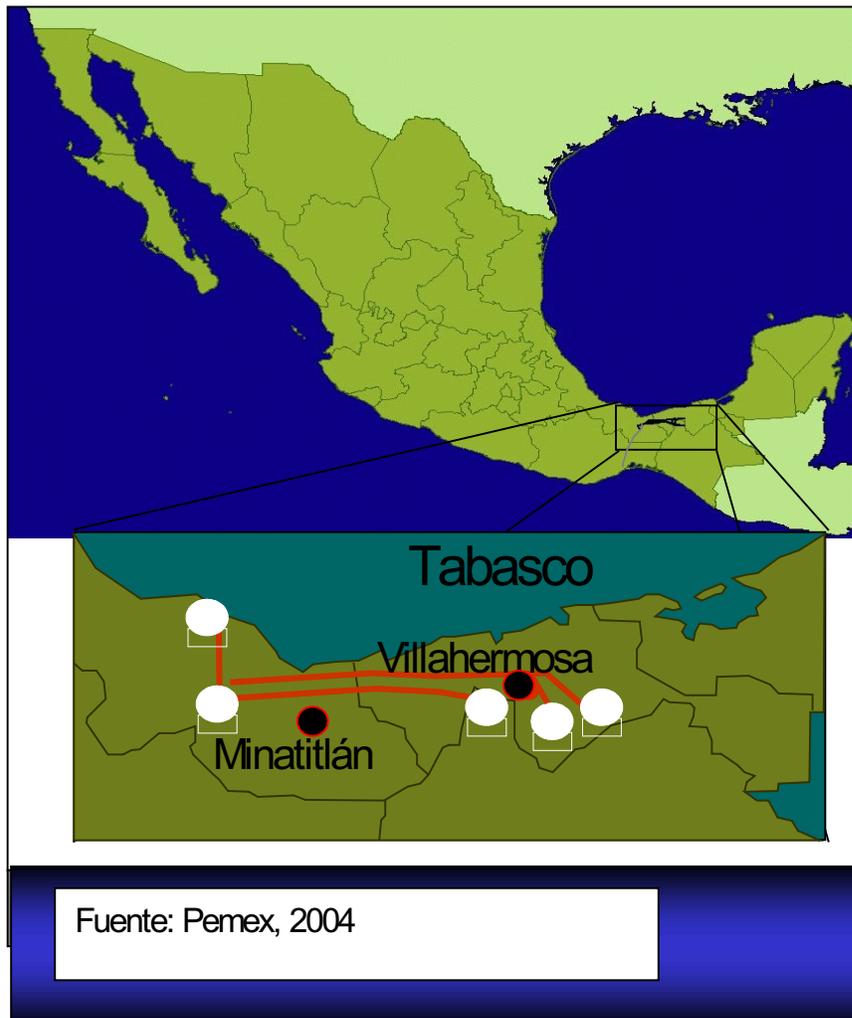
han constituido en un negocio rentable para la empresa transnacional, que hoy en día, controla el sector a nivel mundial.

En este marco el objetivo de este trabajo es analizar el desarrollo de la industria petrolera en lo que tiene que ver con los sistemas de líneas de distribución y transporte de destilados de petróleo *poliductos* en el tema de los riesgos operativos y la vulnerabilidad física en los derechos de vía de poliductos por tomas clandestinas e invasión de los mismos por asentamientos humanos irregulares, en el estado de Tabasco.

La administración de los sistemas de poliductos, ha ido respondiendo a esta creciente sensibilidad social realizando un esfuerzo importante para regular las actividades en aquellas industrias que pueden presentar un mayor riesgo y también en aquellos procesos con manejo de sustancias peligrosas (SIASPA-Pemex, 2003). Pero la realidad muestra que este control todavía está lejos de alcanzarse.

El enfoque de este trabajo está dirigido a la identificación de los factores de riesgo asociados a la operación de los sistemas de poliductos (gasolina y diesel) y la vulnerabilidad física, debido a daños por terceras partes, donde las tomas clandestinas son muy recurrentes en el entorno geográfico nacional, y particularmente trataremos la problemática del estado de Tabasco, que es el caso que nos ocupa, tal como se puede apreciar en la Figura 2.

Figura 2. Infraestructura petrolera en el estado de Tabasco (ductos).

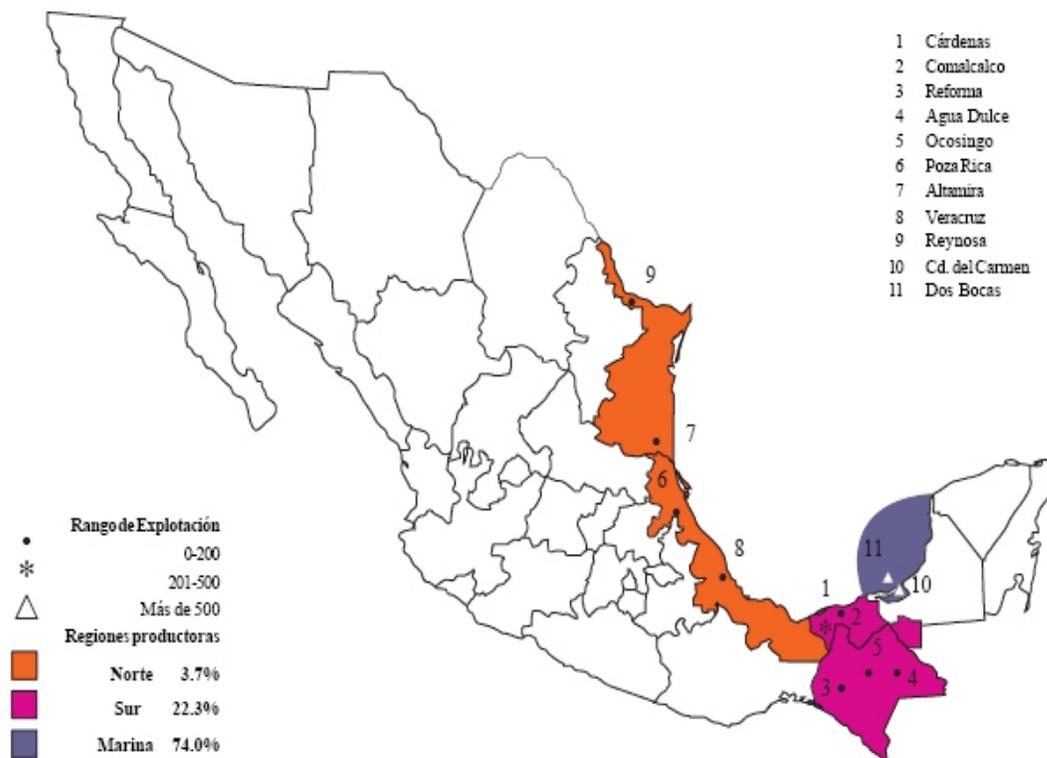


La historia de la industria del petróleo en México se ha caracterizado por la intervención de intereses extranjeros, que han marcado su desarrollo. Esta evolución a través de los años, a estado dirigida hacia un objetivo muy claro, es decir, a la explotación de los recursos del petróleo y gas del subsuelo de nuestro país. La riqueza generada de esta explotación y producción de hidrocarburos lamentablemente no se ha reflejado en beneficios concretos a la población que por el contrario ha sido impactada por la siguiente frase: “País petrolero y el pueblo sin dinero” fue una consigna muy en boga durante la década del *boom*. Este reclamo popular ilustra muy claramente cómo la estrategia económica del país basada en el frenético incremento de nuestras exportaciones petroleras no sólo estuvieron ligadas a programas de desarrollo regional de las principales zonas petroleras del país, sino que el resto de actividades productivas fueron subordinadas a la lógica de la extracción del oro negro, (Oil Watch México, 1999).

La presente investigación está dirigida a uno de los estados del sureste con una gran riqueza petrolera, Tabasco (ver Figura 3), que nuestra la producción regional de hidrocarburos). Así por ejemplo, la afectación de otras actividades productivas no sólo tiene que ver con los impactos ambientales derivados de la contaminación existente desde hace mucho tiempo, sino también con la “petrolización” de la economía del sureste del país, y nacional evidentemente, que trajo consigo fenómenos económicos, políticos y culturales que alteraron formas y culturas productivas. Para ilustrar lo anterior mencionaremos los procesos de urbanización acelerada que registraron ciudades como Coatzacoalcos, Minatitlán y Villahermosa, Toledo (1983) y todos los problemas de servicios que ello acarrea, los mayores índices inflacionarios registrados en zonas petroleras o la incorporación creciente de productores agrícolas como asalariados de PEMEX.

Las actividades mayormente afectadas –o por lo menos cuyos impactos han sido registrados- son la pesca, la agricultura y la ganadería.

Figura 3. Producción de petróleo crudo por región y distrito, 1995 (mbd*)



Fuente: Anuario Estadístico de Pemex, 1996. (*) miles de barriles diarios.

El auge petrolero, además de las alteraciones ecológicas que trajo consigo, incidió en el panorama agrícola al desplazar a un importante sector del campesinado hacia ocupaciones temporales y permanentes (en algunos casos) en la industria petrolera, generando procesos de migración y abandono de las parcelas. Tudela (1992), refiere un proceso de descampesinización del 25 a 30% durante el auge. De 1979 a 1980 la participación del sector primario en el PIB se redujo de un 19.6% a tan solo 3.8% a pesar de que el 35% de la población seguía viviendo del campo. La crisis del campo tabasqueño, sobre todo el campesinado tradicional se expresa como un proceso de descapitalización y escasa inversión de capital.

Sin embargo, la ocupación por rama de actividad es aún prioritariamente primaria: en 1990 la agricultura, ganadería y pesca representó el 35.6%, la extracción de petróleo y gas únicamente el 5% y el comercio y los servicios el 39.5%. La población rural sigue siendo un sector social clave en el Estado (INEGI, 2000).

Datos más recientes (del Sistema Nacional de Información Municipal, 10 sept. 2002), muestran para la agricultura, ganadería y pesca el 34.31%, la extracción de petróleo y gas únicamente el 2.16% y el comercio y los servicios el 63.53% restante.

La crisis del campo tabasqueño, sobre todo del campesinado tradicional se expresa como un proceso creciente de descapitalización, escasa inversión de capital y una baja en la producción del maíz y de los cultivos tradicionales. El otro polo de la agricultura, el sector agro-empresarial, en cambio vio aumentar los flujos de capital sobre todo las plantaciones de caña de azúcar y el cacao. En 1993 los cinco principales cultivos aportan el 95% del valor de la producción agrícola como sigue: cacao con un 43.18%; plátano con casi del 20%; caña de azúcar con un 15.46%; copra un 13.19% y cítricos un 4.8% (INEGI, 2000).

El auge ganadero tuvo efecto durante la década que va de 1970 a 1980 con crecimiento del 88% durante el periodo y a una tasa promedio anual del 4.6%. Su estancamiento relativo se atribuye a los límites que ya estaba alcanzando la frontera ganadera y al incremento en el proceso inflacionario que provocó un aumento en los costos de producción.

En términos de regionalización, la Chontalpa es la principal zona agrícola de Tabasco ya que en ella se concentra el 60.5% de la superficie cosechada, el 71.8% del volumen producido y el 64.10% del valor total agrícola de la entidad. Además, también registra la mayor superficie en has. Ocupando el 46.5% (por lo que debería ser considerada como zona prioritaria en los planes de desarrollo regional y de recuperación ambiental, (Plan Estatal de Desarrollo, 2002-2006.)

En términos de las afectaciones a la agricultura, éstas tienen su origen en la pérdida de suelos por retención de agua, derrame de hidrocarburos y otras sustancias tóxicas y por la salinización de los suelos. Otras de las afectaciones superficiales importantes es la denominada lluvia ácida que los campesinos

relacionan con la baja considerable de su producción, además de los terrenos que han sido expropiados para la instalación de la industria petrolera, que en caso de Dos Bocas fue significativo, junto con los derechos de vía (DDV's) de ductos.

El problema de afectaciones de suelos es muy añejo pues si bien existen áreas recuperadas aún se pagan cantidades importantes por daños a cultivos perennes anuales y pastizales.

En el caso de la ganadería los impactos principales son en los pastizales por las afectaciones a los suelos y el deterioro a las alambradas que se utilizan para delimitar potreros. Además, esta la pérdida de animales por accidentes, envenenamientos, etc., y los cambios en el uso del suelo ya referidos anteriormente.

Existen cifras parciales sobre las superficies afectadas pero no hay un censo consolidado al respecto. También resulta urgente realizar estudios de concentraciones de metales pesados en los pastos y suelos, así como en productos finales, investigaciones que serían un instrumento necesario para priorizar los programas de rehabilitación y recuperación de suelos.

Calidad de vida de los habitantes y seguridad de los trabajadores petroleros.

Los fuertes movimientos campesinos y de otros sectores productivos contra las afectaciones de Pemex han hecho más visible los impactos a las actividades económicas. Sin embargo, la vida de las comunidades se ha alterado también drásticamente. Durante muchos años fueron comunes las reclamaciones por “brotadura de casas” que ocasionaban el paso de los transportes hacia las instalaciones petroleras. Este daño, que logró legitimarse para pago de indemnización, hace pensar que la normatividad para instalar infraestructura a cierta distancia de los centros de población no se ha cumplido cabalmente.

Con mayores consecuencias se han expresado los problemas de inseguridad y falta de mantenimiento de las instalaciones que han cobrado vidas como ocurrió con las explosiones de la localidad Plátano y Cacao en el año de 1995 (Reporte de CNDH 100/95).

Menos evidentes son los daños a la salud humana pues existe poca investigación al respecto. Fenómenos como la lluvia ácida, la contaminación y salinización de pozos de agua que se usan para el consumo humano, la presencia de hidrocarburos, metales pesados y bacterias en productos alimenticios, entre otros, pueden estar ocasionando graves daños a la salud.

La pérdida de vida comunitaria y formas de reproducción social es otra forma en que las familias han sido afectadas. Las comunidades que padecen la lluvia ácida reportan la pérdida de huertos familiares y árboles frutales, situación que junto con la incorporación de las mujeres al mercado de trabajo, la pérdida de acceso a granos básicos para el autoconsumo, la pérdida de biodiversidad y otros recursos naturales, han deteriorado la calidad de la vida de la sociedad, (Oil Watch México, 1999).

El concepto de “feminización de la pobreza” puede aplicarse cabalmente a la situación que genera la afectación del medio ambiente a las actividades productivas y los recursos naturales. Por ejemplo, en zonas pesqueras muchas mujeres han tenido que integrarse al mercado de trabajo e incluso migrar hacia los Estados Unidos para complementar los magros ingresos de la familia. Ahora es común en comunidades como Chiltepec que las mujeres vayan a trabajar en plantas despulpadoras de jaimas durante seis meses a los Estados Unidos, sobre todo a raíz de la baja producción pesquera. El incremento de los ingresos familiares por esta vía se canjea por la desestructuración de la familia, el abandono de los hijos y la intensificación de las jornadas de trabajo de hombres y mujeres.

Seguridad de las instalaciones e impacto ambiental

Durante 1992 y como parte del proyecto Olmeca, el Consorcio Internacional de Proyectos Integrales (CIPI) realizó un estudio sobre las condiciones de seguridad y ecología para PEMEX en el estado de Tabasco. Visitó 32 instalaciones de los distritos de Reforma, Comalcalco y Cárdenas, así como Dos Bocas. De ahí derivaron una serie de recomendaciones a corto y mediano plazo que permitiría aumentar el nivel de seguridad en las operaciones de la Región Sur.

Sorprende que a casi 10 años de un diagnóstico similar, aunque no tan exhaustivo realizado por la CODEZPET, Pemex seguía manteniendo los mismos problemas de operación en sus instalaciones, priorizando en su funcionamiento la producción a costo de la seguridad y del medio ambiente, (Oil Watch México, 1999).

Así tenemos que durante la revisión, CIPI encontró que en 16 instalaciones (baterías) no se tenían aún los sistemas de recuperación del vapor de los tanques de almacenamiento o deshidratación, mientras que en 27 existen evidencias visuales de contaminación de suelo y agua; en 26, los quemadores no cumplen con los estándares de la industria; reportaron 24 casos en los que no se hallan separados los drenajes aceitosos y los pluviales que descargan al separador API, y que por falta de operación siga siendo afectado. Los desechos de las aguas de formación, siguen siendo enviadas al medio ambiente.

La otra parte que analiza este trabajo es la seguridad tanto del personal, como de, los equipos y de la instrumentación y en este reporte llama la atención conocer que el factor preponderante en accidentes de trabajo es el humano.

En Tabasco, el 91.7% de los accidentes registrados en petroquímica tienen como origen el factor humano y el restante 8.3% por condiciones inseguras. En los otros rubros de distribución y transporte los porcentajes son 66.7% para factor humano y 33.3% de condiciones inseguras; en refinación encontramos que el 80.8% es

atribuible a fallas humanas y el 19.2% por condiciones inseguras; finalmente, en producción primaria el factor humano alcanza 88.1% y el 11.9% es para condiciones inseguras (CENAPRED, 2001).

“En lo que corresponde a equipos e instrumentos, se analizaron los aspectos esenciales de seguridad en los sistemas de separación y estabilización, compresión, paquete de regulación, quemadores, líneas de conducción, almacenamiento de válvulas de seccionamiento principal, encontrando diversas anomalías que en su mayoría son muy similares entre las diferentes instalaciones”.

“Los equipos también se ven involucrados dentro de la participación de los accidentes, sin olvidar que el factor humano es la causa principal de esta situación. Fugas en válvulas, bridas e instrumentos es otra de las causas de mayor índice de accidentes en las instalaciones de producción primaria”.

“Las estadísticas oficiales de PROFEPA, 2002, revelan que las fugas, como causas de un accidente, arrojan el 39% de los mismos, a diferencia de los incendios que representan únicamente el 13.2%. Además de no haber ninguna medida de seguridad alusiva al control o daño que pueden provocar las fugas, ni mucho menos a lo delicado del manejo de las mismas”.

“La corrosión es un factor importante en el deterioro de los equipos y en el sistema de ductos en general, incrementada ésta por las características climatológicas propias de la región”. Las Figuras 4 y 5, muestran claramente el efecto de la corrosión y el grado de humedad del poliducto de 12” D.N. Mina-Vhsa, en los derechos de vía, estado de Tabasco.

Figura 4. Corrosión del poliducto de 12" D.N. Mina-Vhsa (Trabajo de campo, 2004)



Figura 5. Cruce del poliducto de 12" D.N. Mina-Vhsa en zona pantanosa (trabajo de campo, 2004).



Este claro diagnóstico se encuentra en manos de Petróleos Mexicanos desde 1992 e incluye una serie de recomendaciones muy precisas que de haberse cumplido hubieran evitado o al menos disminuido los derrames, las cuales pasaron de ser 63 en 1993, a 99 en 1994 y a 139 en 1995 (Oil Watch México, 1999).

Cabe destacar que otras instancias federales fueron consultadas para obtener estadísticas recientes en relación a los derrames de hidrocarburos para el estado de Tabasco, obteniéndose los siguientes datos: Las emergencias ambientales registradas durante los años de 1997-2001, son del orden de 391 y con un promedio anual de 78 eventos (PROFEPA, 2002).

Podemos observar que, con los resultados obtenidos de este diagnóstico, es el factor humano el que en un altísimo porcentaje provoca situaciones de riesgo en instalaciones petroleras de diversa índole. Ahora bien, con relación a los sistemas de ductos, que es el caso que ahora nos ocupa dentro de este contexto, dirigiremos nuestra atención al planteamiento y definición de los factores de riesgo asociados a la operación de ductos de transporte de destilados de petróleo (poliductos). En este proceso de identificación y evaluación de los factores de riesgo citados, tomamos en consideración la metodología de Muhlbauer, donde se definen 4 factores de riesgo y son: daños por terceras partes, corrosión, operaciones incorrectas y diseño. Que están descritas detalladamente en el capítulo 2.

A continuación, hacemos una breve descripción de como está conformado el sistema de poliductos en el país:

Sistema de poliductos en México

La Gerencia de Transportación por Ducto perteneciente a la Subdirección de Distribución de PEMEX-Refinación, administra, opera y mantiene la principal red de ductos para el transporte de productos. Esta gerencia tiene cuatro subgerencias regionales: Norte, Centro, Golfo y Sureste.

El censo de la red de poliductos en operación está constituido aproximadamente por 8,006 kilómetros de ductos con diámetros entre cuatro y dieciocho pulgadas,

únicamente destinados al transporte de destilados, y forman parte de los 55,000 kms de ductos que existen en el país para otros servicios. Los poliductos están tendidos en 6,188 kilómetros de derechos de vía de ductos, y tienen un empaque de 3.8 millones de barriles.

Los poliductos suministran productos destilados a 43 superintendencias de ventas y dos terminales marítimas; asimismo, se transportan productos interrefinerías.

Durante 1996, por la red de poliductos se transportó un promedio de 1,317 miles de barriles por día (mbd). En la Tabla 1, se resume los volúmenes de los diferentes productos transportados durante el censo de 1996.

Producto (último censo de 1996)	Volumen (mbd)
Gasolinas	749
Diesel	303
Turbosina	66
Combustóleo	160
Querosinas	9
Gasóleos	27
Propileno	3

Fuente: Pemex-Refinación, 2002

En la Tabla 2, se indica la división de la red en las tres principales zonas que abastecen e interconectan las refinerías en México.

Zona	Refinerías (localidad)	Terminales de Ventas	Terminales Marítimas
Sureste - Golfo	Minatitlán, Ver. Salina Cruz, Oax.	10	2
Centro - Golfo	Tula, Hgo. Salamanca, Gto	17	-
Norte- Pacífico	Cd. Madero, Tamps. Cadereyta, N.L.	16	-

Fuente: Pemex-Refinación, 2002

Desde su creación en 1938 hasta la fecha, Petróleos Mexicanos ha venido incrementando considerablemente su planta productiva, derivado de las exigencias mundiales en materia energética principalmente, pero también a una mayor demanda del mercado nacional, así como del descubrimiento de considerables reservas de hidrocarburos, tanto probables como probadas en nuestro país.

La construcción de ductos de transporte y de distribución de hidrocarburos y sus derivados que conforman la red de ductos de la industria petrolera estatal desde los lugares de extracción, hasta las plantas de procesamiento y de estos a los centros de distribución y venta se incrementa día a día, alcanzando en la actualidad una longitud superior a los 55,000 kilómetros (Boletines de Petróleos Mexicanos, 2004).

Mantener en óptimas condiciones esta infraestructura representa un gran reto y deberán invertirse recursos suficientes para lograr que los sistemas de poliductos operen dentro de los índices de seguridad recomendados por la EPA (Environmental Protection Agency), minimizando los riesgos y manteniendo limpio de contaminantes el medio ambiente.

Es evidente que el tema de los análisis de riesgos en la infraestructura petrolera nacional es muy amplio y con cierto grado de complicación por la falta de información oficial disponible, sin embargo, planteamos en este trabajo una metodología de análisis muy útil que ayudará a las autoridades competentes a identificar puntos de oportunidad y contribuyan sustancialmente en sus actividades de gestión en el sistema de poliductos, atendiendo la problemática que se vive en el tema de daños por terceras partes, y de las que subyacen las tomas clandestinas como causa del hurto de gasolinas y diesel principalmente, actividad ilícita que se ha generalizado en todo el país en los últimos años.

CAPÍTULO 1

DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA DEL POLIDUCTO DE 12" DE DIÁMETRO DE LA REFINERÍA MINATITLÁN (VER.) A AGENCIA DE VENTAS VILLAHERMOSA (TAB.)

El poliducto de 12 pulgadas de diámetro nominal (D.N.), parte de la trampa de Envío de Diablos (T.E.D.) de la Refinería Gral. Lázaro Cárdenas del Río, Minatitlán Ver., a la Trampa de Recibo de Diablos (T.R.D.) de la Agencia de Ventas Villahermosa Tab., con una longitud de 174+747 kilómetros de longitud, de acuerdo al reporte oficial obtenido mediante corrida de diablo instrumentado practicada en 1996.

La tubería utilizada en la construcción es de acero al carbón de 12" de diámetro nominal (D.N.), sin costuras, extremos biselados, especificación API-STD-5L-X52, espesor de 0.250" (6.35 mm), diseñada para el manejo de Gasolina Magna SIN, Diesel Desulfurado y Diesel SIN, con una presión de operación de 28 kg/cm².

La capacidad de transporte del poliducto de 12" D.N. (Minatitlán-Villahermosa) es de 25 Mil Barriles Diarios (MBD) y el material transportado consiste en: Diesel SIN, Diesel Desulfurado y Gasolina Magna SIN (datos de diseño).

El equipo dinámico necesario para el transporte de estos hidrocarburos consiste en 3 motobombas con capacidad de 400 GPM (Galones por Minuto), con una potencia de 300 HP cada una, el volumen geométrico manejado es de 478 bls/km.

Objetivo del poliducto.

El poliducto de 12" D.N., tiene como objetivo transportar los hidrocarburos productos de la refinación (Diesel SIN, Diesel Desulfurado y Gasolina Magna SIN) de forma segura a los sitios de comercialización. Al mismo tiempo, mantener el abasto necesario de hidrocarburos en la zona sureste del país y cumplir con las metas y objetivos de Pemex-Refinación en este sentido.

La Figura 1.1, muestra la infraestructura de ductos instalados en el territorio nacional, incluyendo por supuesto los del estado de Tabasco.

Figura 1.1 Derechos de vía de ductos en el territorio nacional.



Fuente: Anuario Estadístico de Pemex, 2004.

El poliducto, cuenta con una antigüedad de 25 años (año de construcción, octubre de 1980); en este lapso se han presentado daños al mismo debido al robo del producto (tomas clandestinas), y para atender esta circunstancia, ha sido necesaria la aplicación de envolventes circunferenciales (existen diversos tipos y diseños, pero en general están constituidas por abrazaderas metálicas soldadas, que contiene al carrete de la tubería averiada), colocadas de modo preventivo, en aquellos puntos en los que se realizaron este tipo de actividades ilegales. Aunado

a ello, se han encontrado 22,249 fallas en corrida de diablo instrumentado (Manifestación de Impacto Ambiental “MIA” 1998, SEMARNAT).

El poliducto de 12” D.N. atraviesa los estados de Veracruz y Tabasco en los siguientes municipios: Minatitlán, Veracruz; Huimanguillo, Cárdenas y Centro, Tabasco, y con las siguientes coordenadas que se muestran en la Tabla 1.1 siguiente el sistema Universal Transversal de Mercator y Geográficas.

Tabla 1.1 Sistema Universal Transversal de Mercator y Geográficas, para el Poliducto de 12” D.N. Minatitlán-Agencia de Ventas Villahermosa

Instalación	U.T.M.		Geográficas	
	X	Y	Longitud	Latitud
T.E.D. Ref. Mina	1 988 498	338 055	94°31'39.9”	17°58'50.3”
T.R.D. Agencia Ventas VHSA.	1 989 700	499 800	92°59'54.4”	17°59'48.2”

Fuente. MIA 1998, SEMARNAT

Urbanización del área.

El derecho de vía del poliducto de 12” D.N. Minatitlán-Villahermosa se ubica principalmente en áreas rurales de los municipios de Minatitlán, Ver., y de Huimanguillo y Cárdenas, Tab.; únicamente se cruzan áreas suburbanas y urbanas en las cercanías de la ciudad de Minatitlán, la cabecera municipal de Cárdenas, y la periferia de la ciudad de Villahermosa, Tab.

El derecho de vía utilizado por el poliducto de 12” D.N. es compartido con otros ductos que transportan hidrocarburos, y que pertenecen a Pemex- Exploración y Producción (PEP) y Pemex-Gas y Petroquímica Básica (PGPB).

El derecho de vía del poliducto de 12” D.N. comprendido desde el punto de inicio en la T.E.D. Refinería Gral. Lázaro Cárdenas del Río (km 0+000), hasta la estación Nuevo Teapa (km 24+677) es el único tramo que pertenece a la

jurisdicción de Pemex-Refinación. La Tabla siguiente 1.2 muestra los tramos del poliducto de 12" D.N. donde se encuentran fallas detectadas por el diablo instrumentado y las longitudes de tubería a ser reemplazadas:

Tabla 1.2 Localización de fallas detectadas con diablo instrumentado 1997.

Tramo	km	Total de fallas	Long. Total a cambiar (m)
T.ED. Ref. Mina a Valv. Sec. Nuevo Teapa	24+677	6, 209	3 531
V.S. Nvo. Teapa a T.R.D. Margen Izq. R. Tonalá	27+512	2 940	3 201
R. Tonalá a Cárdenas a T.R.D. Margen Izq. R. Samaría	96+404	10 196	12 573
Río Samará a T.R.D. Agencia Ventas Vhsa	26+154	553	692

Fuente. MIA 1998, SEMARNAT

Uso actual del suelo del poliducto de 12" D.N.

De acuerdo a la cartografía de INEGI (2001) y del plano de uso de Suelo y Vegetación, se tiene lo siguiente, en función de su extensión territorial:

- Pastizales
- Actividad agrícola
- Selva alta perennifolia
- Vegetación hidrófila

Vías de acceso.

El poliducto de 12" D.N. cuenta con vías de acceso al derecho de vía a través de la carretera federal No. 180 Coatzacoalcos-Villahermosa (ruta a la que nos referiremos en lo subsecuente), ya que el poliducto se ubica en forma casi paralela a esta carretera, y existen puntos de entrada, principalmente de terracería

y caminos vecinales, que comunican al derecho de vía del poliducto con esta importante vía de comunicación.

Posibles accidentes.

Los posibles accidentes que pueden ocurrir durante la operación y mantenimiento de los poliductos pueden deberse a las siguientes causas:

- Por corrosión interna o externa de la tubería
- Por mala calidad de los materiales de construcción
- Por deficiencias durante la construcción
- Por deficiencias en el mantenimiento preventivo
- Por daños provocados debido a la extracción ilegal del hidrocarburo
- Por realización de actividades no permitidas en el derecho de vía (construcción de obras, trabajos agrícolas y asentamiento humanos)
- Por eventualidades naturales (descargas eléctricas y sismos entre otros)

Aspectos del medio natural y socioeconómico

Rasgos físicos:

Climatología (tipo de clima): El tipo de clima presente en el área del poliducto de 12" D.N., es cálido húmedo con lluvias en verano A, temperatura promedio anual mayor a los 22 °C; temperatura del mes más frío mayor a 18 °C.

Los fenómenos atmosféricos más severos que se presentan en el estado de Tabasco y en el sur de Veracruz, son los ciclones tropicales y los frentes fríos de carácter fuerte.

Los ciclones tropicales, en su carácter de perturbaciones, depresiones, tormentas y huracanes, se presentan durante los meses de junio a octubre principalmente,

afectando a las localidades cercanas a los ríos y partes bajas del estado de Tabasco de manera importante al desplazarse sobre la Península de Yucatán, Golfo de México y el Istmo de Tehuantepec.

Los efectos de este tipo de fenómenos son de grandes precipitaciones y vientos huracanados que llegan alcanzar velocidades mayores a los 200 km/h, como fue el caso para los huracanes Opal y Roxane (categoría 4 para ambos), que azotaron la región en el año de 1995.

La duración de estos fenómenos climáticos es variada, sin embargo, no suelen afectar por más de 15 días una sola región sin disiparse o trasladarse a otro lugar, como suele suceder comúnmente en esta zona.

Los frentes fríos se presentan en los meses de noviembre a marzo, y por lo regular se acompañan de masas de aire polar ártico con bajas temperaturas y presión atmosférica mayor a los 1,040 hPa (hectoPascales), originando descensos abruptos en la temperatura con precipitaciones y vientos fuertes, alcanzando velocidades mayores a los 120 km/h en las costas del estado de Tabasco. Este meteoro tiene una duración de 2 a 3 días por lo cual no causa precipitaciones severas.

FISIOGRAFÍA Y GEOMORFOLOGÍA.

En términos generales, el trazo del poliducto de 12" D.N. se desarrolla sobre la provincia fisiográfica Llanura Costera del Golfo Sur, la cual se divide en dos subprovincias denominadas: Llanura Costera Veracruzana y Pantanos de Tabasco y se clasifican en la siguiente Tabla 1.3:

Tabla 1.3 Provincia fisiográfica “Llanura Costera del Golfo Sur”

Provincia	Subprovincia	Sistemas Morfogenéticos
Llanura Costera del Golfo Sur	Llanura Costera Veracruzana	Llanura Costera Fluvial Lomeríos del Mioceno Llanura Aluvial Inundable
	Llanura y Pantanos De Tabasco	Llanura Fluvial del Reciente Terrazas Fluviales del Pleistoceno Llanura Aluvial Inundable

Fuente. MIA 1998, SEMARNAT

A continuación se hace una descripción de cada una de las subprovincias citadas.

Llanura Costera Veracruzana.

Se trata de una llanura costera de fuerte aluvionamiento por parte de los ríos Coatzacoalcos y Tonalá que la atraviesan de SW-NE, para desembocar en la porción Sur del Golfo de México. Estos ríos son permanentes pero de dirección errática, con abundantes meandros, cauces abandonados, lagunas de media luna, pantanos y drenaje anastomosado, con fuerte inundación en los meses veraniegos. Esta subprovincia presenta tres sistemas morfogenéticos: Llanura Costera Fluvial, Lomeríos del Mioceno y Llanura Aluvial Inundable.

A. Llanura Costera Fluvial.

Corresponde a una llanura aluvial propiamente dicha, constituida por una superficie plana solamente afectada por aislados afloramientos de sedimentos, cuya altura oscila dentro del margen de varios metros; destacan la formación de terrazas, diques y rampas naturales que delimitan las partes marginales de los cauces y las distintas migraciones de los ríos que les dieron origen.

Las facies de lecho fluvial están constituidas principalmente por arena de distinta granulometría, grava y guijarros bien redondeados; las facies de la llanura fluvial están compuestas por capas de limo arenoso y arcilloso con estratificación

horizontal oblicua y entrecruzada. El aluvión del cauce abandonado es el que constituye los principales bancos de materiales de la región.

A. Lomeríos del Mioceno.

Este sistema se encuentra entre los poblados de Ixhuatlán del Sureste, Nuevo Teapa, Agua Dulce y Las Choapas; se trata de lomeríos y sierras bajas de hasta 100 msnm, constituidas por afloramientos de formaciones terrígenas del Mioceno en facies marinas litorales. La presencia de estos sedimentos coincide en el subsuelo con la existencia de un enorme cuerpo de sal somera, cuya cima se localiza entre los 600 y 500 m de profundidad, según lo demostró la perforación de pozos azufreros que en la década de los 70 explotaron dicho material no metálico en la zona superior del Cap-Rock formado en la discordancia de la sal y los sedimentos terrígenos, los cuales fueron penetrados por infinidad de domos salinos y por lo mismo ocasionaron el levantamiento tectónico de esta región.

La trascendencia ecológica de esta unidad fisiográfica es muy amplia, ya que presenta una topografía muy abrupta con drenaje dentrítico bien desarrollado típico de regiones constituidas por areniscas, lutitas y gravas de alta porosidad, y por, lo mismo muy erosionable. Además se trata de una región con alta densidad de población y abundantes vías de comunicación, razón por la cual son muy abundantes los bancos de materiales tanto para la construcción como la explotación de arena sílica para la industria del vidrio, que explota dichos bancos en distintos frentes provocando la erosión eólica e hídrica de los suelos en áreas limítrofes con el trazo del poliducto.

B. Llanura Aluvial Inundable.

Este sistema se presenta en las cuencas de inundación de los ríos Coatzacoalcos y Uxpanapa; el trazo del poliducto pasa por el extremo Sur del pantano que

atraviesa la carretera federal No. 180, que es de baja profundidad y se seca en época de estiaje.

El río Coatzacoalcos ha alcanzado su etapa senil, lo cual representa que la corriente sólo erosiona lateralmente divagando entre meandros. Este río se ve afectado por la marea la cual se deja sentir en varios kilómetros aguas arriba, ocasionando la salinización y sodificación de los suelos adyacentes y la floculación de partículas coloidales.

La llanura de inundación se caracteriza por cauces temporales, albardones naturales y semilunares, meandros abandonados, grandes extensiones de aguas someras y lagunas de poca profundidad, predominando estas características en el margen izquierdo del río ya que en el derecho predominan terrenos altos constituidos por dunas y meandros. La mayor parte de los depósitos recientes en la zona de inundación son de consistencia blanda y baja compacidad.

Llanura y Pantanos de Tabasco.

Se trata de una llanura formada por grandes cantidades de aluvión acarreado por dos de los ríos más caudalosos del país: Grijalva y Usumacinta, los cuales han tenido cursos inestables y sus cauces han sufrido varios cambios abruptos en su recorrido, debido a estos aluviones recientes cubren en forma discordante la mayor parte de la llanura.

Las zonas inundables abarcan completamente las cuencas hidrológicas de los ríos: Coatzacoalcos, Tonalá y Carrizal, contrastando con una amplia zona no inundable del área Cárdenas-Comalcalco del antiguo Distrito de Riego No. 2 (Plan Chontalpa).

De acuerdo con West, *et al.* (1969) y Zavala (1988), en el área de estudio existen tres sistemas morfogénicos que son: Llanura Fluvial del Reciente, Terrazas Fluviales del Pleistoceno y Llanura Aluvial Inundable.

A. Llanura Fluvial del Reciente.

Estas características corresponden a un gran delta arqueado con distribución radial de corrientes, donde el río Samaria es el que tiene mayor caudal y capacidad de carga de sedimentos erosionados de la colindante Sierra de Chiapas, en donde afloran lutitas, areniscas, calizas, dolomitas, tobas, ceniza volcánica y lavas andesíticas del Terciario, de fácil erosión por su alto grado de plegamiento, fallamiento y fracturamiento.

En la llanura fluvial deltaica de la zona de estudio, en cada distributario activo e inactivo se observan geomorfos como: cauces, diques naturales, llanuras bajas y depresiones (entre diques ocupados por pantanos y lagunas). En formas ordinarias, los procesos acumulativos se repiten para cada corriente durante sus desbordamientos; West, *et al.* (1969) describe que “La carga de caudal que rebasa las orillas pierde velocidad rápidamente y deja caer gran parte de su carga de sedimento. Los granos de mayor tamaño se depositan junto al canal del río, las cuestas posteriores de los diques y los pantanos de atrás reciben menos sedimentos y granos de menor tamaño, por lo que cubren de aluvión más lentamente”.

La repetición de los procesos de acumulación invariablemente provoca la elevación de los diques naturales sobre el plano de las llanuras adyacentes, en estas condiciones al derramarse el caudal de las crecidas hacia los bajos y pantanos laterales, y debido al desnivel topográfico creado por la sedimentación desigual, ocurrió el fenómeno de los rompidos del río principal formando nuevos

canales. Esta dinámica se repitió varias veces en los últimos 300 años en el río Mezcalapa (Grijalva), entre Huimanguillo y Cárdenas.

Hasta hace cuatro décadas todos los cambios hidrológicos se debieron a procesos naturales propios de una corriente que irradia sus sedimentos a través de los distributarios, que hacen crecer la planicie en sentido horizontal hacia el mar (progradación), y vertical, provocando la emersión de tierras (degradación). Sin embargo, este mecanismo fue interrumpido por la mano del hombre antes de la llegada de Pemex con la construcción de las presas Netzahualcóyotl y Peñitas para control de inundaciones, drenaje del área, construcción de carreteras, obras de irrigación y generación de energía eléctrica.

En la década de los 60 se modificó en forma radical la llanura deltaica del río Grijalva por la ejecución de las siguientes obras que impactaron ecológicamente el área (Zavala, 1988):

- Bordo derecho, libró parte de la Chontalpa y sirvió de base para el trazo de la carretera Cárdenas-Villahermosa. En Campo Grande (Samaria) se interrumpe 4 km y continúa hasta el río Carrizal.
- Bordo izquierdo, desde el puente Samaria hasta Oxiacaque, protegiendo de las inundaciones a Cunduacán, Jalpa, Nacajuca, varios ejidos, rancherías y ejidos de la rivera del río Carrizal.
- Dren Samaria-Mecoacán, desde el ejido de Miahuatlán 3^{ra} Sección hasta el río Cuxcuchapa.
- Cauce piloto del río Samaria.

La mayoría de estos bordos, caminos y drenes se encuentran actualmente azolvados y subutilizados por motivos económicos, pero afectan al trazo del poliducto ya que han modificado la dinámica natural de las aguas creando una caótica división de microcuencas.

A. Terrazas Fluviales del Pleistoceno.

Se observan en los alrededores de Villahermosa y Oxiacaque-Cunduacán, y consisten en una formación terrígena amplia, ligeramente inclinada hacia el mar, segmentada por la erosión fluvial de los ríos, que en su recorrido hacia el mar han cavado amplios valles por acción combinada de las fluctuaciones pleistocénicas del nivel del mar. Dichos paleovalles han sido ocupados por lagos y pantanos cuyo origen se debe al bloqueo de las corrientes por la sedimentación aluvial, como ocurre en el río Viejo Mezcalapa y en el contacto con los Lomeríos del Pleistoceno.

Los sedimentos están constituidos por limos, arcillas y arenas finas intemperizadas en los primeros 15 cm, el horizonte "A" es de color rojizo, en tanto el "B" es de color encarnado con nódulos ferromagnesianos desvaneciéndose hasta un amarillo pálido a mayor profundidad.

La trascendencia ecológica de estos afloramientos del Pleistoceno radica en que son una fuente ideal de materiales de construcción, sobre todo por su posición topográfica elevada, útiles para el relleno de zonas bajas o para la construcción de caminos, peras y plataformas de instalaciones petroleras y/o industriales.

La reducida extensión de las lomas y el gran volumen demandado han ocasionado la desaparición de varias lomas quedando en su lugar grandes zonas erosionadas, que en su mayoría no han sido reforestadas y han perdido la capa de suelo que quedó muy degradada, ocupadas por lagunetas dragadas o bien un suelo pedregoso y arenoso muy intemperizado que sólo permite el crecimiento de gramíneas no aprovechadas por el ganado.

En el área de estudio las superficies con este problema se localizan en los municipios de: Cunduacán, Oxiacaque y el Sur de Jalpa.

C. Llanura Aluvial Inundable.

En la zona, existen numerosos sistemas aluviales inundables, sobre todo en la llanura baja de los ríos Samaria, Carrizal, Cunduacán y Tonalá, dando lugar a pantanos de agua dulce (depósitos estancados), lagunas y entre diques naturales o artificiales. En general, son acumulaciones de agua de la precipitación local y que presentan un escurrimiento superficial lento.

Son sistemas que funcionan como nivel base provisional de microcuencas, pero que finalmente drenan sus aguas hacia las corrientes fluviales, ya sea por medio de arroyos o en forma laminar, debido a que forman parte de las llanuras y por su posición más baja respecto al cauce son las primeras áreas en ser ocupadas por el desbordamiento de los ríos.

Actualmente sólo los pantanos de las llanuras de los ríos Samaria y Tonalá cumplen con esta función, ya que el río Carrizal y los ríos restantes poseen bordos de defensa que impiden las inundaciones fluviales, y por ende el aluvión como fertilizante natural.

Geomorfología a lo largo del poliducto de 12" D.N.

De T.E.D. Minatitlán a T.R.D. Margen izquierda del río Coatzacoalcos.- El trazo del poliducto parte de la refinería Gral. Lázaro Cárdenas del Río en la ciudad de Minatitlán, en dirección NE hacia el puente de cuota Antonio Dovalí Jaime del río Coatzacoalcos. Sobre el margen izquierdo del río, se presentan condiciones de pantano estacional, pero el trazo del poliducto los libra debido al estero San Francisco, que delimita una zona parcialmente inundable.

El pantano de referencia baja sustancialmente su nivel de agua en la época de estiaje, notándose su nivel de inundación a 1 m abajo del terraplén de la carretera federal No. 180 que lo atraviesa. El margen derecho del río Coatzacoalcos sólo presenta condiciones de inundación dentro del meandro El Playón, el resto del

poliducto atraviesa terrenos altos constituidos por antiguas dunas, médanos y afloramientos del Mioceno.

De T.E.D. Margen derecha del río Coatzacoalcos a V.S. Nuevo Teapa.- En el tramo Barragán al poblado El Chapo se pasa de una topografía plana a otra de lomas subredondeadas cuya altura va en ascenso de 4 a 5 m que tiene el río Coatzacoalcos a 30 m en el poblado El Chapo.

A partir del poblado Amatitlán se pasa al sistema morfogénico Lomeríos del Mioceno, constituida por afloramientos de formaciones terrígenas, arenosas, arcillosas, que se tornan porosas, permeables, blandas y muy vulnerables a la erosión cuando se les retira su capa de suelo vegetal.

Saliendo de El Chapo el poliducto pasa por un pequeño valle semiplano aproximadamente de 3 km, para luego elevarse a la zona montañosa de Nuevo Teapa, donde se observa un alto grado de erosión del suelo debido a la explotación de bancos de materiales que fueron abandonados sin una reforestación protectora.

En el subsuelo del tramo de referencia se pasa por un campo petrolero viejo, llamado Nuevo Teapa, donde se perforaron aproximadamente 47 pozos, y por su baja producción se encuentran cerrados, los daños causados a la geomorfología ya han sido aislados y restaurados por sí mismos, sólo en algunas instalaciones (peras) ha sido necesario aplicar procesos de biorremediación mediante la acción de bacterias cultivadas.

En los cortes abiertos para construir la carretera No. 180 a la altura del km 16 al 19, se puede ver que los préstamos se siguen erosionando por falta de una reforestación mínima al finalizar la construcción de la misma y afecta al trazo del poliducto porque corren paralelos.

De V.S. Nuevo Teapa a T.R.D. margen izquierda del río Tonalá.- El trazo del poliducto sigue paralelo a la carretera federal No. 180 y continúa sobre la unidad Lomeríos del Mioceno que termina aproximadamente en el km 40 de la carretera federal No. 180 (Finca Hnos. Graham) y de ahí se pasa a la unidad Llanura Fluvial del Reciente del río Tonalá.

En este tramo se desarrolla la topografía más abrupta de todo el poliducto, pues se cruza por un terreno muy accidentado con alturas de hasta 100 msnm, atravesándose abundantes arroyos. Esta pequeña sierra está constituida por capas de arena y lutitas del Mioceno y, por lo mismo, presentan alta porosidad y permeabilidad, son blandas y poco resistentes a la erosión.

Para el derecho de vía de los poliductos de Pemex se tuvieron que hacer cortes espectaculares de esta pequeña sierra.

De T.E.D. margen derecha del río Tonalá a V.S. San Miguel.- Se continúa en forma paralela a la carretera federal No. 180, y sobre la llanura fluvial del río Tonalá al cual se le une el afluente Blasillo; ambos con un desarrollo ondulante con abundantes meandros.

El trazo de poliducto pasa por terrenos inundables localizados entre el entronque a La Venta, Tabasco y el campo petrolero Otates. Se trata de terrenos bajos localizados entre los kilómetros 47 al 57 de la carretera federal No. 180, en donde afloran sedimentos impermeables que al saturarse elevan el nivel freático hasta ocasionar la salida del agua a la superficie.

Desde el punto de vista geológico, el tramo analizado está cubierto por sedimentos aluviales y palustres. Los primeros están constituidos por depósitos terrígenos sin consolidar (arenas, gravas y limos), razón por la cual se tiene ahí el banco de materiales Pejelagartero. Los sedimentos palustres consisten en material arcilloso.

El subsuelo está constituido por areniscas y lutitas del Terciario (Eoceno-Mioceno), con profundas intrusiones dómicas de sal contra la cual se forman yacimientos de hidrocarburos, como los ubicados en los campos petroleros Blasillo y Ogarrío, en donde algunos de sus pozos y peras se localizan dentro del derecho de vía del poliducto

De V.S. San Miguel a Área de Trampas Nudo Cárdenas.- Se continúa el trazo del poliducto en forma paralela a la carretera federal No. 180, aunque a la altura del kilómetro 75 se pasa al lado sur de la misma para volver a la porción norte en el kilómetro 93+800 por el resto del trazo.

En general, se desarrolla sobre la subprovincia fisiográfica Llanuras y Pantanos de Tabasco en su sistema morfogenético Llanura Aluvial Inundable el cual incluye: Complejo Agropecuario de la Chontalpa, Ingenio Benito Juárez, plantaciones arroceras, Colegio de Posgraduados Campus-Tabasco y una reserva estatal de selva mediana perennifolia (kilómetro 99+700 de la carretera federal No. 180).

Esta región fue objeto de construcciones hidráulicas para el control de inundaciones, drenaje de áreas de potencial agrícola, trazado de carreteras y proyectos de irrigación en especial en las cercanías de Cárdenas donde se efectuaron muchas obras (Zavala, 1988).

Actualmente estas obras no se utilizan, la mayoría se encuentran azolvadas y con alta densidad de asentamientos humanos, lo cual se complica con la presencia del campo petrolero Cárdenas que tiene decenas de pozos perforados (aproximadamente 47), cuyas peras se localizan en ambos lados del trazo del poliducto. Desde el punto de vista geomorfológico, tantos bordos y terracerías han dividido la subcuenca hidrológica presente en un número elevado de microcuencas. Se tienen varios bancos de materiales como el de JAMÁS.

De Área de Trampas Nudo Cárdenas a T.R.D. Agencia de Ventas Villahermosa.- Se continúa en forma paralela del lado norte de la carretera federal No. 180 y sobre los sistemas morfogénéticos: Llanura Fluvial del Reciente y Terrazas Fluviales del Pleistoceno.

Se atraviesa la llanura fluvial de los ríos Cunduacán, Samaria y Carrizal, observándose en cada uno y en sus respectivos tributarios activos o inactivos, un conjunto de geoformas como cauces abandonados, diques naturales (llanuras altas o vegas), llanuras bajas y depresiones, ocupados por pequeños pantanos y lagunas (kilómetros 152, 153 y 161 de la carretera federal No. 180).

Por otra parte, existen abundantes bordas, drenes y cauces pilotos construidos en la época del Plan Chontalpa y que actualmente no se utilizan, por lo tanto presentan alto grado de azolvamiento e interferencia con las obras de Pemex. Por ejemplo, a partir del kilómetro 139+200 de la carretera federal No. 180, sale un bordo de defensa con orientación al Este franco, hasta el campo Carrizo (26 km de largo).

El poliducto atraviesa terrenos de llanura alta inundable con esporádicos entrantes de llanura baja de inundación ordinaria; ambas márgenes del río Carrizal están protegidos por bordos de defensa. Al Sur del km 146 de la carretera federal No. 180 se tiene un pequeño pantano permanentemente y a la altura del km 152 el trazo del poliducto toca otro pantano permanente de mayor tamaño.

Aproximadamente en el km 162 de la carretera federal No. 180, en un área que ocupa el campo Carrizo, se tienen los primeros afloramientos del sistema morfogénético Terrazas Fluviales del Pleistoceno; en dicha área existen 4 bancos de materiales rodeados de terrenos bajos inundables.

En el tramo de referencia se atraviesan los campos Samaria y Carrizo, donde en conjunto se perforaron aproximadamente 59 pozos de desarrollo, con peras a cada 1,200 m, que producen aceite ligero de calizas de Cretácico Inferior Medio y

Superior a profundidades de 3,800 a 5,370 m y corresponden a la provincia geológica Chiapas-Tabasco.

En la Tabla 1.4 se proporcionan los nombres de los campos petroleros localizados a lo largo del poliducto.

Tabla 1.4 Campos petroleros a lo largo del DDV del poliducto de 12 " D.N. Mina-Vhsa.

CUENCA GEOLÓGICA	CAMPO	AÑO DE DESCRUBR.	ZONA PRODUCTORA	TIPO DE HIDROCARB	POZOS PERFOR.	RANGO DE PROF. (m)
Cuenca Salina Del Istmo	Ixhuatlán	1911	Mioceno Inferior	Aceite y Gas	115	800-900
	Nuevo Teapa	1928	Mioceno Inferior	Aceite	47	Someros
	Ogarrio	1957	Mioceno Inferior	Aceite y Gas	412	412-3500
	Blasillo	1966	Mioceno Inferior	Aceite y Gas	88	Someros
	Puente	1969	Mioceno Inferior	Aceite y Gas	8	Somero
Área Mosozoica Chiapas-Tabasco	Samaria	1973	KS-KM-KL	Aceite ligero	58	3800-5370
	Íride	1974	K-JS	Aceite ligero	17	3254-4170
	Carrizo	1977		Aceite ligero		
	Cárdenas	1980	KL-JST-JAT	Aceite volátil	47	4900-5900
	Edén	1983	KL	Aceite volátil	1	5340-5390
Jolote	1983	KS	Aceite volátil	1	5108-5137	

Fuente: MIA, 1998. SEMARNAT

La infraestructura de estos campos incluye baterías de separación, estaciones de compresión, deshidratadoras, plantas de inyección de agua, complejos petroquímicos, bancos de materiales, y todos han requerido de caminos de terracerías de acceso para dar mantenimiento a las instalaciones. Los bordes y terraplenes de éstos han afectado a la geomorfología del área, dividiéndola en infinidad de microcuencas hidrológicas que tendrán que rehabilitarse mediante el desazolve de alcantarillas y drenes.

Descripción breve de las características del relieve por donde atraviesa el poliducto en estudio.

- De T.E.D. Minatitlán a T.R.D. margen izquierda del río Coatzacoalcos; se pasa por una llanura baja de inundación anual (planada) cuya altura no pasa de 12.59 msnm.
- De T.E.D. margen derecha del río Coatzacoalcos a V.S. Nuevo Teapa; el trazo del poliducto inicia una pendiente en dirección NE, que se inicia en el río Coatzacoalcos con 12.59 msnm y se levanta hasta 50 msnm en Nuevo Teapa, pasando por Ixhuatlán del Sureste con relieve semi-abrupto de montículos y barrancas muy angostas, a excepción de una pequeña planada no mayor de 3 km al NE del poblado El Chapo. El promedio de la pendiente es de 0.003%.
- De V.S. Nuevo Teapa a T.R.D. margen izquierda del río Tonalá; continúa con un rumbo de NW a SE (similar al de la Sierra de Chiapas), el trazo del poliducto la atraviesa de NW a SE. En este tramo se localiza el parteaguas de las subcuencas de los ríos Coatzacoalcos y Tonalá, así como la parte más abrupta de esta sierra, en donde se registran alturas máximas de aproximadamente 200 msnm, aunque el trazo de poliducto libra estos picos. Éstos dan un promedio de 100 msnm antes de iniciar sus bajada al río Tonalá, en donde se registran cotas de 2.30 m, y 0.006% de pendiente promedio.
- De T.E.D. margen derecha del río Tonalá a V.S. San Miguel; este terreno se desarrolla sobre una llanura baja de inundación ordinaria (planada) colindante con pantanos estacionales del río Blasillo, afluente del Tonalá. Se trata de terrenos planos con alturas que fluctúan entre los 2.30 a 8.33 msnm; la dirección del trazo es de Oeste a Este ligeramente arqueado, y va paralelo a la carretera federal No. 180 hasta el km 75+300 lugar en que se cruza para continuar del lado Sur.

De V.S. San Miguel a V.S. El Castañito; se continúa por una llanura alta no inundable en parte por las obras de infraestructura hidráulica hechas por la

- Comisión del Grijalva, o Plan Chontalpa, sobre una topografía prácticamente plana con elevación promedio de 15 msnm y pendiente 0.
- De V.S. El Castañito a T.R.D. Agencia de Ventas Villahermosa; se continúa sobre una llanura alta no inundable, que colinda con esporádicos pantanos estacionales y con algunos montículos de ± 7 m de elevación con respecto al nivel medio del piso, constituidos por bancos de arcilla y arena del Pleistoceno que sobresalen en el panorama general de la planicie. A la altura de la ciudad de Cárdenas se atraviesa el antiguo cauce del río Grijalva, el cual fue modificado varias ocasiones (4 rompidos) desplazándose de Cárdenas a la posición actual.

Susceptibilidad de la zona a sismos:

Según el catálogo de regionalización de la República Mexicana del Instituto de Geología de la UNAM, Figueroa A.J. (1969), el trazo del poliducto pasa por dos zonas: la primera, que comprende Minatitlán hasta el río Tonalá, corresponde a una zona sísmica de sismos frecuentes; la segunda que va del río Tonalá a Villahermosa, corresponde a una zona penesísmica (de sismos poco frecuentes).

Estas dos zonas sismogenéticas: la primera, de Minatitlán al río Tonalá, es considerada zona de peligrosidad sísmica alta con sismos máximos de 6 grados en la escala de Mercalli; y una segunda zona, del río Tonalá a Villahermosa, es considerada de peligrosidad media con sismos de entre 3 y 4 grados en la escala de Mercalli con epicentros en la Sierra de Chiapas y Costa del estado de Oaxaca-Chiapas.

Región de Minatitlán- Río Tonalá.

La región en estudio de encuentra ubicada dentro de la provincia geológica Cuenca Salina del Istmo caracterizada por contener una columna sedimentaria

compuesta de formaciones carbonatadas y sal en el Mesozoico, cubiertas por más de 3,500 m de formaciones terrígenas del Cenozoico.

Dicha columna ha sido intrusionada por domos salinos, algunos de los cuales han llegado casi hasta la superficie (domo Chinameca, Cerro Pelón y otros) y han dado lugar a la formación de un Cap-Rock, en donde se depositaron ricos yacimientos de aceite y gas aunque a mayor profundidad. Alrededor de estos domos se tienen grandes fallas normales y en el subsuelo los sedimentos presentan un plegamiento y fallamiento de tipo compresivo.

Contemporánea a la actividad tectónica del Mioceno Superior se tuvo una intensa actividad volcánica representada por emisiones piroclásticas de tipo básico e intermedio en la región de San Andrés Tuxtla y Cerro San Martín en donde hasta la fecha se conservan varios aparatos volcánicos inactivos.

La actividad sísmica esta región está relacionada con una zona sismogénica localizada en las costas de Oaxaca y Chiapas, en donde convergen tres grandes Placas Tectónicas que son: la de Cocos, la de Norte América y la del Caribe, por cuyo efecto se formó una depresión oceánica cercana al Golfo de Tehuantepec conocida como zona de Subducción de la Trinchera del Pacífico, con isobatas de hasta 5,500 m.

Del análisis de la distribución espacial de los sismos se concretó su relación con sistemas estructurales de la Sierra de Chiapas en el margen transformante de Motagua-Polochic, y un arco volcánico incipiente compuesto por los volcanes Chichonal en Chiapas y el Tacaná en Guatemala.

Según el listado de eventos sísmicos de Figueroa (1969), en el área Jáltipan, Minatitlán y Coatzacoalcos, en el periodo de 1879 a 1967, habían ocurrido 46 sismos de 3.2, 4.1, 5.4, 6 y sólo tres de 7 grados de intensidad, en la escala de

Mercalli; o sea un total de 83 sismos en 88 años de análisis. Los sismos ocurridos se desglosan en la siguiente Tabla 1.5:

Tabla 1.5 Intensidad de sismos en la región Hipocentral

REGIÓN HIPOCENTRAL	INTENSIDAD (ESCALA DE MERCALLI)					TOTAL
	3	4	5	6	7	
Minatitlán	15	6	4	1	1	27
Jáltipan	15	6	5	2	---	28
Coatzacoalcos	16	8	1	1	2	28

Fuente: MIA, 1998. SEMARNAT

De acuerdo con esto, la región del Istmo se localiza cerca de una zona de generación de sismos pero sus efectos no han sido dañinos como los que han ocurrido en el Valle de México, la causa radica en la naturaleza del subsuelo lacustrino de aquellos lugares contra una zona de rocas sedimentarias plegadas y falladas de nuestra área que hasta cierto punto atenúan la intensidad de los sismos generados en la costa de Chiapas.

Datos más recientes obtenidos de los registros de la actividad sísmica del sureste se presentan en la Tabla 1.6.

Tabla 1.6 Magnitud (Richter) de sismos en el estado de Tabasco

Fecha	Entidad	Latitud	Longitud	Magnitud	Prof. (km)	Epicentro
1 Jul 00	Tabasco	17.38	92.63	4.2	5	Teapa
9 Jul 00	Tabasco	17.41	92.82	4.0	10	Lím. Edo.
23 Ago 00	Tabasco	17.87	93.91	3.9	20	Lím. Edo.
16 Ago 03	Tabasco	19.85	-93.98	4.0	16	Bahía Camp.
1 Abr 04	Tabasco	18.31	-93.41	4.2	54	Costa
28 Feb 05	Tabasco	17.50	-92.59	3.8	77	Macuspana
13 May 05	Tabasco	16.33	-90.44	4.4	55	Tenosique
5 Dic 05	Tabasco	18.49	-92.86	4.2	70	Frontera

Fuente: Protección Civil de la SEGOB, 2006.

Región de río Tonalá-Villhermosa.

Desde el punto de vista tectónico, esta región incluye características de las Cuencas Terciarias de Comalcalco, Macuspana y el Pilar Reforma Akal, las cuales

están separadas por grandes fallas de crecimiento desarrolladas durante todo el Plioceno, con un ángulo relativamente inclinado que permitió el depósito de más de 3,000 m de sedimentos terrígenos de tipo incompetente a los esfuerzos ondulatorios de carácter sísmico, los cuales son absorbidos y delimitados para esta región.

En especial, el Pilar Reforma Akal está formado por rocas del Cretácico y Jurásico. Sin embargo, están afectadas por un plegamiento compresivo previo (Mioceno) que dio origen a fallas inversas de alto ángulo, en muchos casos casi horizontales, cuya reactivación y efectos en la superficie se consideran poco probables, siendo ésta la explicación del por qué los eventos sísmológicos son menos frecuentes y de baja magnitud, pues los registrados no pasan de 4.8 en la escala de Richter. Para explicar el origen de los sismos de la región se consultó el trabajo de Vázquez, *et al.* (1990) del Instituto Mexicano del Petróleo, quien para estudiar el efecto de la actividad sísmica natural contó con el catálogo completo de eventos sísmicos de hipocentros para la Sierra de Chiapas, Sur de Tabasco, Sudoeste de Oaxaca y Veracruz.

De los 57 sismos registrados de 1974 a 1996, 25 corresponden a la región costera de Tabasco y 32 a la de Campeche. La magnitud de los sismos ocurridos oscila entre 3.5 y 4.8 grados en la escala de Richter.

Deslizamientos.

En el tramo del río Coatzacoalcos al entronque a Agua Dulce se tienen afloramientos cenozoicos constituidos por una alternancia bien estratificada de capas de arenisca, lutita y lentes de limolita con fósiles marinos del Mioceno; normalmente se presentan con plegamiento y fallamiento radial reflejando la intrusión de domos salinos. Esta disposición estructural ha producido deslizamientos de bloques y deslaves que pudieran ocasionar problemas de mantenimiento de los ductos existentes.

En el tramo del río Tonalá al Campo Blasillo, y del poblado Plátano y Cacao al Campo Samaria, se tienen afloramientos de sedimentos palustres del Cuaternario, constituidos por arcillas de alta plasticidad intercalados con lentes de arena de alta consistencia, que pueden ocasionar problemas de capacidad de carga y hundimientos por consolidación.

Derrumbes.

En el tramo comprendido entre Coatzacoalcos-Tuzamdépetl-Moloacán y Nuevo Teapa se configura la cima de la sal, aproximadamente a 500 m de profundidad, lo cual pudiera representar un riesgo potencial de presentarse derrumbes por subsidencia por disolución de la sal ya que tiene el antecedente de la Laguna el Tabasqueño localizada a 20 km al SE de Minatitlán, además estos domos salinos están asociados a los huecos dejados por la explotación del azufre que fue extraído en forma intensa en las décadas de los 70 y 80.

En el tramo de Ixhuatlán del Sureste al entronque a la ciudad de Agua Dulce se tiene una zona con topografía abrupta, constituida por capas de arenisca muy intemperizadas con un intenso grado de erosión, y es posible que un evento hidrometeorológico severo pueda originar deslaves y derrumbes de roca fracturada.

Posible actividad volcánica.

De acuerdo con la información de mapas geológicos de INEGI y Cruz (1990), quien divide el eje neovolcánico en diferentes grados de peligrosidad que van de muy alta a baja, se considera que la porción oriental del poliducto, se ubica en una zona de moderada peligrosidad ya que se localiza a 71 km al Norte del volcán Chichonal (Chiapas), cuyos flujos piroclásticos (ceniza volcánica) podrían llegar hasta el poliducto y afectar las labores de operación y mantenimiento.

La porción occidental del poliducto, que corresponde a Minatitlán-Coatzacoalcos, se localiza a 42 km al NW del aparato volcánico de San Martín y a 58 km de la zona volcánica de San Andrés, los cuales se encuentran extinguidos actualmente pero que representan un peligro latente de reactivación y en tal caso el área podría recibir flujos piroclásticos de arena, ceniza volcánica y pulsos sísmológicos; por lo tanto el área presenta un riesgo moderado de resultar afectado por material piroclástico según la dirección de los vientos, de NW a SW y de NW a SE.

Otros movimientos de tierra o roca.

De acuerdo con la información geológica recopilada y analizada, se puede concluir que en el área se tienen pocas posibilidades de sufrir movimientos de tierra o roca fuera de los detallados en los apartados de sismicidad, deslizamiento, derrumbes y vulcanismo.

Suelos.

Para desarrollar este apartado se usaron datos de las cartas edafológicas del INEGI en donde se utilizó la clasificación de la FAO-UNESCO.

Tipos de suelos presentes en el área y zonas aledañas.

Gran parte de los suelos en el estado tuvieron su origen en la depositación de aluviones, causada por el cambio de curso que han tenido los ríos durante el Cuaternario. Otros son los de origen residual y se formaron a partir de rocas sedimentarias, tales como: areniscas del Mioceno, calizas del Mioceno y Oligoceno, conglomerados del Cuaternario y algunas lutitas-areniscas del Eoceno; una última porción son de origen litoral, lacustre o coluvio-aluvial.

El relieve plano o ligeramente ondulado, la depositación de materiales finos de baja permeabilidad, las abundantes lluvias y los numerosos ríos, propician que el manto freático se encuentre muy cerca de la superficie, o bien, que ocurra una

inundación de la misma. El drenaje imperfecto y las inundaciones han dado lugar al proceso conocido como gleyzación, que es la reducción o ausencia de oxígeno, la cual ocasiona la formación de colores gris azulado o gris verdoso en el suelo, que corresponden al paso del hierro férrico a hierro ferroso; así también, aumenta la acidez, pero ésta disminuye con la profundidad, pues las sales solubles tienden a ser trasladadas de la parte superior a la inferior del perfil.

La mayoría de los suelos son jóvenes y de origen aluvial, ocupan más del 85% del total del estado, entre ellos se encuentran los gleysoles, vertisoles, cambisoles, regosoles y fluvisoles; los suelos maduros como los acrisoles y luvisoles, sólo abarcan 9.82%.

En general, los suelos son de moderada a alta fertilidad, pero en algunas porciones donde existen limitantes químicas y de saturación de bases, la fertilidad es baja. En orden de importancia, por la extensión que ocupan, se encuentran los siguientes tipos de suelos: gleysoles, acrisoles, vertisoles, cambisoles, luvisoles, regosoles, fluvisoles, rendzinas, solonchaks, litosoles, feozems y andosoles (FAO-UNESCO. *Manual de Clasificación de Suelos* (Modificada por DETENAL) 1970).

Dentro de los suelos aluviales también se tiene a los suelos de sabana, los cuales están fuertemente intemperizados por la acción del clima, la vegetación y las actividades antropogénicas; tienen mal drenaje, problemas de acidez y baja fertilidad. En tales condiciones limitan su uso agrícola a unos escasos cultivos como: piña, yuca, cítricos y pastos que sobreviven a estas condiciones, tales como el elefante (*Penisetum purpureum*) y jaragua (*Hyparrhermia rufa*). Estos suelos se encuentran en el trazo del poliducto, de Palo Mulato a San Fernando (km 75 al 98 de la carretera federal No. 180).

Los suelos paludales de inundación, también conocidos como hidromórficos, se caracterizan por permanecer inundados temporal o permanentemente. La agricultura está limitada a pequeños lotes durante la época de menor precipitación

y se caracterizan por presentar vegetación hidrófila (popales, espadañales y tulares). Estas condiciones se observan en pequeños tramos de Minatitlán a Coatzacoalcos y en el área comprendida entre los ríos Samaria y Carrizal.

En general, el trazo del poliducto se desarrolla dentro de dos regiones hidrológicas que son: RH-29 río Coatzacoalcos y RH-30 Grijalva-Usumacinta. La primera va de Minatitlán, Ver. a Cárdenas, Tab; y la segunda de Cárdenas a Villahermosa, Tab. La región hidrológica 29 se divide en tres cuencas: Coatzacoalcos, Tonalá y Laguna del Carmen y Machona, además atraviesa las subcuencas del río Coatzacoalcos, Tonalá, Coalapa y Santa Ana, las cuales se subdividen en 31 microcuencas.

De la región hidrológica 30 sólo se tiene una cuenca, la Grijalva-Villahermosa, de la que se tocan las subcuencas de los ríos Cunduacán, Samaria y Carrizal, las cuales presentan 12 microcuencas divididas de acuerdo con el criterio de la antigua SARH (1983) e INEGI-SPP (1986). La Tabla 1.7, indica las microcuencas en la zona.

Tabla 1.7 Microcuencas en la zona del poliducto de 12" D.N. Mina-Vhsa.

TRAMO DEL POLIDUCTO DE A*		RH	CUENCAS (RÍO)	SUBCUENCAS (RÍO)	MICROCUENCAS
Minatitlán km 0+000	Nuevo Teapa km 24+677	29	Coatzacoalcos	Coatzacoalcos	Minatitlán Chalapa Chapo La Verónica Santa María Agua Dulcita
Nuevo Teapa km 24+677	Pejelagartero km 69+200	29	Tonalá	Río Tonalá	La Esperanza Supermil Santa Inés C. Panal La Venta Blasillo Otates Ogarrio Blasillo
Pejelagartero km 69+200	Ing. E.Chavéz km 103+500	29	Lag. Del Carmen y Machona	Santa Ana	Pejelagartero Pejelagartero 2da. Sección Cuauhtémoc Palo Mulato Pico de Oro C. de Post. El 34 Naranjeño Piloto Norte
Ing. E.Chavéz km 103+500	H. Cárdenas km 120+000	29	Lag. Del Carmen y Machona	Santa Ana	G. Méndez C. Cárdenas Río Seco Santa Teresa
H. Cárdenas km 120+000	Castañito km 129+800	30	Grijalva- Villahermosa	Cunduacán	Calzadas El Bravo Lechugal
Castañito km 129+800	Lag. Cucuyulapa km 140+000	30	Grijalva- Villahermosa	Samaria	Miahuatlán Habanero El Barí Cucuyulapa 1ra. Secc.
Lag. Cucuyulapa km 140+000	R. Lázaro Cárdenas km 158+200	30	Grijalva- Villahermosa	Carrizal	Marín Corregidora Plátano y Cacao Cumuapa González Carrizal
R.Lázaro Cárdenas km 158+200	Campo Carrizo km 174+470	30	Grijalva- Villahermosa	Samaria	El Barí

* Kilometraje de acuerdo a la carretera federal No. 180.

En el caso concreto de la unidad geomorfológica Lomas del Mioceno, de Ixhutilán del Sureste-entronque a Agua Dulce, sí existe un drenaje bien desarrollado por medio de cauces principales, corrientes tributarias, parteaguas cartografiables por topografía y pendientes bien definidas.

Así tenemos que la subcuenca del río Coatzacoalcos se puede dividir en cuatro mini-cuencas permanentes denominadas: Chalapa, que corre en dirección Este a Oeste; arroyo El Chapo, que corre paralelo al FFCC. del Sureste y desemboca en el río Coatzacoalcos a la altura de Villa Nanchital, arroyo La Verónica que se une aguas abajo al arroyo Teapa; y por último, el arroyo Teapa que desemboca en el Golfo de México.

Continuando con el trazo del poliducto aproximadamente en el km 20+400 se pasa por el parteaguas que divide las cuencas del río Coatzacoalcos y Tonalá. A un lado del poblado Santa María se pasa por un arroyo permanente que se une aguas abajo al río Agua Dulce, después se continúa por un drenaje dendrítico muy cerrado del arroyo intermitente Agua Dulcita del margen (W) del río Tonalá y los arroyos intermitentes Santa Cecilia, El Dorado y La Gloria.

A partir de la vertiente oriental del río Tonalá se pasa a la subprovincia fisiográfica Llanuras y Pantanos de Tabasco, la cual no presenta un drenaje bien definido debido a que el nivel freático aflora o está muy cerca de la superficie y, en tal caso se tiene que tomar en cuenta el drenaje laminar que corre lentamente bajo la superficie del suelo. Las obras hidráulicas como bordos de caminos, drenes, canales e instalaciones industriales y petroleras son los que limitan las microcuencas.

En el caso concreto de la subcuenca del río Tonalá margen oriental se lograron determinar 8 microcuencas que toca el trazo del poliducto, y que se denominan: La Esperanza, Super Mil, Santa Inés, Campo Panal, La Venta, Campo Blasillo,

Campo Otate y Campo Ogarrio, las cuales están delimitadas por obras artificiales que afectan la hidrodinámica natural del agua, por lo tanto se deberán mantener obras adicionales de ingeniería que favorezcan la conservación del patrón de drenaje.

Continuando el trazo del poliducto hacia el oriente, se pasa por la subcuenca del río Coalapa en las proximidades del km 69+200 de la carretera federal No. 180, que ya pertenece a la cuenca hidrológica Laguna del Carmen y Machona en donde el trazo del poliducto toca nueve microcuencas, denominadas: Pejelagartero 1ra. y 2da. Sección, Pejelagartero, Cuauhtémoc, Palo Mulato, Pico de Oro, Colegio de Posgrados Campus Tabasco, El Treinta y Cuatro, Naranjeño y Piloto Norte.

En la cercanía del km 103+500 se pasa a la cuenca del río Santona, de la misma cuenca hidrológica que la anterior, en donde se tocan cuatro microcuencas que son: Gregorio Méndez, Campo Cárdenas, Río Seco y Santa Teresa.

Siguiendo en la misma dirección, en el km 120+000 de la carretera federal No. 180 se pasa a la cuenca hidrológica Grijalva-Villahermosa, sobre una de sus subcuencas denominada río Cunduacán, la cual fue dividida en varias microcuencas pero el poliducto sólo pasa por dos, que son: Calzadas y el Bajío.

Cerca de El Castaño se entra a una segunda subcuenca denominada río Samaria en las que se tocan cuatro microcuencas que son: Miahuatlán, Habanero, El Barí y Cucuyulapa 1ra. Sección.

Aproximadamente en el km 140+200 de la carretera federal No. 180 se pasa a la subcuenca del río Carrizal, la cual la antigua SARH (1983) y Zavala (1988) dividieron en 29 microcuencas, de las cuales el poliducto toca 5 que son: Martín Corregidora, Plátano y Cacao, Cumuapa, González y Carrizal.

Principales ríos o arroyos cercanos.

Partiendo de las cuencas del río Coatzacoalcos hacia el oriente, se cruzan los siguientes ríos y arroyos permanentes: Coatzacoalcos, Chalapa Chapo, La Verónica, Santa María, Agua Dulcita, Tonalá, Blasillo, Samaria, Lechugal (Cunduacán) y Carrizal.

Las corrientes intermitentes solamente se pueden observar en la provincia de lomas del Mioceno, en donde se cuentan aproximadamente 15 que no llegan a tener nombre.

En el resto del área lo que se incrementa en la época de lluvias es un drenaje laminar, que se une al ya existente en forma capilar aguas abajo, el cual es afectado por las obras del hombre formando microcuencas, de las cuales el poliducto cruza 37.

Actividad para la que son aprovechados.

En orden de importancia, los recursos hidráulicos superficiales se aprovechan de la siguiente manera: pecuarios, agrícolas y domésticos, como medios de comunicación y recreativos.

En general, estos recursos son aprovechados parcialmente por el Distrito de Riego No. 91 Bajo río Grijalva, en plantaciones de caña de azúcar, arroz y maíz y otras actividades agrícolas de temporal, anual y cultivos semipermanentes.

De acuerdo con las cartas de uso de suelo y vegetación de INEGI (2001), el trazo del poliducto pasa en un 63% por terrenos dedicados a pastizales cultivados, actividades agrícolas de temporal 13.8%, selva alta perennifolia 9.3%, vegetación hidrófila 8.8% y actividades agrícolas de cultivo semipermanetes 4.8%.

Embalses y cuerpos de agua cercanos (lagos, presas, etc.).

Por tratarse de la provincia fisiográfica Planicie Costera del Golfo Sur, es normal que se tengan abundantes embalses y cuerpos de agua, pero también es notable que el trazo del poliducto no afecta a ninguno, es decir, fué trazado con la idea de no afectarlos. Sin embargo, se tienen 8 cuerpos de agua dentro de un rango de 7 km de distancia del poliducto, los cuales son: presas 1 y 2 de Pajaritos, laguna El Tigrillo, Laguna Palo Mulato, laguna El Potrero, laguna El Barí, laguna El Barreño, laguna Plátano y Cacao y laguna Buenavista.

La Tabla 1.8, indica la localización y distancia de los cuerpos de agua más cercanos al derecho de vía del poliducto de 12" D.N.

Tabla 1.8 Cuerpos de agua cercanos al DDV del poliducto de 12" D.N.

NOMBRE	LOCALIZACIÓN	DISTANCIA AL DDV (km)	ÁREA INUNDABLE (ha)
Presa Pajaritos	A 6.8 km al NW de Nuevo Teapa	6.8	620
Laguna Tigrillo	A 2.4 km al NE de Nuevo Teapa	2.4	27
Laguna Palo Mulato	A 0.6 km al NE del km 78 de la carretera federal No. 180	0.6	93
Laguna El Potrero	A 5.2 km al Sur, franco del km 80 de la carretera federal No. 180	5.2	326
Laguna Barí	A 1.4 km al Norte, franco del km 139	1.4	64
Laguna El Barreño	A 2.4 km al Sur, franco del km 152	2.4	93
Laguna Plátano y Cacao	A 1.8 km al Norte, franco del km 145	1.8	250
Laguna Buenavista	A 1.5 km al Sur, franco del km 159	1.5	28

Los siguientes tópicos describen de manera sintética la infraestructura del poliducto de 12" de diámetro Minatitlán-Villahernosa:

Vías de acceso.

Los municipios de Minatitlán, Ixhuatlán del Sureste, Moloacán y Agua Dulce, estado de Veracruz, así como también los municipios de Huimanguillo, Cárdenas,

Cunduacán y Centro, estado de Tabasco, disponen de una infraestructura de red de carreteras (principales, secundarias y caminos vecinales o rurales) que satisfacen la necesidad de transporte de la población residente a las comunidades y ciudades vecinas.

Teléfono.

Las localidades que se encuentran próximas al proyecto de investigación, disponen de teléfonos rurales, los cuales se encuentran ubicados en tiendas rurales o viviendas particulares, de tal forma que éstas brindan el servicio a los habitantes residentes y a zonas aledañas.

Telégrafo.

Las localidades próximas al derecho de vía del poliducto de 12", no cuentan con el servicio, sin embargo, para utilizarlo los habitantes residentes se trasladan a las cabeceras municipales o al sitio más cercano.

Correo.

Las localidades próximas al derecho de vía del poliducto de 12", no disponen de este servicio, de tal forma que se trasladan a las cabeceras municipales o a los sitios más cercanos para utilizarlos.

Medios de transporte.

Terrestres.

El transporte terrestre está cubierto por autobuses rurales que cubren rutas urbanas y suburbanas, con intervalos de una hora y media aproximadamente, y se hace a través de la carretera federal No. 180 y siguiendo por los caminos de terracería existente. Cabe señalar que las poblaciones mencionadas

anteriormente, se encuentran dispersas por la carretera federal No. 180 que comunica a Villahermosa con Coatzacoalcos, Ver. y otras ciudades.

Aéreos.

Las localidades próximas al proyecto no cuentan con este servicio, sin embargo, la cabecera municipal de Minatitlán, villa La Venta y la cabecera municipal de Paraíso, disponen de una pista de aterrizaje para aviones comerciales y de pasaje.

Marítimos.

El proyecto en estudio no dispone de transportes de este tipo, sin embargo, aproximadamente a una distancia de 15 km al Norte del derecho de vía del poliducto de 12" D.N. se encuentra el puerto de Coatzacoalcos.

Servicios públicos.

Agua (potable, tratada).

Las comunidades que se encuentran próximas al poliducto de 12" D.N., se abastecen de este vital líquido a través de pozos profundos, que están a cargo de la Comisión Estatal de Agua y Saneamiento (CEAS), para los municipios y localidades que pertenecen al estado de Veracruz. En cambio para el estado de Tabasco, la oficina que se encarga de proporcionar este servicio a las comunidades es el Servicio de Agua Potable y Alcantarillado del Estado de Tabasco (SAPAET).

Energéticos (combustibles).

Los combustibles utilizados en las comunidades son: keroseno, gas y gasolina, los cuales no están disponibles en el lugar. Sin embargo, estos energéticos son

adquiridos a través de compañías que se encargan de la distribución en los municipios y localidades aledañas.

Electricidad.

Este servicio es proporcionado a los municipios del estado de Veracruz y Tabasco por la Comisión Federal de Electricidad (CFE), de esta forma, las comunidades próximas al poliducto de 12" D.N. disponen de este servicio.

Canales de desagüe.

Las viviendas localizadas en las comunidades próximas al derecho de vía del poliducto de 12" D.N., tienen dirigidos los drenajes a cuerpos de agua próximos.

Tiradero a cielo abierto.

El municipio Centro Tab., tiene un área destinada para el depósito de la basura y se encuentra en los límites de la ciudad de Villahermosa. Sin embargo, el derecho de vía del poliducto de 12" D.N., en la T.R.D. Agencia de Ventas Villahermosa, se encuentra cercano a un tiradero a cielo abierto, aproximadamente a 2 kms al norte de la T.R.D. referida.

Basurero municipal.

Este servicio, se encuentra lejano al derecho de vía del poliducto de 12" D.N. El servicio de referencia está disponible en los límites de los municipios.

Relleno sanitario.

En el derecho de vía del poliducto de 12" D.N. no se encontraron rellenos sanitarios cercanos en toda su longitud.

Centros educativos.

Las comunidades que se encuentran paralelas al derecho de vía del poliducto de 12" D.N., disponen solamente del servicio de educación básica y medio básico. De tal forma que para continuar con los estudios medio superior y superior, se ven en la necesidad de acudir a la cabecera municipal, a las comunidades que cuentan con este servicio o la capital del estado.

Cabe señalar que aproximadamente a 100 m paralelo al derecho de vía del poliducto de 12" D.N., se encuentra la escuela primaria "Vicente Guerrero", perteneciente a la ranchería El Yegüero. De igual forma, la localidad de Nuevo Teapa, se localiza la escuela primaria "J. Jesús Ibarra" a una distancia aproximada de 25 m al Sur y el jardín de niños "Nuevo Teapa" a 25 m al Este. En igualdad de circunstancias en la ranchería San Miguel (Zapotal), se localiza la escuela primaria "Pedro C. Colorado" a 50 m al Oeste y el jardín de niños "Rosario Ma. Gutiérrez Esquildsen".

Centros de salud.

Las comunidades que se encuentran cercanas al derecho de vía del poliducto en estudio, disponen de centros de salud rural, los cuales están a cargo de la Secretaría de Salud y brindan atención médica a los habitantes residentes y zonas aledañas.

Actividades. Agricultura.

Las comunidades que se encuentran cercanas al derecho de vía del poliducto de 12" D.N., se dedican a esta actividad, siendo el producto obtenido principalmente de autoconsumo.

De temporal.

Este tipo de agricultura es practicada por la mayoría de los habitantes residentes en las comunidades cercanas al proyecto de investigación. Sobresaliendo los

cultivos de maíz, frijol, caña de azúcar, calabaza, piña, cacao y papaya, principalmente.

Ganadería.

La ganadería que se practica en las comunidades próximas al proyecto de investigación, es de tipo extensivo, sobresaliendo el ganado vacuno.

Pesca.

La pesca que se practica en las comunidades próximas al proyecto de investigación es tradicional y de autoconsumo, así como también en ocasiones es comercializado con los habitantes residentes y zonas aledañas.

Industriales.

Extractiva.

En las comunidades próximas al poliducto de 12" D.N., no se encuentra este tipo de actividad, sin embargo, en los municipios de Minatitlán, Ver. y en los municipios de Huimanguillo, Cárdenas, Cunduacán, Centro, Comalcalco y Paraíso, Tab., sobresale la industria extractiva de hidrocarburos que es una actividad propia de Pemex Exploración y Producción (P.E.P.).

Cabe señalar que próxima (300 m) al derecho de vía del poliducto de 12" D.N. se encuentra la industria MADISA y en las cercanías de la estación Nuevo Teapa, así también se encuentra (10 m) la industria SIRASA, que extrae arena sílica para la fabricación de vidrio. Adicionalmente, la industria RIGSA, que se encuentra a 20 m aproximadamente paralela al derecho de vía del poliducto de 12" D.N.

Manufacturera.

Este tipo de industria no se encuentra en las comunidades próximas al poliducto de 12" D.N.

De servicios.

Este tipo de industria no se encuentra en las comunidades próximas al poliducto de 12" D.N., sin embargo, se pueden localizar en las cabeceras municipales respectivas.

Tipo de economía.**Economía de autoconsumo.**

Este tipo de economía se encuentra en las comunidades cercanas al poliducto de 12" D.N., debido a que tienen como actividad principal la agricultura. Los cultivos producidos son destinados al consumo familiar y a la comercialización de los mismos con los habitantes residentes y de zonas aledañas.

Economía de mercado.

Este tipo de economía no es practicada en las comunidades próximas al poliducto de 12" D.N., sin embargo, en las cabeceras municipales se presenta este tipo de economía.

CAPÍTULO 2

LOS FACTORES DE RIESGO Y LA VULNERABILIDAD FÍSICA EN LOS DERECHOS DE VÍA DEL SISTEMA DE POLIDUCTOS; ESTADO DE TABASCO.

En general el riesgo en tuberías, técnicamente, es posible examinarlo desde dos puntos de vista. El primero, consiste en una identificación detallada de todos los eventos razonablemente posibles que puede llevar una tubería a la falla (cómo puede originarse ésta y cómo se presenta). El segundo, plantea un análisis de las consecuencias potenciales si una falla ocurriera (que se tratará más adelante en el capítulo 4). Cabe señalar que el primer punto de vista subraya las opciones de diseño, operación y mantenimiento que pueden cambiar la exposición del riesgo.

Es importante enfatizar que en México no existen disponibles oficialmente bases de datos de accidentes ocurridos en poliductos, ni una clasificación de los mismos de acuerdo a la magnitud y ocurrencia durante la operación de los poliductos. Esta información es fundamental para el desarrollo de los estudios de análisis de riesgos, representa la materia prima que será empleada para evaluar el riesgo en caso de una eventualidad en las instalaciones petroleras.

Derivado de lo anterior surge la necesidad de recurrir a fuentes de información disponibles internacionalmente para instalaciones similares por ejemplo las que se encuentran públicamente disponibles en el DOT (por sus siglas en Inglés), que es el Departamento de Transporte de los Estados Unidos, y tomarlas como punto de partida para establecer los alcances e identificación de los factores de riesgo en los sistemas de poliductos en México. Es así, que recurrimos a bibliografía específica para tuberías de transporte de hidrocarburos, que cubre el enfoque de los factores de riesgo asociados a la operación de poliductos de transporte de destilados de petróleo, el Pipeline Risk Management Manual (W. Kent Muhlbauer, 1996) permite identificar los factores de riesgo, estableciendo una clasificación de

los mismos a través de factores o índices que representan categorías típicas de fallas reportadas en accidentes de líneas de tubería. Definiéndose entonces, cuatro factores o índices, y estos son los siguientes:

- 1) Factor de daños por terceras partes
- 2) Factor de corrosión
- 3) Factor de operaciones incorrectas
- 4) Factor de diseño

Esto quiere decir, que cada factor refleja un área general para la cual, históricamente, los accidentes de tuberías han sido atribuidos a estos.

Otro aspecto fundamental, tiene que ver con las consecuencias potenciales de falla en una tubería, es decir: las características del producto, condiciones de operación de tuberías y localización de la misma (ver capítulo 3).

DEFINICIÓN DE LOS FACTORES DE RIESGO

Es muy importante establecer procedimientos para cuantificar los riesgos asociados a la operación de los poliductos de transporte de destilados de petróleo a través del empleo de las diversas técnicas existentes de evaluación del riesgo en ductos. Como ya se indicó, se recurrió al uso de la metodología de Kent Muhlbauer, que establece valores de calificación para los cuatro factores o índices de riesgo de poliductos en operación, y se describen a continuación:

1) FACTOR DE AFECTACIONES POR TERCERAS PARTES

Este factor de riesgo está directamente relacionado a aquellas afectaciones provocadas por terceros, es decir personas que están fuera de la organización del sistema de poliductos y que por negligencia o ignorancia ocasionan daños a la tubería, ya sea por golpe o cualquier otro daño mecánico a la misma. Entre los elementos a considerar para evitar este tipo de daños están los siguientes:

Distancia del ducto enterrado a la superficie. Representa el colchón de seguridad que implica el hecho de que un ducto este enterrado como protección contra daños por terceros. Se considera la distancia (profundidad de enterrado desde el nivel del suelo hasta el lomo de la tubería, dentro de la zanja) desde la superficie del terreno hasta donde se encuentra el ducto o altura del material sobre el ducto además del factor de revestimiento.

Nivel de actividad en el área. Las estadísticas del DOT (Departamento de Transporte de los Estados Unidos) para ductos indican que el 37% de los accidentes ocurrieron en zonas clasificadas como clase 1 y 2 (de acuerdo a la propia clasificación del DOT), de esta cifra se puede concluir que entre más poblada sea la zona, existe una mayor posibilidad de accidente.

Instalaciones a nivel de piso. Se refiere a los tramos de la sección del ducto en estudio que se encuentran a la intemperie, no enterrados o aéreos, puesto que se considera que un tramo no enterrado esta más expuesto a daños por terceros debido a que existe una mayor probabilidad de colisión de vehículos y vandalismo.

Sistema de comunicación para prevención de accidentes. Es en el que existe un número telefónico para que el público en general y en especial los contratistas excavadores se comuniquen y notifiquen su intención de excavar; esta información debe ser enviada al propietario del ducto que a su vez responderá esta llamada y marcará temporal y totalmente su ducto dentro del área de influencia de la excavación y finalmente dará seguimiento a dichos trabajos. Este sistema debe estar establecido por dos o más de los siguientes usuarios:

Propietarios de los ductos enterrados

Dependencias gubernamentales

Operadores de ductos

Programas de educación a la población. Estos juegan un papel muy importante, ya que reducen considerablemente los daños por terceros, debido a que las estadísticas indican (DOT), que una tercera parte de los daños producidos por terceros son accidentes no intencionados y básicamente por ignorancia. Esto se refiere no solamente a la existencia del ducto, sino también al peligro que representa la fuga de los materiales manejados.

Estado de los Derechos de Vía del Sistema del Ducto. Es la verificación e inspección de los derechos de vía (DDV's) del sistema del ducto. Si el ducto está claramente marcado será fácil de identificar y por lo tanto se reduce la posibilidad de daños por terceros, asimismo, facilita la detección de fugas.

Vigilancia. La vigilancia o patrullaje para el ducto es un excelente método para reducir los daños ocasionados por terceros. Esta vigilancia se hace necesaria cuando las actividades por terceros no son reportadas, y esto puede significar un gran potencial de accidentes. Con el patrullaje se minimizan estas amenazas y se puede detectar oportunamente equipo de excavación operando en las inmediaciones de los DDV's del sistema del ducto, asimismo nuevas construcciones de edificios, carreteras, vías férreas o alguna otra actividad que pudiera causar daños.

2) FACTOR DE CORROSIÓN

Este factor está comprendido por los efectos corrosivos de compuestos químicos e incluso físicos del medio ambiente, que ejercen sobre los materiales empleados en la fabricación de las tuberías de acero al carbón, así se presentan: la corrosión atmosférica, corrosión interna y corrosión externa. La corrosión es un proceso electroquímico en donde una estructura metálica está sujeta a una pérdida de metal causada por una descarga de corriente de la estructura al electrolito circundante. Muchas formas de corrosión son el resultado de un par galvánico activo que pueden presentarse debido a diversos factores físicos y del medio

circundante que pueden contribuir a crear pares galvánicos activos, entre ellos los siguientes:

Materiales diferentes.- Una diferencia de potencial entre dos metales que están en contacto tendrán como resultado un paso de corriente del metal menos noble (más activo o anódico) hacia el electrolito, dando como resultado la corrosión de dicho metal.

Suelos diferentes.- Si un poliducto atraviesa suelos de diferente composición química, se pueden establecer pares galvánicos entre el metal de un tipo de suelo y el mismo metal en un tipo diferente de suelo.

Diferencia de contenido de oxígeno.- Una superficie metálica enterrada/sumergida parcialmente en un área con alto contenido de oxígeno y otra parte en un área con poco contenido de oxígeno (vgr. suelo/agua), se corroe en el área con bajo contenido de oxígeno.

Material extraño en el relleno.- Las rocas, escoria, objetos metálicos, etc., contenidos en el relleno de las zanjas donde son alojados los ductos en los derechos de vía, pueden ocasionar pares galvánicos entre dicho material y las áreas adyacentes de la estructura metálica.

Bacteria anaeróbica.- Este tipo de bacteria, reductora de sulfatos, florece y prospera en aguas estancadas. También se les ha encontrado en puertos y bahías bajo las algas adheridas a las estructuras metálicas de los muelles.

Impurezas.- Las impurezas en el grano metálico de la estructura pueden causar pares galvánicos muy locales.

Diseño incorrecto de la protección catódica.- Un mal diseño puede dar como resultado daños de corriente parásita hacia otras estructuras vecinas. Por otro lado, la aplicación de una corriente de protección catódica excesiva puede tener

como resultado daños a la estructura (tubería) que se quiere proteger. En este punto se deberán atender las consideraciones relativas al diseño de este tipo de sistemas de acuerdo a la norma de Pemex No. NRF-047 Pemex-2002 “Protección Catódica”.

Corrosión Atmosférica

A continuación, se describe de manera general como se presenta la corrosión atmosférica en ductos de tubería de acero al carbón.

La corrosión atmosférica se presenta por la corrosión por exposición. Se determina el riesgo de corrosión atmosférica localizando las porciones del ducto que están expuestas a las condiciones atmosféricas más severas, y considerándose también las instalaciones que están a lo largo de este ducto (en el derecho de vía).

Elementos que contribuyen al efecto de la corrosión atmosférica:

Tipo de Atmósfera. Ciertas características de la atmósfera pueden propiciar o acelerar la corrosión del acero, las principales son: composición química, humedad y temperatura.

Calidad del Recubrimiento e Inspección. Se realiza un análisis de las medidas preventivas para minimizar el potencial de corrosión atmosférica. La forma más común de prevención de corrosión atmosférica es aislar el metal del medio ambiente con un recubrimiento. Se deberán atender las recomendaciones contenidas en la norma No. NRF-026 Pemex-2001 “Recubrimientos Anticorrosivos para Tuberías de Acero al Carbón”. Para que el potencial de corrosión atmosférica sea reducido depende de los siguientes factores:

Calidad del recubrimiento

Calidad de la aplicación del recubrimiento

Calidad del programa de inspección

Calidad del programa de corrección de defectos

Corrosión Interna

La corrosión interna está en función directa de las características corrosivas del fluido que está contenido en el poliducto, a continuación se indican los elementos principales que originan la corrosión interna. Deberá consultarse la norma No. NRF-005 Pemex-2000 "Inhibidores de Corrosión".

Impurezas corrosivas en el producto. Se manifiesta cuando el producto es inherentemente incompatible con el material del ducto, así como cuando rutinariamente pueden transportarse en el producto impurezas corrosivas.

Tipo de protección interna. A veces es económicamente ventajoso transportar sustancias corrosivas en ductos aun cuando los materiales de la pared de la tubería son vulnerables a la corrosión por la sustancia que transporta. En estos casos, es prudente tomar acciones para reducir o eliminar el daño mediante recubrimientos internos o inyección de inhibidores de corrosión.

Corrosión Externa

Existen muchos elementos que causan la corrosión externa, y a menos que se tomen medidas preventivas para evitarlas, las pérdidas pueden llegar a ser cuantiosas y en muchos casos representar un riesgo potencial para la seguridad del público o del personal involucrado en las instalaciones petroleras.

Como ejemplos de riesgos de seguridad, se pueden mencionar, entre otros, la posibilidad de incendios, explosiones y la contaminación del medio circundante, debido a las fugas causadas por la corrosión en tuberías (de acero al carbón) de transporte de productos destilados de petróleo. Por lo tanto se deberá tener

cuidado en el diseño, construcción, operación y mantenimiento de los siguientes aspectos:

Protección catódica. En general los ductos requieren de protección catódica, salvo algunas excepciones como pueden ser los ductos temporales o los que se colocan en suelos donde regularmente no se presenta la corrosión, el sistema de protección catódica debe operar adecuadamente. La inspección de los rectificadores deberá ser cada uno o dos meses de acuerdo a la norma “Diseño, Instalación y Mantenimiento de los Sistemas de Protección Catódica No. NRF-047-PEMEX-2002.

Condición de los recubrimientos. Se evalúa el revestimiento de acuerdo a ciertos parámetros, los cuales son:

Calidad del recubrimiento

Calidad de la aplicación del recubrimiento

Calidad del programa de inspección

Calidad del programa de reparación

Corrosividad por contacto con el tipo de suelo. La corrosividad del suelo es principalmente una medida de cuánto puede el suelo actuar como un electrolito para promover corrosión galvánica sobre el tubo. Además se consideran los elementos del suelo que puedan directa o indirectamente promover mecanismos de corrosión. En general la conductividad del suelo es dependiente de factores tales como el contenido de humedad, concentración de iones y componentes del suelo.

Antigüedad del ducto. Debido a que se tienen sistemas de ductos diseñados para un servicio de vida usualmente de 30 a 50 años. Estos deberán evaluarse dependiendo de los años de servicio que tenga el ducto.

Presencia de otros ductos. Un metal enterrado puede hacer interferencia con el sistema de protección catódica del ducto. Sin embargo en la ausencia de un

sistema de protección catódica otro metal puede establecer una celda galvánica de corrosión con el ducto lo cual ocasiona corrosión.

Interferencia por líneas de alta tensión. Los ductos cercanos a las instalaciones de transmisión de la fuente de corriente alterna (CA) están expuestas a riesgos. Las áreas donde la corriente entra o se va del ducto causan una pérdida severa en el metal como los arcos de carga eléctricos para o de la línea. El recubrimiento del ducto puede ser dañado por los efectos de la interferencia de CA.

Efectos de corrosión mecánica. Se caracteriza por un fenómeno de daño que consiste de un componente de corrosión y un componente mecánico. Este involucra la fractura producida por esfuerzos de hidrógeno (HSCC por sus siglas en Inglés), fractura por corrosión producida por esfuerzos de los sulfuros (SSCC por sus siglas en Inglés), rompimiento inducido por hidrógeno (HIC por sus siglas e Inglés), esfuerzo, medio ambiente y tipo de ducto.

Conductores de prueba. Una prueba de conducción mide el potencial del ducto al suelo. Tal medición indica el grado de protección catódica sobre el ducto puesto que está indicando la tendencia de la corriente a fluir, ambos en términos de magnitud y dirección (para la tubería o de la tubería).

Pruebas de intervalo cerrado. Estas consisten en la compensación de voltaje ducto-suelo, las lecturas son tomadas de 0.6 m. a 4.5 m. a lo largo del ducto. En este trayecto pueden detectarse interferencias o actividad de corrosión.

Instrumentos de inspección interna. Se utilizan los diablos instrumentados para inspeccionar el interior de un ducto y conocer el espesor de pared, además pueden también detectar en la pared del tubo rompimientos, laminaciones y otros defectos del material. En México, actualmente son contratadas empresas extranjeras que proveen este tipo de servicio, es recomendable, que al menos cada 5 años sean practicados estos estudios para determinar el grado de

integridad física que presentan las líneas de ductos más importantes en Pemex, que garantice la continuidad del servicio de manera eficaz, y bajo un riesgo operativo controlable.

3) FACTOR DE OPERACIONES INCORRECTAS

Este factor de riesgo está constituido por aquellas etapas o actividades que tienen que ver con el diseño, construcción, operación y mantenimiento de las instalaciones petroleras del sistema de poliductos. Durante la etapa del diseño deberán considerarse todos los aspectos que mantendrán en funcionamiento el sistema de acuerdo a las condiciones de trabajo tanto internas como externas a las que estarán sometidas las tuberías en servicio. Enseguida se describen estas etapas, para el diseño, construcción, operación y mantenimiento respectivamente:

Diseño

Este deberá ser adecuado a las condiciones particulares del proyecto y tomará en cuenta lo siguiente:

Identificación de riesgos. El analista identificará todos los riesgos creíbles asociados a la operación de las tuberías. El riesgo deberá ser claramente entendido así como la revisión de la documentación. Será necesario hacer la revisión de los escenarios.

Operaciones dentro del rango de la máxima presión de operación permitida (MAOP). Es importante conocer las condiciones de operación de la tubería, con el objeto de no exceder las condiciones de trabajo para la cual fueron diseñadas las tuberías.

Sistema de seguridad. El principal objetivo es reducir la posibilidad de fallas en los ductos debido a errores humanos. Los sistemas deberán ser diseñados para tratar de cubrir todas las situaciones anormales durante la operación del ducto.

Sistema de materiales. El analista deberá confirmar que los materiales tengan la identificación y especificación de acuerdo al diseño así como la documentación que lo certifique.

Revisión del diseño. El analista determina si los cálculos y criterios de diseño se verificaron en todos los puntos durante el diseño de proceso.

Construcción

Entre los principales aspectos a cuidar en la etapa de construcción, se encuentran las siguientes:

Inspección durante la construcción. La inspección de los materiales deberá estar de acuerdo a las especificaciones del diseño, así como a las presiones de prueba y las bitácoras de trabajo.

Revisión de las especificaciones de materiales. Todos los materiales y componentes deberán verificar su autenticidad de acuerdo a las especificaciones de construcción, además de, corroborar que todos los materiales sean instalados en el lugar correcto conforme al diseño y planos constructivos.

Revisión de uniones por soldaduras con rayos X, líquidos penetrantes, etc. La inspección al 100% de todas las uniones soldadas entre los carretes de tubería y demás accesorios del sistema de ductos.

Soportería. Se refiere al tipo de soportes y apoyos en todas las instalaciones superficiales del sistema de ductos, así como procedimientos usados que aseguren no dañar el recubrimiento de la tubería.

Manejo y almacenamiento de tubería y materiales. El manejo de grandes secciones de tubería así como su almacenamiento y traslado deberá ser realizado con técnicas adecuadas durante la construcción.

Aplicación de recubrimientos. Deberá ser supervisada e inspeccionada y/o reparada hasta la instalación final de la tubería, evitando puntos vulnerables a la corrosión por desprendimiento o carencia del recubrimiento del ducto.

Operación

Una adecuada filosofía de operación estará soportada por los siguientes lineamientos que eviten malos entendidos y que el personal adquiera la capacitación y entrenamiento necesarios para operar este tipo de instalaciones, entre las tareas que deberán cuidarse se encuentra las siguientes:

Procedimientos escritos. El analista se asegurará de la existencia de los procedimientos de operaciones específicas del sitio, y debidamente escritos. Estos procedimientos deberán ser normalmente usados, revisados y actualizados. Entre mayor uso se haga de los procedimientos operacionales menor será la posibilidad de incurrir en errores humanos.

Transmisión de datos operacionales por medio de un sistema tipo SCADA.

La principal contribución de contar con un sistema de transmisión de datos operacionales a lo largo de la tubería es disminuir los errores operacionales o humanos. Por lo tanto, es importante que principalmente ductos de grandes distancias cuenten con sistemas tipo SCADA (Control Supervisor y Adquisición de Datos) o Unidades Terminales Remotas (RTU) las cuales proporcionan información de la tubería así como comunicación por medio de líneas telefónicas, satélite, fibra óptica, ondas de radio o microondas.

Pruebas antidoping al personal. Se requieren programas de pruebas antidrogas a cierto tipo de empleados. El propósito es reducir los errores humanos durante la jornada de trabajo.

Programas de seguridad. Al disponer con programas de seguridad se disminuye el potencial de los errores humanos. Cada vez más compañías están de acuerdo en promover la seguridad en todos los aspectos operativos.

Inspección en las operaciones de rutina. Las inspecciones durante la operación de los ductos deberán ser consideradas con el objeto de reducir los riesgos. Tales inspecciones son: inspección a intervalo cerrado; estado del recubrimiento; cruzamientos; detección de deformaciones; densidad de población; profundidad del derecho de vía; inspecciones con sonar, etc.

Entrenamiento de personal. Este deberá ser visto como un primer punto para la reducción de accidentes y errores humanos. Involucra aspectos de equipos de protección, primeros auxilios, prevención de accidentes hasta respuesta a emergencias, éste será necesario para los diferentes trabajos y niveles de experiencia.

Sistemas de prevención por fallas mecánicas. Es importante contar con dispositivos de seguridad adicionales con el objeto de prevenir fallas mecánicas en los equipos y de esta manera reducir el riesgo.

Mantenimiento

Esta es una de las etapas más importantes para garantizar una operación continua sin interrupciones en el servicio. Entre los elementos más importantes que deben cuidarse se encuentran los siguientes:

Documentación. Deberán existir todos los documentos, programas y bases de datos para dar el mantenimiento adecuado a los equipos cuando se requiera, esto puede incluir sistemas computarizados. Un programa ideal deberá ser constantemente actualizado de acuerdo a las prácticas de mantenimiento.

Historiales de operaciones y mantenimiento. Se debe contar con historiales de mantenimiento basados en la operación así como en las regulaciones gubernamentales y prácticas aceptadas en la industria.

Procedimientos escritos. Los procedimientos escritos para las reparaciones y mantenimiento de rutina deberán estar disponibles para todo el personal. Estos deberán ser claros y accesibles.

4) FACTOR DE DISEÑO

El factor de diseño es el último de los cuatro en analizar, sin querer decir con ello que es el de menor importancia, por el contrario, un adecuado diseño establecerá bases sólidas y bien fundamentadas para que el proyecto opere en óptimas condiciones, durante su vida útil en servicio, entre los aspectos más relevantes se encuentran:

Factor de seguridad del ducto por espesor. La mayoría de los sistemas de ductos permiten espesores extras, ya que desde su fabricación cuentan con cierta holgura. Esto se debe a la disposición de espesores comerciales perfectamente especificados en los catálogos de los proveedores de tuberías de acero al carbón en todo el mundo. De tal suerte que por lo general se emplean espesores ligeramente mayores a los requeridos por diseño, pero que fundamentalmente se encuentran disponibles en el mercado. Otro aspecto importante, tiene que ver con la soldadura de costura y el área alrededor de ella, que son metalúrgicamente diferentes del acero inicial, éstas debilitan la pared del ducto al fusionarse por lo que el espesor mínimo de pared calculado debe ser incrementado para compensar su debilidad. Se agrega un porcentaje al espesor requerido para secciones que están sujetas a cargas adicionales.

Factor de seguridad del sistema por condiciones de operación. Es una medida rápida de cómo el sistema puede ser operado comparando la operación actual. Este factor nos indica si está operando adecuadamente el sistema. La relación que se utiliza es la presión de diseño/presión de operación máxima permisible (MAOP) por sus siglas en inglés. Cuando esta relación es igual a uno, significa que no hay factor de seguridad y el sistema está operando a su límite, si

la relación es menor que uno, el sistema puede fallar en cualquier momento debido a que hay un componente del sistema que no opera a la MAOP y si es mayor a uno está en condiciones de seguridad.

Falla del material por fatiga. Se define como la sucesión de eventos en los cuales el material es sometido a esfuerzos muy grandes y nuevamente liberado de manera periódica, dependiendo del sistema específico, esta puede ser causada por las condiciones de operación.

Golpe de ariete. Es el efecto de un potencial de sobrepresión o golpe de ariete. El mecanismo más común para que suceda un golpe de ariete es la conversión de energía cinemática en energía potencial como se da el caso cuando un fluido en movimiento es detenido abruptamente. El golpe de ariete es un fenómeno en el cual se produce una onda peligrosa la cual es definida cuando ésta es mayor del 10% de la MAOP del ducto. Una alta probabilidad existe cuando hay cierres de dispositivos o equipos y no se cuenta con preventores mecánicos para prevenirlos en el lugar. Se tiene baja probabilidad cuando estos golpes de ariete pueden suceder pero son prevenidos con dispositivos mecánicos como tanques de desfogue, válvulas de relevo, válvulas de seccionamiento, etc. Se considera imposible cuando las propiedades del fluido no pueden bajo ninguna circunstancia producir una presión de choque de magnitud mayor al 10% de la MAOP.

Prueba hidrostática al sistema. Es una prueba de presión en la cual el ducto es llenado con agua y presurizado a una determinada presión en un tiempo largo.

Movimiento del suelo. Los ductos pueden ser sujetos a esfuerzos debido a movimientos en el suelo. Estos movimientos pueden ser súbitos y considerables produciéndose en el ducto deformaciones en un espacio de tiempo.

Uno de los propósitos fundamentales de este capítulo, fue poder identificar los factores de riesgo, y centrar la atención en todas aquellas fallas que pueden presentarse en la tubería, equipos, instrumentos o accesorios que por sus

características sensibles o de cuidado son potencialmente riesgosas en caso de producirse una eventualidad.

Ahora bien, una vez identificados y clasificados todos los elementos que intervienen de manera directa e indirecta en la generación de fallas durante la operación y servicio de los sistemas de poliductos, podemos afirmar que, hemos considerado los aspectos específicos de posibles desviaciones que se originarían en cualquier momento durante el proceso, desde el punto de vista técnico. Entendiéndose este proceso desde las etapas de diseño, selección de los materiales, selección de la mejor ruta por la que va ir el ducto, construcción, inspección y prueba, certificación, inspección y mantenimiento, operación, seguridad y protección al medio ambiente, etc.

Otro propósito fundamental de este capítulo es mostrar como podemos evaluar teórica y conceptualmente la vulnerabilidad física del derecho de vía del poliducto de 12" D.N., que es nuestro caso de estudio, de acuerdo a nuestra propuesta metodológica y los siguientes aspectos:

La vulnerabilidad física en los derechos de vía del sistema del poliducto de 12" D.N. Minatitlán-Villahermosa

Dimensionar el riesgo operativo.

El riesgo operativo significa posibilidad de una eventualidad; es decir, la posibilidad que una anomalía o suceso peligroso se manifieste y que existe una predisposición o susceptibilidad en los elementos expuestos a ser afectados. Por lo tanto, reducir la vulnerabilidad o la amenaza significa reducir el riesgo; y reducir el riesgo significa reducir la posibilidad de futuros accidentes.

En el contexto de la industria de procesos químicos suceden cada año cientos de accidentes menores, a menudo sin trascienda al público general. Al costo total

material directo de los accidentes es necesario añadirle el debido a los consiguientes paros de producción y pérdidas materiales (materias primas y productos), también a los litigios de indemnizaciones por causa de daños a las personas o a la propiedad, así como las primas de los seguros. Otro costo adicional muy considerable es la pérdida de imagen y la publicidad negativa que sufre la empresa involucrada en el accidente. A la vista de lo anterior, no es de extrañar el creciente esfuerzo que la industria en general y la petrolera en particular dedican a la prevención de accidentes. La industria en los Estados Unidos de América redujo en una cuarta parte la probabilidad de accidentes con relación a la industria promedio norteamericana, National Safety Council. Accident Facts (2000).

Evidentemente, la gestión del riesgo operativo en el sistema de poliductos de Pemex-Refinación, involucra a diferentes actores del ámbito público (régimen fiscal, protección civil, cuerpos de policía, entre otros), del negocio (personal de Petróleos Mexicanos) y población en general.

La participación de estos actores, tiene que ver con: La identificación del riesgo (definición del contexto de los factores de riesgo, que se pueden presentar durante la operación del poliducto de 12" D.N. Minatitlán-Villahermosa), el control y reducción del riesgo (mediante la implementación de instrumentos de medición y dispositivos de seguridad), el adecuado manejo de la emergencia (procedimientos de respuesta a emergencias de Pemex y en su caso con la colaboración de otras instancias como: por ejemplo, Protección Civil de la localidad), y la evaluación del incidente presentado (que permita elaborar un diagnóstico de la emergencia para atacar y erradicar la o las causas raíz que la originó).

Ahora bien, la reducción del riesgo operativo en el sistema de poliductos instalados en el país y particularmente el de 12" D.N. Minatitlán-Villahermosa, conlleva a intervenir los factores que lo generan; para ello es fundamental

contextualizar todas las posibles fallas o anomalías que se presentan durante su vida útil, pero además atendiendo al historial de fallas y accidentes de Petróleos Mexicanos (Pemex), y también de bases de datos disponibles, por ejemplo, las de los Estados Unidos, en virtud de que en nuestro país se carece de este tipo de información oficialmente.

Es importante, precisar que psicólogos, sociólogos, historiadores y otros especialistas en el tema Hewitt (1995:334), Quarantelli (1995: 222-223), y White (1945: 2-10) entre otros, proponen una noción del riesgo, socialmente construida, “constructivista”, que se obtiene de la percepción individual, las representaciones sociales y la interacción entre diferentes actores sociales. En contraste ingenieros, geólogos, epidemiólogos, geógrafo y economistas adoptan, en general, un punto de vista que algunos de ellos consideran “realista” u “objetivo”, basándose en la hipótesis de que el riesgo se puede cuantificar o evaluar objetivamente.

Ante esta realidad, es necesario superar el antagonismo entre “objetivismo” y “constructivismo” y confiar más en métodos cualitativos como cuantitativos. La acción o decisión implícita que el concepto de riesgo tiene asociada, hace necesario precisar la relación entre la percepción subjetiva del riesgo y la obligatoriedad científica de su objetivización. Debido a la especialización científica la noción de riesgo ha tenido un carácter polisémico, por lo que se ha argumentado la necesidad de encontrar un lenguaje común y sea propuesta una teoría holística del riesgo. Conceptualmente y pragmáticamente es insatisfactorio dejar el asunto como una simple situación relativa y decir que subjetivamente cada persona define y asume el riesgo a su manera. Esta posición es totalmente inoperante cuando ineludiblemente se tiene que intervenir el riesgo desde el punto de vista de la política pública.

En entornos naturales caracterizados por agentes detonantes extremos, que bien pueden ser sucesos súbitos intensos o procesos de deterioro acelerados que

superan umbrales críticos, identificar y estimar el riesgo de los elementos expuestos y analizar su origen y evolución a lo largo del tiempo, permite priorizar el tipo de medidas para neutralizar o reducir dichos riesgos mediante acciones de intervención y planificación.

Citando a Calderón (2001: 55), una reflexión más profunda sobre “riesgo” también lleva a situarlo dentro de la connotación social que lleva implícita. Dice Hewitt, se acepta que “riesgo”, estrictamente hablando, se refiere al *potencial* de daño que existe solamente por la presencia de una comunidad humana *vulnerable* (Hewitt, 1983: 5). Pero, lo primero es considerar cómo las condiciones económicas-sociales, llevan a una sociedad determinada a crear espacios riesgosos

El poder estimar los efectos potenciales y/o pérdidas que pueden presentarse en el contexto social y material permite que dentro de los planes de desarrollo y los programas de inversión se puedan definir medidas que eviten o atenúen las consecuencias de los futuros accidentes en poliductos, o bien mediante la intervención de la ocurrencia del suceso potencial, en el caso de que esto sea posible, o modificando las condiciones que propician que los efectos del mismo se presenten.

Metodológicamente, la identificación y análisis de las amenazas de origen natural o antrópico y de la vulnerabilidad física, ambiental, social, económica, cultural, etc., constituyen una herramienta de diagnóstico que facilita clasificar los problemas y deficiencias de desarrollo y priorizar las acciones de carácter político, económico, social y ambiental que deben realizarse para lograr un desarrollo equilibrado.

Es importante reiterar que, el eje de análisis y el planteamiento de los factores de riesgo y la vulnerabilidad física en los derechos de vía del sistema de poliductos, y particularmente los del estado de Tabasco, tienen que ver precisamente con la

posición de la geografía física (geografía del riesgo-desastre) de manera fundamental para plantear la problemática y los ángulos desde los cuales son analizados los riesgos, y encontrar respuestas a los cuestionamientos, que deriven en posibles soluciones a través de la propuesta metodológica desarrollada en este trabajo de investigación para el análisis de riesgos asociados a la operación de los sistemas de poliductos de Pemex-Refinación.

Evaluación de la amenaza

La amenaza está relacionada con la posibilidad de que se desencadene un fenómeno o suceso físico de origen natural, de origen tecnológico o provocado por el hombre que pueda afectar a un sujeto o sistema en un sitio y durante un tiempo determinado, Cardona (1997). El concepto de amenaza implícitamente significa la estimación del potencial de ocurrencia del fenómeno que caracteriza la amenaza, lo que diferencia el fenómeno mismo de la amenaza que implica. Aunque es común que en la literatura de los desastres se haga mención al fenómeno como si fuera la amenaza misma, en rigor existe una diferencia fundamental que está relacionada con la factibilidad de que ocurra el evento y su grado de severidad. De hecho, el grado de amenaza está vinculado tanto con la intensidad del evento como con el lapso de tiempo en que se espera pueda ocurrir o manifestarse el fenómeno que caracteriza la amenaza. La inminencia de un evento severo es relativa a la ventana de tiempo que se utilice como referencia y por lo tanto de ello depende el nivel de amenaza que ofrece el fenómeno considerado a una comunidad o población expuesta.

Infortunadamente, debido a la complejidad de los sistemas físicos, en los cuales un gran número de variables puede condicionar el proceso de ocurrencia del fenómeno, la ciencia aún no cuenta con las técnicas que le permitan modelar con alta precisión dichos sistemas y por lo tanto los mecanismos generadores de las amenazas que estos fenómenos representan (para los casos de los fenómenos

naturales). Por esta razón, la evaluación de las amenazas, en la mayoría de los casos, se realiza combinando el análisis probabilista con el análisis del comportamiento físico de la fuente generadora, utilizando información de eventos que han ocurrido en el pasado y modelando con algún grado de aproximación los sistemas físicos involucrados.

En síntesis, para poder cuantificar la probabilidad de que se presente un evento de una u otra intensidad durante un período de exposición, es necesario contar con información, la más completa posible, acerca del número de eventos que han ocurrido en el pasado y acerca de la intensidad que tuvieron los mismos.

La amenaza sísmica, por ejemplo, para un sector de una ciudad podría expresarse en términos del valor de la probabilidad que durante un lapso, digamos de 100 años se pueda presentar un terremoto que genere una aceleración pico del suelo igual o superior, supongamos, al 30% de la aceleración de la gravedad (g). un valor de probabilidad cercano a uno (1.0) significaría que existe casi la certeza o una alta posibilidad de que durante el tiempo de exposición definido, 100 años en este caso, se presente un evento que genere una aceleración en ese sector de la ciudad igual o superior a la aceleración de referencia, 30% g . Por el contrario, si el valor se llegará a acercarse a cero (0.0), su interpretación sería que es muy poco posible que se presente un terremoto que genere en ese sector de la ciudad una aceleración de esa intensidad durante el período de exposición antes mencionado. El valor de la amenaza obtenido de esta manera permite tomar decisiones en términos, por ejemplo, de los requisitos sismorresistentes que deben cumplir las edificaciones en los diferentes sectores de la ciudad, las cuales deben construirse de acuerdo con las aceleraciones potenciales que probablemente tendrán que soportar durante su vida útil.

Entonces, es importante diferenciar la amenaza del suceso que la caracteriza, puesto que la amenaza significa la potencialidad de ocurrencia de un suceso con

cierto grado de severidad, mientras que el suceso en sí mismo representa al fenómeno en términos de sus características, su dimensión y ubicación geográfica. Igualmente, es importante diferenciar entre un “evento posible” y un “evento probable” puesto que el primero se refiere a un fenómeno que puede suceder o que es factible, mientras que el segundo se refiere a un fenómeno esperado debido a que existen razones o argumentos técnico-científicos para creer que ocurrirá o se verificará en un tiempo determinado. Estos conceptos están íntimamente relacionados con calificativos como “máximo posible” y “máximo probable” cuya diferenciación es básicamente la misma, Cardona (1997).

Por otra parte, es común en la literatura técnica (manuales de diseño de presas hidráulicas o portuarias por ejemplo) utilizar el concepto de “período de retorno” o intervalo de recurrencia de un suceso, que corresponde al tiempo promedio entre eventos con características similares en una región. Este es un concepto estadístico importante a tener en cuenta, dado que en ocasiones se tiene la idea equivocada que este intervalo es fijo.

En resumen, evaluar la amenaza es “pronosticar” la ocurrencia de un fenómeno con base en: el estudio de su mecanismo generador, el monitoreo del sistema perturbador o el registro de eventos en el tiempo. Un pronóstico puede ser a corto plazo, generalmente acotado en la búsqueda e interpretación de señales o eventos premonitorios; a mediano plazo, con fundamento en la información probabilística de parámetros indicadores de ocurrencia, y a largo plazo, basado en la determinación del suceso máximo probable en un período de tiempo que pueda relacionarse con la planificación del área potencialmente afectable. Este tipo de evaluación la realizan generalmente instituciones técnicas y científicas relacionadas con campos afines a la geofísica, la meteorología, la hidrología y los procesos tecnológicos. De acuerdo con estos estudios, que varían desde estimaciones generales hasta análisis detallados, usualmente se plasma en mapas la cuantificación de la amenaza. De esta manera, se realizan

“zonificaciones” en las cuales, mediante un procesos de determinación del peligro potencial en varios sitios se delimitan áreas homogéneas o zonas de amenaza constante. Este tipo de cartografía se le conoce como mapas de amenaza, los cuales son un insumo de fundamental importancia para la planificación física u ordenamiento territorial.

Podemos concluir, que la evaluación de la amenaza, en particular, es un insumo fundamental para el ordenamiento territorial o la planeación física, especialmente cuando se trata de determinar la aptitud ambiental de posibles zonas de expansión urbana o de localización de nueva infraestructura. Sin embargo, dicha evaluación es sólo una etapa para la determinación del riesgo; estimación que se requiere necesariamente para la definición y aplicación de medidas de mitigación, debidamente justificadas en términos sociales y económicos dentro de la planeación física y sectorial. Debido a que no existen criterios unificados para este tipo de evaluaciones, no es raro encontrar metodologías diversas, muchas de ellas altamente cualitativas o de alcance parcial. Por esta razón, por ejemplo, es más común encontrar estudios acerca de amenazas que estudios acerca de riesgos, o estudios de amenaza que no son consistentes con el nivel de resolución posible de aplicar en los análisis de vulnerabilidad. Situación que se presenta por la definición unilateral del alcance de los estudios por parte de profesionales de una sola disciplina como la geología, la sismología, la hidrología, etc.; sin tener en cuenta la participación de otros profesionales tales como ingenieros, sociólogos, economistas, planificadores, etc., que deben contribuir en la definición de los objetivos para los cuales se llevan a cabo los estudios. Muchos estudios de amenazas no contribuyen en forma significativa a la evaluación del riesgo, debido a que no permiten cuantificar realmente la factibilidad de ocurrencia del fenómeno. Un ejemplo de lo anterior son algunos mapas de amenaza volcánica o por deslizamientos, que más bien son mapas de zonificación de depósitos o de susceptibilidad relativa, debido a que no cuantifican en términos estocásticos la probabilidad de ocurrencia de un evento específico durante un período de

exposición determinado o debido a que la valoración de las variables consideradas es altamente subjetiva.

Análisis de riesgo

El análisis de riesgo y los conceptos de seguridad y confiabilidad, sin duda, han sido aportes notables de la ingeniería para el estudio de la probabilidad de falla de un sistema. Las técnicas de convolución probabilista, los árboles de falla y la modelización estocástica han sido utilizados para estudiar problemas complejos donde existe la interacción de múltiples componentes (en este trabajo de investigación, después de una revisión detallada de las técnicas disponibles, utilizamos, el Hazop, Árbol de fallas, Consecuencias entre otras para obtener los resultados que se presentan en los capítulos 3 y 4). Este tipo de enfoques sumados a los conceptos de fuentes, parámetros y modelos de incertidumbre, han contribuido al entendimiento del riesgo objetivo.

La palabra *riesgo* suele utilizarse para indicar la posibilidad de sufrir pérdidas Rodellar Lisa, A. (1988), o como una medida de pérdida económica o daño a las personas, expresada en función de la probabilidad del suceso y la magnitud de las consecuencias CCPS (1989). Corresponde en inglés al término *risk*. Por su parte, utilizamos la palabra *peligro (hazard)* para designar una condición física o química que puede causar daños a las personas, el medio ambiente o la propiedad (CCPS).

Muchos estudios de amenaza y peligros en general, se han podido realizar utilizando el análisis probabilista, lo que ha permitido respaldar estimaciones que de otra forma podrían calificarse como simples especulaciones o apreciaciones.

Antes de revisar aspectos como la evaluación de la vulnerabilidad y el riesgo mismo, es necesario hacer claridad acerca del uso de la palabra “riesgo”, la cual

en muchos casos se ha utilizado como sinónimo de “probabilidad”. Para ingenieros y expertos en estadística la palabra riesgo no es más que otra forma de referirse a la probabilidad de ocurrencia de un suceso. Por ejemplo, cuando se utiliza como “el riesgo (*i.e.* la probabilidad de ocurrencia) de tormenta es del 20%”. Pero para la mayoría de la gente el suceso tiene otro significado que causa preocupación: la posibilidad de daño o efectos adversos. Es decir, tiene más bien la connotación de “estar en riesgo” o sea de: consecuencias que es la manera como se interpreta desde el punto de vista de la industria del seguro. Es importante indicar que desde la perspectiva de los desastres es aun más amplio su significado, pues se le asocia además con las “implicaciones” de los daños, lo que hace que la lectura sea definitivamente más amplia que la que se tiene desde el punto de vista de la ingeniería. Podría decirse que existen niveles de análisis de riesgo: Primero, cuando se le asocia con la probabilidad de que sean alcanzados ciertos estados críticos (o límites); segundo, cuando en adición se estiman las consecuencias de que varios de los estados críticos sean alcanzados, con sus probabilidades asociadas; y tercero, cuando se analizan, también, los efectos o implicaciones dentro de un contexto aún más amplio, como la sociedad o un segmento de la misma.

En conclusión el análisis de riesgo dirigido al sistema de poliductos de Pemex, puede entenderse de manera general como el postulado de que el riesgo es el resultado de relacionar la amenaza o el peligro inducido (que puede estar representado por la ocurrencia de daños por terceras partes, es decir aquellas personas que están fuera de la organización de Pemex, y que por ignorancia o con dolo afectan la integridad y operación de los poliductos, por ejemplo: tomas clandestinas y los asentamientos humanos irregulares en los derechos de vía de poliductos o incluso por efectos naturales), y la vulnerabilidad de los elementos expuestos, con el fin de determinar los posibles efectos y consecuencias sociales, económicas y ambientales asociadas a uno o varios eventos peligrosos. Cambios

en uno o más de estos parámetros modifican el riesgo en sí mismo, es decir, el total de pérdidas esperadas y consecuencias en un área determinada.

Evaluación de la vulnerabilidad

Al realizar un análisis del riesgo de transporte de sustancias peligrosas (por ejemplo gasolinas) por ductos petroleros, el análisis histórico muestra (Accidentes de Pemex-Refinación) que los escenarios dominantes de accidente son los derivados de las tomas clandestinas y la corrosión. Otros posibles accidentes (golpes de terceros, invasión a los derechos de vía por asentamientos humanos irregulares, etc.) constituyen una fracción menor de la frecuencia de accidentes relativos al transporte por el sistema de poliductos, y *no* pueden subestimarse en gran parte de los escenarios para el análisis de riesgos, sin una justificación adecuada del problema en su conjunto.

Una vez definido el tipo de accidente, sus características propias y las circunstancias en que tiene lugar pueden hacer que los efectos finales en cuanto a vulnerabilidad de personas e instalaciones varíen en diferentes órdenes de magnitud. Entre los factores con mayor influencia están los siguientes, Santamaría y Braña (1994: 248-249):

-Localización: Es muy importante de cara a determinar quiénes son los potenciales receptores (qué personas o qué instalaciones) de los efectos del accidente. Entran en juego factores como la ubicación del accidente relativa a otras instalaciones diversas, personal en las proximidades, la cercanía de poblaciones externas, la cercanía de bienes externos como edificios, cultivos o vías públicas, etc.

-Condiciones meteorológicas: Temperatura, humedad, velocidad y dirección del viento, lluvia, etc., que puedan agravar o atenuar considerablemente los efectos del accidente.

- Hora: Parece claro que los efectos serán distintos de día o de noche, en horario de trabajo o de descanso. La distribución de la población en el exterior de las instalaciones también varía de manera importante a lo largo del día.
- Epoca del año: De gran influencia para determinar el grado de exposición de la población. Así, como también lo hace la densidad de población (por ejemplo, suele haber fuertes variaciones en períodos vacacionales).
- Cadenas de evolución: Posibilidad de que queden afectadas otras unidades, dando origen a efectos dominó que agraven las consecuencias del accidente.
- Otros factores: Entre los que cabe señalar la actuación de los sistemas de protección y de los servicios de emergencia, las comunicaciones, la capacidad de evacuación y el entrenamiento para emergencias de la población que pueda ser afectada, etc. Las acciones evasivas (evacuación, escape, refugio) tienen una gran importancia de cara a la reducción de los efectos finales en muchos tipos de accidentes.

La evaluación de la vulnerabilidad, en rigor, es un estudio de la capacidad de un elemento o sistema de resistir o absorber el impacto de un suceso que caracteriza una amenaza. Por lo tanto, se puede diferenciar del análisis de riesgo, desde el punto de vista de los desastres, en que este último se refiere a la estimación de pérdidas o consecuencias factibles de acuerdo con el grado de amenaza considerado y con el nivel de vulnerabilidad existente en los elementos expuestos. La evaluación de la vulnerabilidad desde el punto de vista físico se ha desarrollado notablemente. Su estudio se ha beneficiado directamente de los aportes conceptuales y del avance tecnológico de la ingeniería en diversos campos. El estudio analítico y experimental y la investigación de nuevos modelos y metodologías para la estimación de la posibilidad de fallo, por una parte, y la confiabilidad y seguridad de sistemas, por otra, ha contribuido significativamente al estudio de la vulnerabilidad, al menos, desde el punto de vista físico. Un ejemplo de este avance ha sido el desarrollo de técnicas, hoy ampliamente conocidas, para la estimación del daño que puede presentarse en un edificio, o en

un conjunto de edificios, o en una infraestructura, si ocurre un terremoto de una cierta severidad; evidentemente, también las podemos emplear para un sistema de poliductos, que es el caso que nos ocupa en esta investigación. Estos enfoques permiten estimar la vulnerabilidad física en los derechos de vía del sistema de poliductos, según sea la severidad del evento o características físicas de resistencia del sistema o del elemento sobre el cual incide.

En consecuencia, la evaluación de la vulnerabilidad es un proceso mediante el cual se determina el grado de susceptibilidad y predisposición al daño en un elemento o grupo de elementos expuestos ante una amenaza particular, contribuyendo al conocimiento del riesgo a través de interacciones de dichos elementos con el ambiente peligroso (Cardona 1997) y/o daños por terceras partes (tomas clandestinas mayormente, problemática muy recurrente, de acuerdo a los datos obtenidos en Pemex y otras instancias oficiales como PROFEPA, y que se presentan en los derechos de vía de poliductos). Los elementos expuestos, o en riesgo, son el contexto social y material representado por las personas y por los recursos y servicios que pueden ser afectados por la manifestación de un suceso (fuga y explosión de gasolina por toma clandestina en el poliducto de 12" D.N. Minatitlán-Villahermosa), en este tipo de instalaciones petroleras en el estado de Tabasco.

En resumen, la evaluación de la capacidad sismorresistente, por ejemplo, de un edificio o de obras civiles existentes, son casos ilustrativos de análisis de vulnerabilidad física. Lo es también la determinación del nivel de exposición de viviendas y de infraestructura y su capacidad para soportar una inundación. Por otra parte, la evaluación de las habilidades y de la capacidad de una comunidad para actuar correctamente ante la ocurrencia de una erupción volcánica, por ejemplo corresponde por analogía a un análisis de vulnerabilidad desde el punto de vista educativo (Cardona 1996/97). Igualmente, el análisis de la capacidad de reacción de personal de socorro y de la capacidad hospitalaria ante una demanda

masiva de servicios médicos correspondería a un análisis de vulnerabilidad institucional y funcional para atender un desastre (OPS 1993). Así, la vulnerabilidad, en términos generales, se ha clasificado desde el punto de vista de su evaluación, como de carácter técnico y de carácter social. La primera es factible de cuantificar en términos físicos y funcionales como, por ejemplo, en daños físicos potenciales o en posibles perjuicios por la interrupción de la operación de un servicio. La segunda, usualmente se puede valorar en términos de la falta de resiliencia, o capacidad de absorber el impacto. Su estimación puede ser cualitativa o relativa, debido a que está relacionada con aspectos económicos, educativos, culturales, etc., (Cardona 1997) que a menudo se puede evaluar mediante índices, o indicadores.

Es importante indicar que las evaluaciones de carácter técnico suelen ser vistas como ingenuas desde la perspectiva social, debido al enfoque científico reduccionista que le ha dado la ingeniería a este tipo de estimaciones. Sin embargo, dichas metodologías en muchos casos han demostrado su utilidad práctica, al menos en casos particulares.

Derivado de este análisis conceptual realizado, y en virtud de la necesidad que se tiene para evaluar el riesgo operativo en la industria de ductos de petróleo en nuestro país. Estamos ciertos, en proponer nuevas ideas que permitan ir conformando un nuevo valor conceptual de análisis, en el tema de los riesgos y vulnerabilidad a la que se encuentran sometidos los poliductos de Pemex-Refinación. Para ello diseñamos una matriz de efectos (Factores de riesgo que intervienen en la vulnerabilidad física en los derechos de vía de poliductos, ver Tabla 2.1) que pueden incidir en la operación de un sistema de poliductos, durante su vida útil. Cabe resaltar, que en esta propuesta, se plantean todos aquellos parámetros y eventos posibles de suceder, para este caso, la región del estado de Tabasco, es decir, en el diseño de la matriz, hemos considerado las características de clima, geología del sitio, actividad sísmica, eventos

meteorológicos, registros volcánicos y por supuesto los riesgos operativos que inciden en el (los) derecho (s) de vía.

Estos factores en primer término, tienen definido un cierto valor o puntaje, y que fue determinado de acuerdo a la probabilidad de ocurrencia en la región del estado de Tabasco, adicionalmente, también fueron tomados en cuenta los registros de accidente y fallas en los derechos de vía de la región, para una mejor estimación de los mismos.

De esta manera, tenemos para el factor de corrosión un valor de 30% de un total de 100% que es el máximo posible bajo este concepto de análisis, siempre y cuando se tengan cubiertos adecuadamente todos los elementos que la constituyen y debidamente documentados en los registros correspondientes dado el caso. Es importante, indicar que el factor de corrosión la conforma la corrosión externa e interna, con el 23% y 7% del valor respectivamente, para este factor.

Ahora, para el caso del factor de daños por terceras partes, hemos determinado un valor de 45%, en virtud del gran número de casos registrados en el reporte de accidentes de Pemex-Refinación, en donde las tomas clandestinas tienen una contribución absoluta. Definimos un valor del 45% atendiendo estas circunstancias.

Otro factor de riesgo, lo representan las operaciones incorrectas en la operación del sistema de poliductos, el valor determinado en esta caso es del 10%. Y es congruente, con los casos registrados estadísticamente.

Para el caso del factor de riesgo por diseño, determinamos un valor pequeño relativamente del 5%, que en igualdad de circunstancias, fue definido en términos de su probabilidad de ocurrencia, obtenido de los datos analizados.

Cubiertos los factores de riesgo, de tipo u origen operativo, incluimos también los riesgos de origen natural, mismos que determinamos un valor del 10% siguiendo la misma mecánica de análisis, y datos disponibles en los registros de accidentes de Pemex-Refinación.

Como podemos observar en la referida matriz (Tabla 2.1) los factores que intervienen en la vulnerabilidad física de los DDV's del sistema de poliductos están constituidos por efectos y elementos que de manera agrupada o de manera específica podrían detonar una eventualidad. Para correlacionarlos en cada uno de sus ámbitos, consideramos pertinente otorgarle una calificación que muestren de manera cuantitativa el grado de importancia que interviene en la presencia o no para cada uno de los factores considerados. De tal manera, que cada factor de riesgo esta definido por las sumas (cien puntos como calificación máxima) de los elementos en los casos de que se encuentren documentados y actualizados los registros de cada uno de estos temas en las áreas operativas correspondientes del poliducto analizado.

Cabe resaltar, que diseñamos un programa (base de datos) para evaluación de los factores de riesgo, qué permitirá al usuario poder evaluar la vulnerabilidad física en los derechos de vía, en virtud de que se tienen documentados registros de localización de pérdidas de espesor por efecto de corrosión, fugas, tomas clandestinas, cruces con ríos y poblaciones, obtenidos de los registros de corrida de diablo instrumentado de 1996, pero además, los radios de afectación de los escenarios hipotéticos de falla (mediante PHAST, ver en el anexo A).

Creemos que la evaluación de la vulnerabilidad física en los DDV's, será de tipo cualitativa y estará de acuerdo a la suma de los riesgos que se presenten en un determinado punto o kilometraje del poliducto. También será una herramienta de gran utilidad para determinar a *priori* posibles zonas con alta probabilidad de riesgo y en consecuencia tomar las precauciones pertinentes dado el caso.

Tabla 2.1 FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA VULNERABILIDAD FÍSICA DE LOS DERECHOS DE VÍA DEL SISTEMA DEL POLIDUCTO DE 12" DE DIÁMETRO NOMINAL CON ORIGEN EN LA REFINERÍA DE MINATITLÁN VER., Y DESTINO A LA TERMINAL DE ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN DE DESTILADOS DE PETRÓLEO EN LA CIUDAD DE VILLAHERMOSA TAB.

CORROSIÓN (30%)		TERCERAS PARTES (45%)	OPERACIONES INCORRECTAS (10%)	DISEÑO (5%)	EFFECTOS NATURALES (10%)
Externa (23%)	Interna (7%)				
<p><u>CONDICIONES DE OPERACIÓN (100 puntos)</u></p> <p>Cloruro de hidrógeno. 25 puntos Contenido de agua. 10 puntos Humedad. 25 puntos Contenido de azufre. 20 puntos Humedad. 10 puntos pH . 10 puntos Materiales químicos. 10 puntos Temperatura. 20 puntos Agua salada. 10 puntos Otros elementos corrosivos. 15 puntos</p> <p>Resistencia. 5 puntos Tipo de producto transportado. 5 puntos Tipo (alta, baja). 5 puntos Inhibidor de corrosión. 15 puntos Presencia de sólidos en flujo. 5 puntos</p>		<p><u>1.- CONDICIONES DE OPERACIÓN (100 puntos)</u></p> <p>Densidad y actividad humana (urbana). 20 puntos Actividad agrícola. 20 puntos Sistema de respuesta a emergencias. 5 puntos Frecuencia del celaje. 5 puntos Programas de educación a la población. 5 puntos Profundidad de enterrado del ducto. 5 puntos % del ducto expuesto a la superficie. 5 puntos Registro de tomas clandestinas y fugas. 15 puntos Invasiones a los DDV's. 15 puntos Otros ductos en la misma franja. 5 puntos</p>	<p><u>1.- CONDICIONES DE OPERACIÓN (100 puntos)</u></p> <p>Programa de capacitación y entrenamiento a empleados. 30 puntos Implementación de procedimientos operativos. 25 puntos Implementación de programas de seguridad. 15 puntos Implementación de programas de salud e higiene. 15 puntos Evaluación y selección del personal. 15 puntos</p>	<p><u>1.- CONDICIONES DE OPERACIÓN (100 puntos)</u></p> <p>Tipo de suelo. 10 puntos Topografía. 10 puntos Clase de localización. 20 puntos Factor de seguridad del ducto por espesor del tubo. 10 puntos Factor de seguridad del sistema por condiciones de operación. 10 puntos Golpe de ariete. 15 puntos Prueba hidrostática al sistema. 15 puntos Movimiento del suelo. 10 puntos</p>	<p><u>1.- CONDICIONES DE OPERACIÓN (100 puntos)</u></p> <p>Tipo de suelo. 25 puntos Cruzamientos. 20 puntos Actividad sísmica. 15 puntos Hundimientos, deslaves o erosión. 10 puntos Áreas de inundación. 20 puntos Deslizamientos probables del terreno. 10 puntos</p>

Estimación del riesgo

El riesgo, como ya se indicó, se obtiene a partir de relacionar la amenaza (peligros o los factores que lo generan), o probabilidad de ocurrencia de un fenómeno o peligro inducido (por ejemplo el robo de gasolineras en poliductos de Pemex-Refinación, a través de las tomas clandestinas) de una intensidad y características determinadas, con la vulnerabilidad de los elementos expuestos. Desde el punto de vista físico, el “riesgo operativo” en ductos de transporte de destilados de petróleo (poliductos), es la pérdida esperada en un período de tiempo. Usualmente, el riesgo operativo se representa en términos de pérdida de vidas, lesionados, contaminación ambiental y pérdidas económicas por el paro en el suministro de productos.

Ahora bien, debido a la dificultad que significa estimar el “riesgo operativo total”, o sea la cuantificación acumulativa del “riesgo operativo específico” de cada uno de los elementos expuestos y para cada una de las amenazas o factores que lo genera, es común que se acepta la evaluación de un riesgo operativo específico como el representativo de una problemática común y también para una región. Por ejemplo: el riesgo por inundación para una cosecha, el riesgo sísmico para un grupo de edificios, el riesgo por efecto de la corrosión en el sistema de ductos de Petróleos Mexicanos (Pemex), etc.

Ha sido común que el riesgo sea valorado solamente en términos físicos, dado que la vulnerabilidad social es difícil de evaluar en términos cuantitativos. Esto no significa que no sea factible analizar la vulnerabilidad en forma relativa o mediante indicadores, índices o factores, lo que permite proponer “riesgos relativos”, que igualmente permiten la toma de decisiones y la definición de prioridades de prevención y mitigación. Estos factores de riesgo, en principio, pueden formularse en términos de cargas y resistencias (demanda y capacidad) como se hace desde el punto de vista físico en la práctica de la ingeniería. En términos del tipo de instalaciones que estamos analizando, podemos decir que: en un sistema de

poliductos, la resistencia describe la capacidad del sistema afectado para soportar las condiciones de operación al que se encuentra sujeto (presión interna, temperatura, características del fluido entre otros). Dicha resistencia o capacidad está en función de diversos aspectos tanto técnicos como no técnicos. Los técnicos, están relacionados con el grado de protección que ofrecen medidas y equipos de seguridad del poliducto, por ejemplo el sistema de protección catódica, inyección de inhibidores de corrosión, sistema de alarmas, etc. Los no técnicos, incluyen, por ejemplo, la inducción y conocimiento a través de pláticas a la población por personal de Pemex y Protección Civil, en los temas que tienen que ver con el tipo de riesgo inherente que podría presentarse en las instalaciones petroleras, evidentemente el compromiso de la población involucrada, está en función directa con las capacidades económicas de la comunidad, la habilidad de la población de auto-apoyarse, la estructura social y su organización, entre otros.

Cuando un suceso intenso se presenta, la carga y resistencia se confrontan. Si la resistencia es mayor que la carga, los efectos del fenómeno son disipados y no se presenta el daño. Si la resistencia es menor, se presenta un fallo; hay emergencia. Un análisis de este tipo de situación puede hacerse en el mismo momento en que se presenta el evento, lo que permitiría explicar analíticamente a *posteriori* sus efectos. Pero con propósitos de planeación es posible hacer este análisis para eventos que se pueden presentar en el futuro, lo que significa que es necesario pronosticar la carga (su severidad y tiempo de influencia) y la capacidad o resistencia en ese momento futuro. Es este el análisis de riesgo: la determinación anticipada de fallo o no fallo, con fines de planificación y la definición de medidas de protección.

Desde el punto de vista de la gestión del riesgo, el término de resistencia corresponde a un nivel de capacidad o, dicho de una manera inversa, a un grado de vulnerabilidad crítica, y el término carga corresponde a la acción del fenómeno o evento que representa la amenaza. La vulnerabilidad crítica es igual a la carga

que una instalación de poliductos puede soportar antes de recurrir a un apoyo externo. El desastre o emergencia se presenta cuando la amenaza (la carga) supera la vulnerabilidad crítica. Esta heurística de la ingeniería es poderosa e ilustra que el riesgo podría expresarse en parámetros numéricos unidimensionales, lo que facilita, por ejemplo, el diseñar índices, indicadores o factores como ya se mencionó.

En síntesis, para realizar un análisis de riesgo se deben seguir tres pasos: estimar la amenaza o peligro, evaluar la vulnerabilidad y llevar a cabo la estimación del riesgo como resultado de relacionar los dos parámetros anteriores. Cambios en uno o los dos parámetros modifican el riesgo en sí mismo.

Entonces, una vez valorado el riesgo y teniendo en cuenta que no es posible reducirlo en sus totalidad, para efectos de planificación, protección y diseño de obras de infraestructura a sido común que se defina un nivel de “riesgo aceptable”. El riesgo aceptable, en general, son las posibles consecuencias sociales, económicas y ambientales que, implícita o explícitamente, una sociedad o un segmento de la misma asume o tolera, por considerar que son poco factibles y, usualmente, a cambio de un beneficio inmediato. Desde el punto de vista técnico corresponde a un valor de probabilidad de unas consecuencias dentro de un período de tiempo, que se considera admisible para determinar las mínimas exigencias o requisitos de seguridad, con fines de protección y planificación ante posibles fenómenos y eventos peligrosos.

Kletz (1992) distingue entre riesgo “aceptable” y “tolerable”, indicando que un riesgo que es tolerable podría no ser aceptable. Un riesgo puede ser tolerable cuando el beneficio de convivir con él parece que excede el perjuicio que representa o porque existe la confianza de que puede ser controlado apropiadamente. Tolerar un riesgo no significa que éste sea despreciable o que se pueda ignorar, sino más bien que es algo que se debe revisar permanentemente, y se debe reducir en la medida de las posibilidades. Para

evitar confusiones en la terminología, en general, se asume que la definición de riesgo aceptable incluye la definición de riesgo tolerable, es decir que un riesgo aceptable también es tolerable. Es importante subrayar que una “evaluación” o estimación del riesgo tiene implícito que el análisis del mismo se realiza teniendo como referente un criterio de aceptabilidad, es decir tiene implícito que el análisis se realiza cotejando sus resultados con respecto a un valor definido. Bajo estas consideraciones, un análisis de riesgo se realiza solamente si se percibe que existe la necesidad de hacerlo.

Al igual que la amenaza o peligro (grados de afectación), el riesgo también puede plasmarse en mapas. Estos mapas pueden ser, dependiendo de la naturaleza de la amenaza o peligro, probabilista o deterministas. En este último caso, los mapas de riesgo representan un “escenario”, o sea la distribución espacial de los efectos potenciales que puede causar un suceso de una intensidad definida sobre un área geográfica, de acuerdo con el grado de vulnerabilidad de los elementos que componen el medio expuesto. Estos mapas, no sólo son de fundamental importancia para la planificación de la intervención de la amenaza (peligro) o la vulnerabilidad, sino también para la elaboración de los planes de contingencias que los organismos operativos de respuesta deben realizar durante la etapa de preparativos para emergencias.

Es importante observar que un plan operativo elaborado con base en un mapa de riesgo puede ser mucho más eficiente que si se realiza sin conocer dicho escenario, dado que un mapa de riesgo permite definir procedimientos de respuesta más precisos para atender a la población en caso de desastre.

Probabilidad e incertidumbre

Evaluar pérdidas futuras es algo incierto, razón por la cual ha sido usual que se recurra a alguna técnica probabilista para la realización de un estudio de esta

naturaleza. Los riesgos generalmente se expresan en pérdidas de dinero o de vidas por año, sin embargo debido a que estos sucesos de gran intensidad son hechos muy raros, las pérdidas para este tipo de sucesos, tan poco frecuentes, pueden no dar una imagen representativa de las grandes pérdidas que podrían estar asociadas a los mismos. Kletz (1992) argumenta que este tipo de situación pone en entredicho el análisis de riesgo, porque en esos casos el riesgo es el producto de un número muy grande -las consecuencias- por un número muy pequeño -la probabilidad-. Sin embargo no hay que dejar de tener presente que lo que realmente importa es cómo utilizar la información obtenida para la toma de decisiones. De ahí la importancia de pensar en el impacto potencial de las consecuencias. Esta dificultad algunos la resuelven determinando para un límite de pérdida la probabilidad de que éste sea igualado o sobrepasado. Un ejemplo puede ser la probabilidad de que el coste de los daños y reparaciones en un sitio sobrepase una cifra, digamos de un millón de dólares como consecuencia de por lo menos un suceso en los próximos cincuenta años. Este límite también podría también expresarse en términos de víctimas humanas o de fallos en el sistema de polductos o de impacto social en general

De lo anterior se desprende que el concepto de riesgo “objetivo” propuesto relacionado Kletz (1992) con enfoques basados en técnicas de probabilidad y confiabilidad, para diferenciarlo del riesgo “percibido” o subjetivo, debe dársele un debido valor sin dejar de reconocer sus limitaciones. Para algunos la distinción entre riesgo objetivo y subjetivo no es afortunada. Incluso, consideran que algunas de estas técnicas que se consideran como objetivas pueden no ser realistas y significativas, aunque por su elegancia pueden dar la impresión de autoridad y precisión. La estimación probabilista, en cualquier caso, podría ser incompleta y la naturaleza del riesgo es muy compleja, lo que hace que dependa de factores que de alguna manera son fáciles de cuantificar. El argumento de que los resultados del análisis de riesgo objetivo son “racionales” es simplista e irreal. La mayoría de los parámetros que se consideran objetivos son en realidad subjetivos en algún

grado. El presumir de objetividad denigrando de alguna manera la subjetividad es innecesario, más la subjetividad *per se* no debe ser motivo de objeción. Además desconocer la subjetividad en el análisis de riesgo desde el punto de vista técnico es potencialmente peligroso. La crítica principal a este tipo de visión del riesgo se debe a que el esfuerzo se concentra en valorar aspectos cuantificables, en muchas ocasiones se pierde la atención sobre consideraciones igualmente importantes como la posible intervención de los procesos generadores del riesgo - y sus cambios sociales asociados- o la distribución de costos, perjuicios y beneficios de manera equitativa entre otras.

Relación coste y beneficio

Una metodología ampliamente utilizada en los países desarrollados para la determinación indirecta del nivel de riesgo y reiterativamente planteada en muchos artículos técnicos es el análisis de coste y beneficio, en el cual se relaciona la inversión en seguridad con el potencial daño de las infraestructuras y el peligro para la vida. En áreas altamente propensas, en donde ocurren con frecuencias sucesos de dimensiones moderadas, cualquier aumento en los costes de prevención-mitigación se verá compensado por la reducción en los costes de los daños que se presenten. Sin embargo, en áreas menos propensas o que no involucran grandes inversiones económicas amenazadas, los requisitos de reducción de riesgos se pueden justificar sólo en términos de seguridad para la vida, pues los ahorros esperados en daños por sucesos que ocurren con muy poca frecuencia no son lo suficientemente cuantiosos para justificar un aumento en los costes de la prevención-mitigación. Esta circunstancia ocurre particularmente en los países pobres, donde el análisis de coste y beneficio en términos económicos no es una buena metodología para argumentar las bondades de la prevención-mitigación. En estos casos el costo social debe ser el que orienta la toma de decisiones.

Aunque parezca ilógico, pero tal vez entendible, a la sociedad parece que le causa más preocupación un evento “desastroso” que afecte muchas personas que una serie de sucesos menores que acumulativamente causen daños a un número similar de personas. A esto se le conoce como “aversión al riesgo”, en otras palabras, riesgos que resultan de la frecuente ocurrencia de un número menor de fatalidades tienden a generar menos aversión que hechos poco frecuentes pero con grandes impactos; aunque la suma de las fatalidades de ambas causas sea comparable. De lo anterior se ha podido concluir que la percepción del riesgo no es lineal o simplemente existen otros valores que son muy importantes para la sociedad, tales como los costes ecológicos y los costes económicos directos e indirectos relacionados con el suceso. Para el público en general no es desconocido que el número de muertes causadas por accidentes de tránsito supera ampliamente el causado, por terremotos, erupciones volcánicas u otros fenómenos similares. En países desarrollados, en donde existe una alta resiliencia, o capacidad de recuperación y de respuesta de las comunidades, los sucesos menores o moderados frecuentemente no causan el mismo efecto que el los países en desarrollo, donde la resiliencia es muy baja. La continua manifestación de sucesos menores o moderados en estos países debilita paulatinamente las comunidades agrava sus condiciones de desarrollo y seguridad; esto implica un necesario cambio en el enfoque del problema dependiendo del contexto.

Se sabe que la aplicación de medidas preventivas no garantiza una seguridad del 100% de que no se produzcan consecuencias, razón por la cual el riesgo no puede eliminarse totalmente. Su valor, por pequeño que este sea, nunca será nulo, por lo que siempre existe un límite hasta el cual se considera que un riesgo es controlable y a partir del cual no se justifica económica o socialmente aplicar medidas preventivas. A todo valor que supere dicho límite se le cataloga como riesgo incontrolable. Por ejemplo, las obras de ingeniería que se realizan para impedir o controlar ciertos fenómenos, siempre han sido diseñadas para soportar

como máximo un suceso cuya probabilidad de ocurrencia se considera lo suficientemente baja, para que la obra pueda ser efectiva en la gran mayoría de los casos, es decir, para los sucesos más frecuentes. Lo que significa que se admite que puedan ocurrir sucesos poco probables que podrían no ser controlados y para los que resultaría injustificado realizar inversiones mayores.

A partir de estos enfoques, las decisiones se adoptan mediante procesos administrativos y judiciales. Al proponer y sancionar leyes, los cuerpos legislativos han demostrado cada vez mayor interés en los estudios técnicos como es el caso de los códigos de construcción que tienen implícito o explícito un nivel de seguridad. Sin embargo, en general estos cuerpos legislativos ponen de manifiesto que no desean verse obligados a tomar decisiones a partir de los resultados de dichos estudios; esto es comprensible, puesto que cualquier administrador o legislador duda en respaldar explícitamente como aceptable cualquier riesgo que no sea cero. En última instancia, los legisladores y administradores se guían por sus propias perspectivas y, en el mejor de los casos, por los deseos de la sociedad.

CAPÍTULO 3

DETERMINACIÓN DE LA PROBABILIDAD DE FALLA A PARTIR DE DATOS HISTÓRICOS DE ACCIDENTES OCURRIDOS EN DUCTOS

3.1. Antecedentes de la Accidentabilidad en Ductos de Transporte

Una de las demandas del desarrollo económico de toda nación es la prestación de servicios en el transporte de hidrocarburos y sus destilados y que esta se realice de manera oportuna, confiable, con un riesgo controlado, sin afectación a terceros y al medio ambiente entre otros aspectos. Se deben tomar todas las precauciones y medidas de seguridad, para evitar una posible eventualidad con repercusiones desastrosas de pérdidas humanas, infraestructura y daño al entorno (NFR-030-PEMEX-2003 “Diseño, construcción, inspección y mantenimiento de ductos terrestres para transporte y recolección de hidrocarburos”).

El transporte de energéticos (crudo, gasolinas, diesel, combustóleo, LPG y gas natural etc.), considerados como materiales peligrosos, según la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (2003), se realiza por diferentes medios, el más confiable y ampliamente usado es mediante los *ductos* (que son grandes longitudes de tubería de acero al carbón y pueden ser de diversos diámetros y atravesar diferentes clases de suelo ya sea enterradas, superficiales o en cruces aéreos). Tomando en cuenta que su manejo se realiza a ciertas condiciones operativas de presión y temperatura, se deben evaluar los riesgos que esto representa para su transporte seguro.

Para ello utilizaremos en el texto algunos conceptos tales como incidente, accidente y accidente mayor y a continuación se definen:

Incidente: Es todo evento no deseado e inesperado que altera la actividad productiva de un Centro de Trabajo, con o sin daño físico a las instalaciones, personal, terceras partes o al medio ambiente. El término incidente implica en su

más amplio sentido, a los accidentes y “cuasi accidentes”, es decir aquellos eventos que no causaron daño material, pero potencialmente representaron un peligro y estuvieron cerca de provocarlo (Santamaría y Braña 1994: 2-5).

Accidente: Es un suceso inesperado que afecta la secuencia del trabajo y del que pueden resultar lesiones, enfermedad, incapacidad temporal y/o permanente a los trabajadores, daños al centro de trabajo, bienes de terceros e inclusive al medio ambiente (Santamaría y Braña 1994: 2).

Accidente mayor: Es la liberación incontrolada de materiales/energía que tiene consecuencias graves para la población y el medio ambiente (Santamaría y Braña 1994: 3, 6).

3.2. Tendencias de la accidentabilidad en Ductos

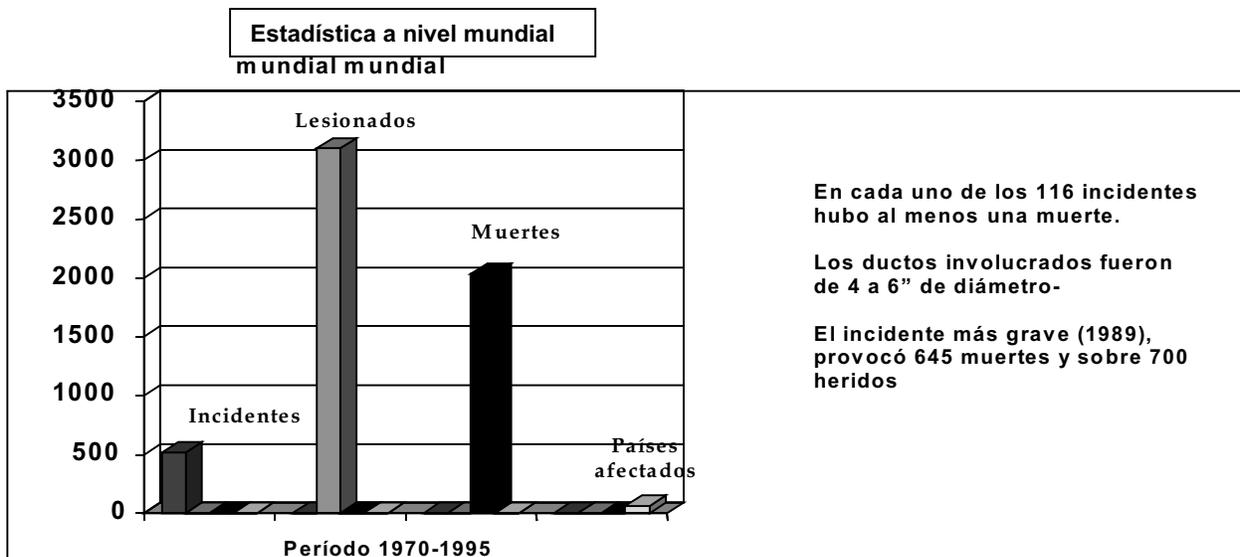
La longitud de los Ductos de transporte de hidrocarburos y productos petroquímicos a nivel mundial está aumentando constantemente, actualmente existe más de 1 millón de kilómetros de tuberías instaladas, cantidad que se incrementa anualmente de 40,000 a 50,000 km para tuberías de transporte, es decir no destinadas a distribución. Por ejemplo, si consideramos la industria de transporte de gas natural en Europa, la cual cuenta con más de 180,000 km de tubería para más de 70 millones de clientes para uso doméstico, comercial e industrial según la Agencia de Seguridad de Inglaterra, 2000, adicionalmente, existe suficiente tubería de distribución de gas a clientes para circular la tierra alrededor de 10 veces. Podemos imaginar el número de accidentes que podrían suceder, si no son tomadas las acciones correspondientes para evitarlas, en la justa medida de la cantidad de kilómetros de ductos tendidos y que están operando con los riesgos inherentes que se describieron en el capítulo 2.

3.3. Accidentabilidad mundial en ductos de transporte

Es difícil presentar una visión mundial de accidentes e incidentes registrados en ductos, ya que en ello intervienen muchas variables, como son; disparidad en los métodos de reporte, normatividad en tuberías, condiciones locales, personal operativo calificado, vigilancia, regulación efectiva del uso del suelo.

De acuerdo a una investigación realizada por la Agencia de Seguridad en Inglaterra, se presenta en la Figura 3.1. Los accidentes más trascendentes identificados en ductos construidos, durante el periodo 1970-1995:

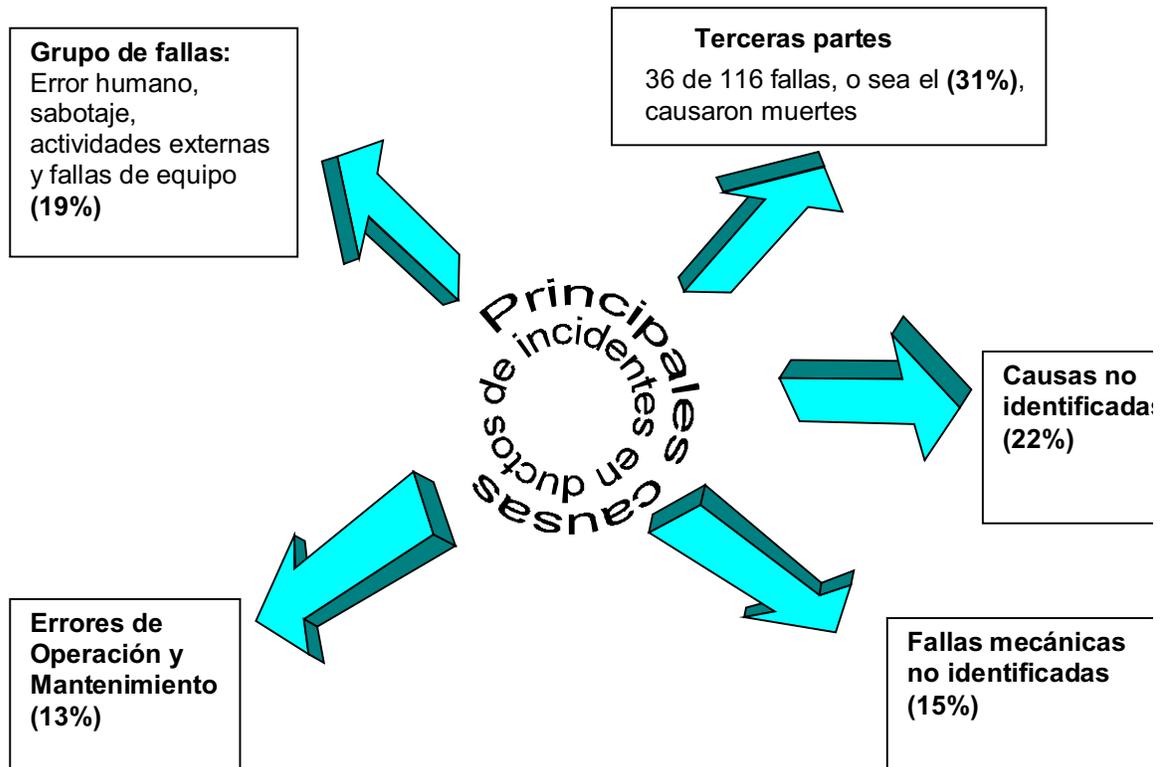
Figura 3.1. Accidentes registrados en ductos a nivel mundial durante el periodo 1970-1995 (Agencia de Seguridad de Inglaterra. 2000).



Cabe aclarar que el 53% de los incidentes reportados se suscitaron en ductos de gas natural, 18% con LPG/NGL, 17% con crudo y 7% con gasolina.

También esta agencia de seguridad de Inglaterra, determinó los tipos de fallas más comunes que se presentaron en ese mismo periodo de tiempo encontrando los porcentajes que se ilustran en la Figura 3.2.

Figura 3.2. Tipos de falla más frecuente en ductos a nivel mundial durante los últimos 25 años (Agencia de Seguridad de Inglaterra. 2000).



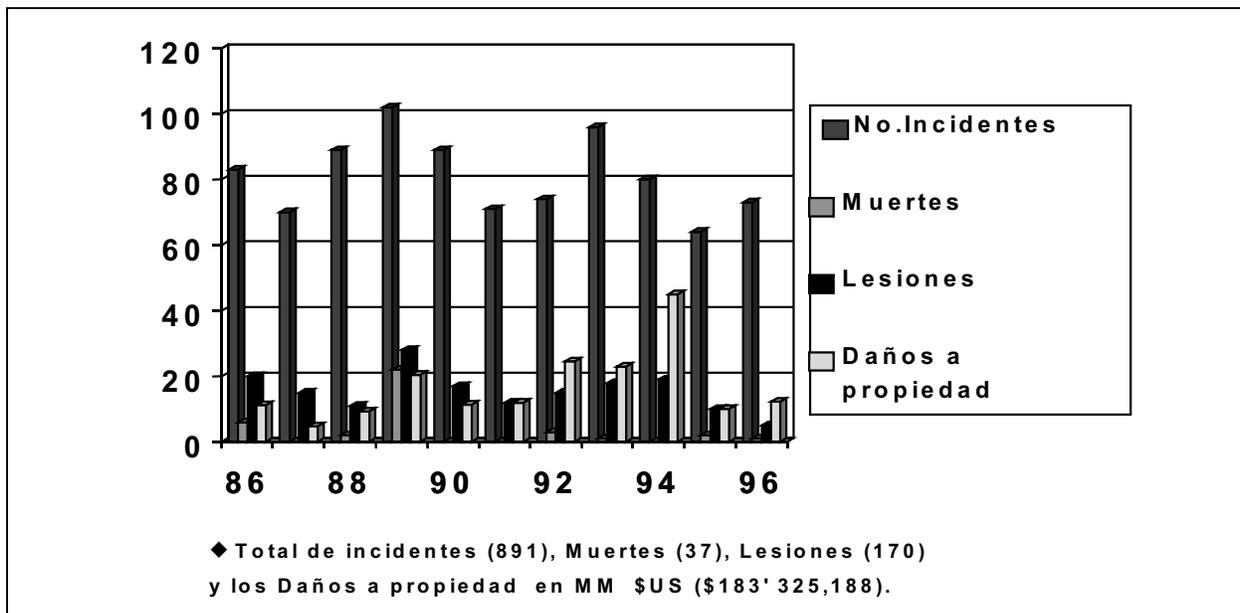
3.4. La accidentabilidad en los Estados Unidos

El uso de tuberías de transporte en los Estados Unidos de Norteamérica, ha crecido gradual y constantemente, iniciando en el año de 1920 con el uso de tuberías de alta presión. Al final de la 2da. Guerra Mundial ya existían más de 131,000 kilómetros de tuberías interestatales en el país. Actualmente la industria del transporte de hidrocarburos ha crecido de tal manera, que existen más de 482,700 km de tuberías interconectadas en redes de recolección y distribución, que suministran energéticos a más de 160 millones de consumidores (Office of Pipeline Safety 2004. Web http://ops.dot.gov/stats/1q_sum.htm).

No obstante las medidas de seguridad tomadas en el transporte, se suscitan incidentes/accidentes personales con causas muy diversas, como lo muestra la estadística de la Oficina de Seguridad en Tuberías del Departamento de Transporte en los Estados Unidos.

En la Figura 3.3, se muestra la estadística anual de incidentes suscitados en tuberías de transporte de gas natural en los Estados Unidos, en el período 1986 a 1996, proporcionada por la Oficina de Seguridad en Tuberías del Departamento de Transporte en los Estados Unidos.

Figura 3.3. Estadística anual de incidentes suscitados en tuberías de transporte de gas natural en los Estados Unidos, en el período 1986 a 1996.



3.5. Los incidentes mayores en Ductos de Transporte de Hidrocarburos en Petróleos Mexicanos

El sistema de transporte por ductos en el país, consta de más de 55,000 km de tuberías dependientes de las 4 subsidiarias, siendo los fluidos transportados crudo, gasolinas, diesel, gas licuado, gas natural y productos petroquímicos principalmente. Los diámetros de las tuberías van desde 3" hasta 48" de diámetro,

y comparten en gran medida los corredores de los derechos de vía (DDV's) para su operación, mantenimiento e inspección principalmente.

Las Tablas 3.1 y 3.2, muestran los accidentes más críticos suscitados en Petróleos Mexicanos de acuerdo a la estadística del período 1986 a 1995 y los accidentes ocurridos en Pemex-Refinación de 1986 a 2003 respectivamente, la Figura 3.4, indica otras causas que originaron fallas en el sistema de ductos y repercutieron en accidentes, asimismo la Figura 3.5, indica los porcentajes de las causas principales de falla asociados a los riesgos en la operación de los poliductos de PEMEX.

Tabla 3.1. Número de accidentes registrados durante el periodo de 1986 a 1995 e identificación de las causas que los originaron.

Causas directas	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	Subt.
1. Corrosión exterior	2	2			1	3	2			1	11
2. Corrosión interior				2							2
3. Corrosión Atmosférica									3		3
4. Golpe de maquinaria	1	2		2		1	1			1	8
5. Sobrepresión de flujo	1		1	2					1		5
6. Incumplimiento proc. mtto.	1		1					2		5	9
7. Soldadura defectuosa	1		1	1						1	4
8. Metal. y mala calidad matls.			2								2
9. Defectos de construcción						1			1		2
10. Errores humanos						1					1
11. Tomas clandestinas								1	2		3
12. Ignición de mezclas expl.										1	1
13. Diseño inadecuado	2										2
Total											53
											548

Fuente: PETRÓLEOS MEXICANOS, enero de 2000

Figura 3.4. Causas que originan fallas en el sistema de ductos y repercuten en accidentes (causas de accidentes en PEMEX).

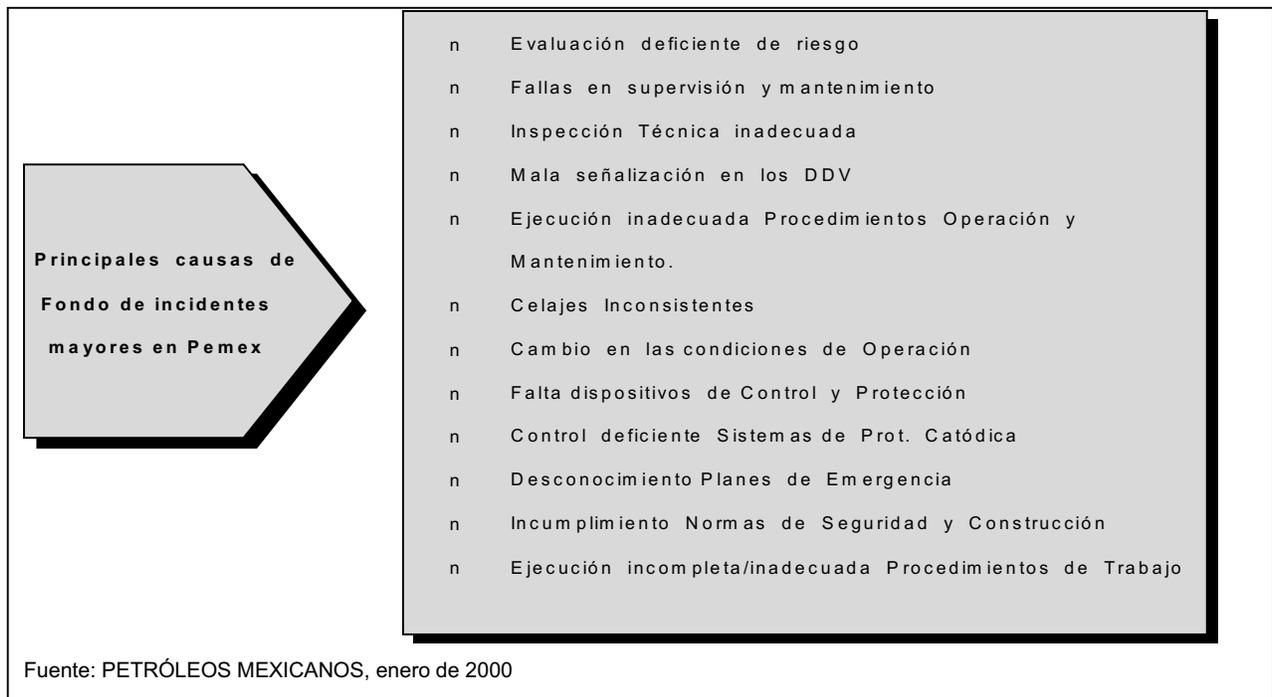


Figura 3.5. Causas principales de falla asociadas a los riesgos en la operación de los poliductos de PEMEX (en porciento).

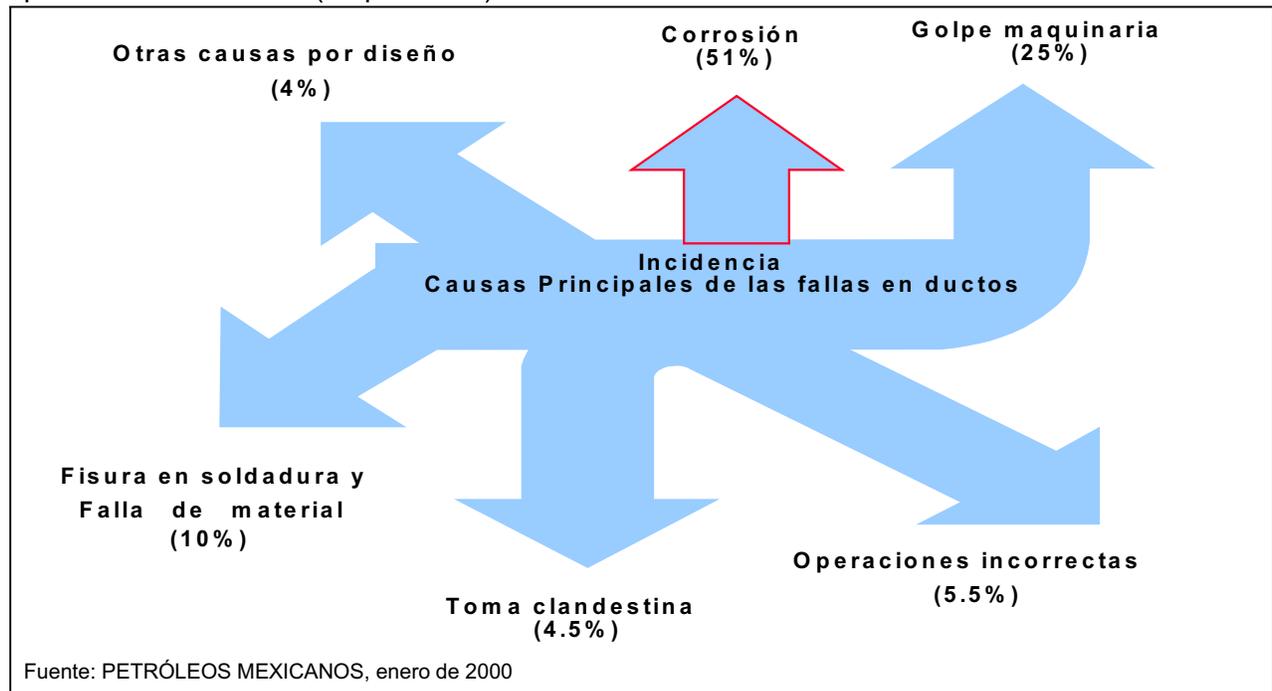


Tabla 3.2. Accidentes ocurridos en Pemex-Refinación de 1986 a 2003.

CAUSAS/AÑOS	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	00	01	02	03	ST
Corrosión Externa						5	6	2	7	7	23	19	35	27		3	1	3	138
Golpe Mecánico	1	1	1				1		2	1		1				2			10
Falla de Sold. Transversal			1	1					1		1								4
Ruptura por Sobre calent.				1															1
Tomas Clandestinas								7	9	21	45		46	51	35	37	45	8	304
Golpe de Ariete									1										1
Fisura por Sobre pres.											1		1				2		4
Falla de Abrazadera											1			1					2
Falla de Niple																1			1
Sobreesfuerzo x Mov. Terr.																1			1
Fuga en Válvula																	1		1
Ruptura de Monoblock																	1		1
Total																			468

Fuente: Petróleos Mexicanos (Subdirección de Distribución. Gerencia de transportación por Ducto. Subgerencia Ductos Sureste).

Es importante destacar los datos mostrados de la Tabla 3.2, donde se tienen registrados en los últimos once años (1993-2003), 304 casos de tomas clandestinas en los poliductos de Pemex-Refinación.

3.6. Determinación de la probabilidad de falla

Existen tres fuentes para obtener los datos de frecuencias: datos específicos del sitio, datos históricos genéricos y técnicas de predicción.

Para poder dar prioridad adecuadamente a los riesgos, no basta con la identificación de los accidentes potenciales, sus secuencias de ocurrencia y la magnitud de los eventos; además es necesario estimar la frecuencia de ocurrencia de dichos eventos, lo cual permitirá evaluar la Esperanza Matemática

de Pérdidas como, el producto de la magnitud de los efectos determinados y la probabilidad que tengan lugar durante la vida útil de una instalación.

Una de las fuentes más frecuentemente empleadas para determinar la probabilidad de falla en los análisis de riesgos y protección al ambiente, es la aplicación de técnicas de predicción, entre ellas está la metodología del Árbol de Fallas (Hoyland y Rausand 1994: 435-440), con múltiples usos en la industria de procesos, en este caso empleamos las probabilidades de ocurrencia de los diferentes sucesos o incidentes que asocian los factores de riesgos en el transporte de destilados de petróleo por poliductos. Estos sucesos fueron conectados por compuertas de las usadas en Álgebra Booleana, según Haas D.F., *et al.* (1981), y las reglas son similares a las de dicha álgebra.

Cabe destacar que cuando todas las secuencias razonables de falla han sido identificadas y el árbol esta bien construido, esta puede ser la herramienta más poderosa del análisis de riesgo, sin embargo, ésta es una labor muy compleja y a menudo tiende a tener errores de apreciación y de omisión, debido en gran medida al conocimiento y experiencia de los especialistas que participan en el equipo de trabajo. El éxito de la aplicación de esta técnica, depende del buen juicio y análisis que viertan los especialistas involucrados durante el desarrollo de la metodología, para obtener resultados cercanos a la realidad y poderlos usar en los estudios de riesgo y consecuencias.

El método del árbol de fallas, es un método deductivo (razonamiento que parte de lo general a lo específico), que se enfoca a un evento indeseable y cuyo objetivo es determinar las causas que lo originan. El evento indeseable constituye el punto superior de un diagrama de árbol de fallas construido para el sistema de poliductos y generalmente consiste del total de fallas que posiblemente se pueden presentar.

3.7. Estimación de frecuencia de falla

Como se ha indicado anteriormente existen tres fuentes de datos de frecuencia: datos específicos del sitio, datos históricos genéricos y técnicas de predicción. Las tres podrían utilizarse de manera simultánea en un estudio cuantitativo de análisis de riesgos (QRA por sus siglas en Inglés). Existen ventajas y desventajas de cada uno de estos enfoques, que se resumen en la Tabla 3.3. El énfasis de esta sección radica en los datos históricos genéricos, con extensiones para cubrir modificaciones para los sistemas de administración de la seguridad.

Tabla 3.3. Comparación de técnicas de estimación de frecuencias

Método estimación de frec.	Ventajas	Desventajas
Datos específicos del sitio	<p>Mejores datos para ese sitio</p> <p>Los datos tienen alta credibilidad</p>	<p>Con frecuencia, base estadísticas pequeñas.</p> <p>Puede no ser válido después de cualquier cambio.</p> <p>Pueden tener un costo elevado.</p> <p>Es poco probable que incluyan acontecimientos raros o catastróficos.</p>
Datos históricos Genéricos	<p>Disponibles para una amplia gama de tipos de equipo.</p> <p>Incluye una amplia gama de modos de fallos; corrosión, errores humanos, así como causas oscuras/desacostumbradas.</p> <p>Consistentes con estudios QRA para otros sitios.</p> <p>La base de datos tiene antecedentes conocidos para los cuales las ventajas y deficiencias son comprendidas.</p> <p>Poco costosos.</p>	<p>Pueden ser inexactos para características específicas del sitio.</p> <p>Nuevas tecnologías o circunstancias pueden hacer inválidos los datos históricos.</p>
Técnicas de predicción	<p>Pueden evaluar modos de fallas muy específicos, que no atienden debidamente los datos genéricos.</p> <p>Los mecanismos de fallas se muestran con claridad, permitiendo medidas de mitigación y beneficios a ser evaluados con claridad.</p> <p>El error humano puede ser atendido de manera explícita.</p> <p>Pueden incorporarse salvaguardas del sitio.</p> <p>Resultados cualitativos valiosos.</p>	<p>Costosos y lentos en su aplicación.</p> <p>No adecuados para grandes números de evaluaciones de acontecimientos principales.</p> <p>Muchas suposiciones pueden quedar ocultas en el árbol.</p> <p>Las secuencias de tiempo son difíciles de tratar.</p> <p>Las técnicas de predicción están más sujetas a errores o prejuicios del analista que el enfoque genérico.</p>

Esto iguala la aplicación predominante actual de la frecuencia en estudios QRA internacionales, e indica una tendencia importante hacia modificaciones específicas en el sitio. Según las ventajas y desventajas presentadas en la Tabla 3.3, ciertas aplicaciones son más apropiadas que otras. Los mejores usos sugeridos, se presentan a continuación:

- **Datos históricos específicos del sitio.** Éstos pocas veces están disponibles para todos los elementos y equipos del sistema de ductos en un sitio, pero pueden encontrarse para puntos específicos. Sus mejores aplicaciones son para problemas observados con frecuencia, tales como derrames menores, corrosión, tomas clandestinas, invasiones a los derechos de vía, entre otros. Una aplicación prometedora de los datos del sitio es su uso, combinado con datos genéricos de otras fuentes de datos (bases de datos), con el empleo de técnicas estadísticas por ejemplo Bayesian (Hoyland y Rausand 1994: Capítulo 11), se puede generar un mejor estimado de frecuencias que una base de datos única (CCPS, 1988^a).
- **Datos genéricos históricos promedio de la industria petrolera.** Se dispone de datos genéricos para una amplia gama de elementos y equipos de los sistemas de poliductos, pero como su lo nombre lo indica, los datos son un promedio que refiere muchos sitios y de muchos sistemas o procesos. Una vez adquirida, se convierte en un uso muy eficiente (una tabla de revisión es adecuada para casos de fallas “genéricas”), y permite un QRA de todo el sitio, incluyendo cientos de casos de falla a realizar con eficiencia y en repetidas ocasiones. Por su naturaleza genérica, no representa bien al sistema u operaciones que difieren de manera significativa a partir del promedio del cual se derivaron los datos, en tales circunstancias es recomendable generar bases de datos con las particulares condiciones de operación, ambientales, capacitación, manejo de productos e infraestructura en general del sitio que se esté analizando.

Técnicas predictivas. Éstas se basan con frecuencia en técnicas de árbol de fallas o árbol de eventos de fallas, con un análisis adicional de acontecimientos

- de modo común y confiabilidad humana, pueden ser muy intensos en recursos y por lo tanto son más adecuados para un QRA. Problemas específicos (por ejemplo, análisis del sistema de alivio de presión, fugas por picaduras debido al efecto de la corrosión), para los sistemas de ductos de transporte de hidrocarburos se emplean QRA típicos o representativos (la legislación OSHA y EPA en Estados Unidos, hacen referencia a estos análisis). Esto se debe a que estas técnicas muestran con claridad la importancia relativa de mecanismos específicos y pueden diseñarse estrategias de mitigación para atender específicamente a los principales contribuyentes de los factores de riesgos en ductos. También son útiles para volver a analizar riesgos de alta clasificación derivados de datos genéricos, para confirmar los mecanismos importantes y diseñar salvaguardas apropiados.

Adicionalmente, se pueden encontrar otras fuentes de información, como los datos de tasas genéricas de fallas, las cuales están referidas al número de eventos registrados durante un periodo que puede alcanzar hasta 10 años o más dependiendo del marco industrial al que se encuentra enfocado, estas tasas representan la probabilidad medida para los casos o eventos analizados. Son de gran utilidad y su uso se encuentra en aumento en el ámbito de los análisis de riesgos:

- **Datos de tasa genéricas de fallas.** Las fuentes típicas de datos genéricos aparecen en CCPS,1989^a. Esa referencia enumera más de 40 fuentes de datos de tasas de incidentes y fallas. Muchas de ellas contienen datos de liberación útil. Un ejemplo de esta fuente es: OREDA, 1992 (Ofshore Reability Data). Datos de confiabilidad en alta mar. Que es una base de datos de fallas en equipos y sistemas de tuberías registrados en instalaciones costa fuera (plataformas marinas).

Es importante elegir entre las posibles metodologías que se encuentran disponibles aquella o aquellas que caracterizan mejor la problemáticas del sitio y del sistema de ductos en cuestión.

La mayoría de los consultores que trabajan sobre el tema han desarrollado sus propias bases de datos de tasas de fallas. En muchas de estas bases de datos se pueden rastrear hasta datos privados de compañías como ICI, BP, Exxon, DuPont y otras, recolectadas a finales de la década de los 70 y principios de la década de los 80. Si bien tales bases de datos por lo general presentan respuestas creíbles para predicciones de riesgos de sitios enteros, confirmados, contra datos de incidentes de seguros, debe considerarse insatisfactorio el que no existan fuentes públicas fácilmente disponibles para tales datos de plantas de proceso en tierra firme, y desde luego tampoco para sistemas de ductos de transporte de destilados de petróleo en nuestro país.

Se han hecho esfuerzos importantes en Europa por mejorar esta base de datos y enlazarla a las características del sitio, en especial los sistemas de administración de seguridad del proceso, el trabajo emprendido en el Reino Unido para revisar tales datos. El HSE (Ministerio de Salud y Seguridad) del Reino Unido, el Ministerio de Planificación de Vivienda y el Medio Ambiente de los Países Bajos (VROM), y la Comisión Europea han emprendido en conjunto un análisis detallado de descripciones de fallas en tuberías y recipientes, disponibles de bancos de datos publicados, para determinar las causas subyacentes y también las fallas de mecanismos potenciales preventivos. Proponen, un programa de clasificación tridimensional desarrollado para caracterizar más de 500 accidentes importantes. Las dimensiones son:

- Causa directa de la falla (por ejemplo, presión excesiva del sistema)
- Orígenes de la falla (error de mantenimiento)
- Falla de recuperación de la condición insegura (verificaciones de mantenimiento inadecuadas)

Las causas principales de las fallas en tubería se resumen en la Tabla 3.4. Esto muestra las contribuciones de cada una de las tres dimensiones de falla ya descritas.

Las tres bases de datos de la Tabla 3.4, son bastante similares en su distribución. La causa inmediata más grande es el error de operadores, seguido por la presión excesiva y la corrosión. Estos tres mecanismos representan más del 60% de las fallas.

Tabla 3.4. Mecanismos de falla en tuberías

Mecanismos de falla	Causa	Tubería (%)	Una compañía (%)	Base de Datos (%)
Causa directa o inmediata principal.	Error del operador	31	32	46
	Presión excesiva	21	18	23
	Corrosión	16	11	10
Causa subyacente o de raíz principal.	Mantenimiento	39	61	39
	Diseño	27	10	29
	Operación	14	23	28
Falla de recuperación principal (mecanismo preventivo).	Revisiones de factores humanos	30	18	14
	Revisiones HAZOP	25	27	46
	Verificación	24	22	26
Combinación de mecanismos: Combinación principal de causa subyacente/combinación de mecanismo de recuperación	Causa por diseño/visión HAZOP.	25	10	29
	Causa por mantenimiento/visión de factores humanos.	15	6	1
	Causa por mantenimiento/verificación.	13	14	18

La causa subyacente o de raíz proviene básicamente del mantenimiento, diseño o actividades de operación. La mayoría de los incidentes son previsibles y la descripción de cada accidente debe ser revisada para asignar el sistema y medidas de seguridad más adecuados que impidan el accidente. Incluyendo una revisión de factores humanos (Análisis de tareas, Análisis de errores humanos), HAZOP, y verificación (o sea, verificación de rutina después del mantenimiento).

La recolección sistemática de datos genéricos es de valor importante para los estudios QRA. Además de resaltar la calidad de los números subyacentes,

también proporciona un indicativo de la difusión de los datos (rango de confianza). Una de las actividades futuras probables en el área europea, será la corrección de datos genéricos para su utilización en los sistemas administrativos de poliductos.

Se ha debatido mucho acerca de la validez de los datos de tasas genéricas de falla para el equipo del proceso, sistemas de poliductos e instalaciones petroleras en general. Sin embargo, al final de cuentas, estos datos representan las únicas referencias internacionales disponibles en bases de datos, desde luego que deben conformarse a la realidad del caso que se esté analizando. Si los estudios QRA que utilizan datos genéricos aplicados a toda la gama de casos de fallas generan resultados de riesgos que no tienen relación alguna con registros de accidentes actuales observados, entonces sería inválida la base de datos genérica. De hecho, éste no es el caso; en su mayoría, los contornos de riesgo y los resultados de riesgo para la sociedad están en concordancia con la experiencia de accidentes importantes y para instalaciones similares.

La metodología de análisis de riesgos, como cualquier método de análisis y tras el conocimiento exhaustivo de las instalaciones y actividades llevadas a cabo (por inspección de instalaciones y estudio de diagramas de flujo de procesos, diagramas de tuberías e instrumentación, *DTI'S* y planos de localización general *PLG'S*), se debe iniciar por identificar qué accidentes podrían ocurrir en las instalaciones de poliductos, para lo cual existen diversos métodos de apoyo como Análisis Histórico y Árbol de Fallas, entre otros.

Existen muchas formas en las cuales los datos de frecuencia genérica se modifican para tomar en cuenta influencias fuera del sitio o específicas del proceso. Los métodos importantes incluyen:

- Juicio
- Ajuste de mecanismos históricos
- Variaciones para tomar en cuenta los sistemas de administración de la seguridad del proceso

Juicio. Éste es el método más débil y la causa de importantes incertidumbres. Por su naturaleza, es irrepetible, ya que se espera que distintos analistas tengan juicios diferentes.

Un ejemplo podría ser: Fuga en tubería de 8 pulgadas D.N., 0.2032 m. (perforación de 10 mm de diámetro) = 2×10^{-5} /metro/año

El analista podría considerar que esto es apropiado para un servicio de hidrocarburos típico utilizando especificaciones de tubería estándar (Programa de Especificación ANSI B31.3, 40). Si la aplicación incluye una tubería con un refuerzo especial, el analista podría reducir arbitrariamente la frecuencia de fugas en un 50%. Si bien esto podría ser razonable, puede verse como una burda simplificación y se obtendrán estimados muy diferentes de parte de analistas distintos.

Ajuste de mecanismo histórico. Se ha dado un número de revisiones de las causas de incidentes relativos a fugas en tuberías y recipientes. Este método evalúa todas las causas principales de falla del registro histórico y modifica cada una de ellas para conformarse a circunstancias locales. Esto puede ser considerado como un análisis de árbol de fallas muy simple, pero con el árbol desarrollado sólo a un nivel. Esto es, el valor genérico es la frecuencia del evento principal. La capa única abajo de esto muestra todos los mecanismos importantes que contribuyen a través de una puerta OR. Así, si el acontecimiento principal es fuga, las causas contribuyentes podrían ser: corrosión interna, corrosión externa, fallo en el diseño, fallo en la construcción, fallo de operación, impacto y peligros naturales.

Variación al sistema de administración de la seguridad. Se reconoce ampliamente dentro de la industria del proceso y la petrolera en alta mar que los sistemas de administración de la seguridad ejercen una influencia importante en las tasas de falla y han demostrado las mejorías importantes en tasas de tiempos

perdidos por heridas que fueron logradas por las corporaciones grandes que adoptaron procedimientos de administración de la seguridad rigurosos y audibles. Tales mejoras requieren el compromiso total del personal a todos los niveles, pero en especial en la cumbre, para alcanzar la cultura de seguridad de alto nivel necesaria. Los cambios para la cultura de la seguridad son difíciles de lograr y pueden exigir muchos años para ponerlos en práctica en su totalidad.

Un problema con los datos de tasa genérica de falla utilizados en estudios QRA es que implica el mismo valor promedio para todos los sitios, sin importar la calidad de los sistemas utilizados de administración de seguridad. Los estudios QRA necesitan estar al menos apoyados, tanto con una panorámica cualitativa razonable de, los sistemas de administración de seguridad y, preferentemente, incluir también un estimado cuantitativo.

3.8. Métodos para determinar la frecuencia de falla

3.8.1. Método de árbol de falla

Nosotros seleccionamos la técnica del árbol de fallas, porque es un método deductivo sistemático para adquirir información acerca de un sistema. El cual es un razonamiento que parte de lo general a lo específico, y se ajusta fácilmente al tipo de datos recopilados en este trabajo de investigación (anomalías y accidentes en ductos de Pemex).

El análisis de árbol de falla es un método de análisis con enfoques sobre un evento indeseable, el cual permite determinar las causas que lo originan. El evento indeseable constituye el punto superior en un diagrama de árbol de falla construido para el sistema y generalmente consiste del total de las anomalías y eventos que posiblemente se pueden presentar.

Es importante indicar, que un árbol de fallas es un modelo de todas las posibles faltas del sistema o todas las causas posibles para las faltas del sistema. Podemos decir que esta técnica, es un traje hecho a la medida para el evento

superior el cual corresponde para los modos particulares de falla del sistema, y el árbol contiene las acciones incorrectas que contribuyen para que se dé el evento superior.

Es también importante puntualizar que un árbol de fallas no es en sí mismo un modelo cuantitativo. Es un modelo cualitativo que frecuentemente puede ser evaluado cuantitativamente.

Un árbol de fallas es un complejo de entidades conocidas como “puertas” las que sirven para permitir o impedir el paso lógico a través del árbol. Las puertas muestran la relación de eventos necesarios para la ocurrencia de un evento culminante. El evento culminante es la “salida” de la puerta; los eventos secundarios, son las entradas de la puerta. El símbolo de puerta denota el tipo de relación de los eventos de entrada requeridos para el evento de salida. Así, las puertas son algo análogas para los switches en un circuito eléctrico o dos válvulas en un diagrama de tuberías.

3.8.2. Simbología empleada para la construcción del árbol de fallas

Un árbol de fallas típico está compuesto de un número de símbolos que son descritos a continuación:

Símbolos para eventos primarios



Evento básico.- Inicio de una falta básica no requiere de un desarrollo posterior.

Símbolos para eventos intermedios



Evento intermedio.- Es un evento o falta que ocurre porque uno o más antecedentes causan una acción a través de las puertas lógicas.

Símbolos de puertas



“Y” .- Salida de la falta, si todas las faltas de Entrada ocurren (+).



“O” .- Salida de la falta, si al menos una de las faltas de Entrada Ocorre (-).

La Figura 3.5, muestra dos eventos típicos de entrada en la puerta “O” con dos eventos de entrada A y B y un evento Q de salida. Es decir el evento Q ocurre si A ocurre, B ocurre o ambos A y B ocurren.

Figura 3.5. Ejemplo de puerta “O”, es decir los eventos A y B se suman y determinan el evento de salida Q.



Por otro lado la puerta “ Y “ es usada para mostrar que la falla de salida ocurre sólo si todas las fallas de entrada ocurren.

ura 3.6. Ejemplo de puerta “Y”, el producto de los eventos A y B, determina el evento Q

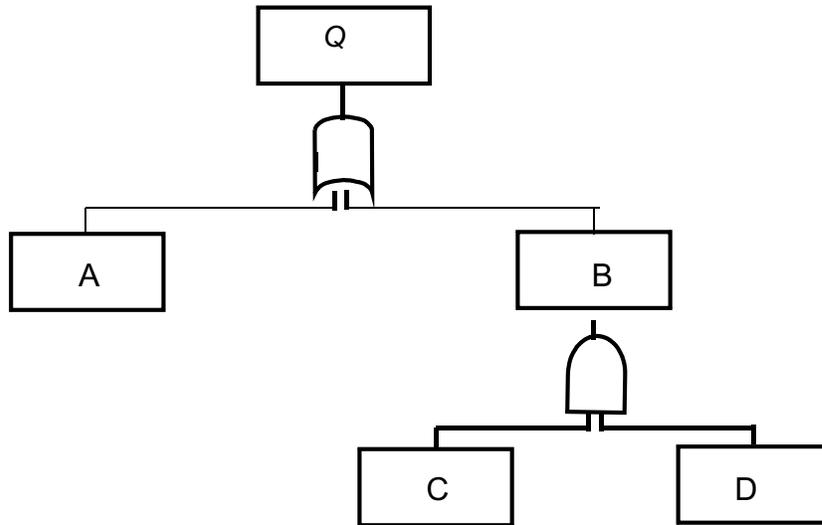


Esta técnica tiene muchas aplicaciones en la industria de procesos, para nuestro caso empleamos la puerta “O” fundamentalmente y en determinadas circunstancias la puerta “Y” para un dispositivo de seguridad muy específico. Es importante destacar que el sistema del poliducto de 12” D.N. Minatitlán-Villahermosa, no requirió de la utilización de más símbolos, en virtud de la simplicidad del sistema referido en esta investigación.

3.8.3. Reglas básicas para la construcción del árbol de fallas

La construcción de un árbol de fallas es un proceso que ha sido perfeccionado desde mediados de los años sesenta.

Figura 3.7. Ejemplo de un árbol de fallas simple:



Regla No. 1.- Escribir el estado (condiciones) que tienen las entradas en las cajas de eventos como faltas; estado preciso que las faltas tienen y donde ocurren estas.

Regla No. 2.- Si la respuesta para la pregunta “¿Puede esta falta constituir un componente de fracaso?” si es “Si” clasificar el evento como una “falta del estado del componente”, si la respuesta es “No”, clasificar el evento como “una falta del estado del sistema”.

Regla No. 3.- Todas las entradas a una puerta en particular deberán ser completamente definidas antes de continuar con el análisis de cada uno de los eventos definidos para el sistema.

Regla No. 4.- Las puertas de entrada deberán ser propiamente definidas para los eventos de falta, y las puertas no deberán conectarse directamente a otras puertas.

3.9. Construcción de Árboles de Falla para los factores de riesgos asociados a la operación de ductos de transporte de destilados de petróleo (diesel, gasolinas y combustóleo)

Hasta este momento, hemos cubierto varias actividades previas (tales como: la definición del contexto de los factores de riesgo operativos y los efectos de origen natural, que inciden en el sistema de poliductos de Pemex-Refinación, historial de accidentes en ductos de Pemex, revisión bibliográfica de bases de datos de accidentes disponibles oficialmente para su consulta, selección del sistema de poliducto de 12" D.N. Minatitlán-Villahermosa, revisión y determinación de metodologías de análisis para obtener resultados confiables y adecuados a la realidad que vive la industria de ductos en el país, etc.), fundamentalmente, obtención de datos necesarios para la construcción de los árboles de falla.

En este proceso de estudio y análisis, se desarrollaron varias etapas encaminadas a la identificación de la probabilidad de falla de elementos o situaciones de importancia que de alguna manera son causas originadoras de la falla del sistema de poliductos, también se identificaron aspectos que debieron tomarse en cuenta en determinado momento para que tales eventos no sucedieran o en caso contrario sean de forma controlada.

Fue necesario trabajar las siguientes etapas para desarrollar el estudio, como se indica a continuación:

1. **Revisión y Análisis de la documentación del Sistema de Poliductos de Transportación de Destilados de Petróleo.** La documentación considerada, fue la siguiente:
 - a) Los Documentos del Diseño:
 - Bases de Usuario
 - DTI's (diagramas de tuberías e instrumentos)
 - Diagramas Mecánicos de Flujo, etc.
 - b) Los Documentos Operativos:

- Manual de Operación de Equipos e Instrumentos
 - Procedimientos Operativos
 - Bitácoras de Operación
- c) Los Documentos de Mantenimiento:
- Manuales de Inspección y Mantenimiento
 - Bitácoras de Mantenimiento
- d) Documentos relacionados con el Historial de Fallas y Accidentes

Se identificaron todos los elementos significativos que representan o pueden incurrir en situaciones de falla y que ponen en peligro las instalaciones analizadas.

La evaluación y selección de la información estuvo de acuerdo con la necesidad de conocimiento del funcionamiento de los elementos, equipos e instrumentos del sistema.

La información y datos de accidentes y anomalías, obtenidas de Pemex, Profepa, DOT, y otras, fueron perfectamente identificados y clasificados para su uso en y durante las diferentes etapas del estudio y análisis.

2. **Identificación y clasificación de los Factores de Riesgo Asociados a la Operación de los Poliductos** (de acuerdo a lo indicado en el capítulo 2)

Los factores de riesgo identificados son:

- Factor de Daño por Terceras Partes
- Factor de Corrosión
- Factor de Operaciones Incorrectas
- Factor de Diseño

3. **Modelo del Árbol de Fallas.** Fue seleccionada la técnica de árbol de fallas por cubrir los requisitos del análisis previsto, y poder determinar la

probabilidad de falta o anomalía de cada uno de los factores de riesgos del sistema de poliductos con los datos e información recavada de las fuentes ya citadas.

El análisis de árbol de fallas, es un método sistemático para ayudar a confirmar el diseño y la operación de las instalaciones, con la tendencia de hacer más segura y confiable la operación mediante la identificación de las causas que originan desperfectos, las cuales culminan con la falla crítica. (no funcionamiento de los elementos de protección o una eventualidad con consecuencias catastróficas).

Para la aplicación de la técnica de árbol de falla, fue necesario:

- a) Identificar cada uno de los elementos del sistema de los poliductos en operación.
- b) Identificar las causas de fallas simples o iniciales.
- c) Identificar y ponderar los eventos intermedios.
- d) Identificar el evento cumbre (que en el caso particular de los sistemas de la falla más crítica es por ejemplo la fuga de producto y la explosión con consecuencias fatales y contaminación del medio ambiente).

Durante la aplicación del árbol de fallas, fueron analizadas, todas las posibles causas que originarán desperfectos en instrumentos y equipos de cada uno de los sistemas de protección de los poliductos en servicio.

En este análisis también fueron requeridos los datos históricos de accidentes. Estas fuentes de datos en general proporcionan información sobre temas como fugas de materiales peligrosos, tóxicos, incendios, explosiones, anomalías en tubería, accidentes en transportación, mortalidad y heridas serias.

Las tres categorías más importantes de datos históricos de accidentes son:

- Causas de las fallas
- Consecuencias del incidente. (por ejemplo fugas de gases, rompimiento de tubería, altos niveles de radiación, colapsamiento de tanques, etc.)
- Tasas de ocurrencia de ciertos tipos de fallas.

Es importante disponer de esta información, porque los accidentes o eventualidades adversas están íntimamente relacionados con los factores de riesgo operativo. Sin embargo también es válido, tomar en consideración fuentes externas de bases de datos desarrolladas por organismos internacionales.

4. **Bases de datos de Probabilidad de Falla.** Existen algunas bases de datos internacionales en uso, en el área de riesgos. En general son bases de datos de probabilidad de falla de dispositivos y equipo de proceso, otras (las menos) están relacionadas con la probabilidad de ocurrencia de incidentes que pueden poner en peligro la instalación. Finalmente, existe otro grupo de bases de datos que se ocupa de la confiabilidad humana.

Las bases de datos consultadas como referencia para desarrollar este trabajo de investigación son las correspondientes a “OPS“ OFFICE OF PIPELINE SAFETY DATA, 1999. Para obtener información de la probabilidad de falla de los sistemas de poliductos en los Estados Unidos de América, y principalmente de los datos e historial de incidentes de diversos organismos de Petróleos Mexicanos, obtenidos especialmente para la elaboración de este trabajo de investigación.

Estimación de la Probabilidad de Falla de los sistemas analizados. Los métodos de estimación de probabilidad de falla proporcionan predicciones cuantitativas de la posibilidad de que un incidente peligroso pudiera ocurrir. El término “posibilidad” cubre tanto la probabilidad que generalmente se expresa como la probabilidad de ocurrencia durante un intervalo

5. determinado y la frecuencia que se expresa como el número de eventos por año.

Para desarrollar las estimaciones de posibilidad del registro histórico, se siguen los siguientes pasos:

- a. Definir contexto.- La primera tarea para realizar estimaciones de posibilidad es la de llegar a una definición clara del incidente o incidentes que habrán de analizarse.
- b. Revisar la fuente de datos.- El enfoque histórico requiere una revisión completa de cualquier dato importante, incluyendo registros de la compañía y estadísticas compiladas por organizaciones industriales.
- c. Validar frecuencia.- El estimado de frecuencia puede ser validado al compararlo con datos de falla de fuentes de la industria, para un componente del proceso. En términos generales un estimado de frecuencia se basa en datos de experiencia histórica de la propia compañía o dentro de la industria.

3.10. Aplicación de la técnica de árbol de fallas para los factores de riesgo en los sistemas de poliductos

Derivado de las consideraciones anteriores, presentamos a continuación tres secciones que muestran la aplicación de la técnica del árbol de fallas para los factores de riesgo en los sistemas de poliductos. Los eventos cumbre o superiores están representados por los propios factores de riesgos, es decir, nos referimos a los factores de riesgo abordados en el capítulo 2, y que están contextualizados en el Manual de Administración del Riesgo en Poliductos de W. Kent Muhlbauer, 1996.

En la primera sección se presenta los modelos de árbol de fallas para los factores de riesgo y la contribución de probabilidad de los eventos secundarios de

acuerdo a la calificación (puntaje) que establece Kent Muhlbauer en su metodología.

La segunda sección muestra los valores que fueron determinados a través de la aplicación de la técnica de árbol de fallas, con base en la información suministrada por Petróleos Mexicanos que se encuentra resumida en la Tabla 3.2 “Accidentes ocurridos en Pemex-Refinación de 1986 a 2003”, así como la Figura 3.5 “Porcentajes de las causas principales de fallas asociadas a los riesgos en la operación de poliductos de PEMEX”.

La tercera sección presenta de manera resumida los factores de riesgo ordenados de mayor a menor de acuerdo a la probabilidad de ocurrencia bajo las circunstancias analizadas.

A continuación se presentan las Tablas 3.5 y 3.6, con los datos fuente para el desarrollo y determinación de las probabilidades citadas.

Tabla 3.5. Resumen de las probabilidades de falla para los factores de riesgo durante la operación de los poliductos de PEMEX (1993-2003)			
Factores de Riesgo	Número de Casos (fallas)	Número de horas en 11 años (hr)	Probabilidad de Falla (fallas/hr)
a) Daños por Terceras Partes (golpe de maquinaria, mala calidad de los materiales, soldadura defectuosa y tomas clandestinas).	310	96360	3.22 E3
b) Corrosión (exterior, interior y atmosférica).	125	96360	1.30 E3
c) Operaciones Incorrectas (sobrepresión de flujo, incumplimiento en los procedimientos de mantenimiento, defectos en la construcción, errores humanos e ignición de mezclas explosivas).	9	96360	9.34 E5
d) Diseño (diseño inadecuado).	4	96360	4.15 E5

Tabla 3.6. Porcentajes de las causas principales de falla asociadas a los riesgos en la operación de los poliductos de PEMEX		
TIPO DE CAUSA :	PORCENTAJE DE INCIDENCIA (%)	FACTOR DE INTENSIFICACIÓN POR INCIDENCIA
a) Corrosión	51 %	1.51
b) Terceras partes	39.5 %	1.395
c) Operaciones incorrectas	5.5 %	1.055
d) Diseño	4 %	1.04

Obtenidos los datos de probabilidad de fallas y los factores de intensificación por incidencias se desarrollan las siguientes secciones del modelo de árbol de fallas:

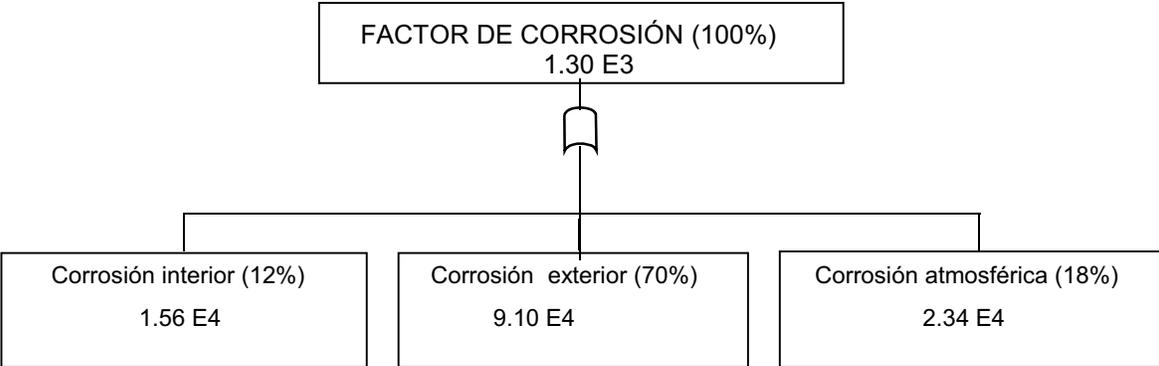
Primera sección: Aplicación del modelo del árbol de fallas para los factores de riesgo por terceras partes, corrosión, operaciones incorrectas y diseño:

Factor de riesgo debido a corrosión. El factor de riesgo debido a corrosión está integrado por los siguientes fenómenos:

- Corrosión interior
- Corrosión atmosférica
- Corrosión exterior

Para tales casos se construyen los siguientes árboles de falla:

Figura 3.8. Árbol de falla para el factor de riesgo: corrosión.



Es importante destacar que en la construcción de los árboles de falla se están considerando eventos secundarios o terciarios en algunos casos (evento básico), que contribuyen, a la generación de los eventos cumbre o principales, y que constituyen los factores de riesgo en el sistema de poliductos. Estos eventos

secundarios están referidos a aquellas anomalías o situaciones de cuidado que deberán monitorearse y controlarse para mantener una adecuada operación de los poliductos.

Evidentemente que existen algunas anomalías o situaciones de cuidado que se presentan durante la operación de los poliductos que requieren mayor atención que otras. Entonces, surgen de esta manera prioridades que deben ser atendidas con más prontitud que otras. Dentro del “Pipelines Risk Management Manual Edición 1996” de W. Kent Muhlbauer, en sus paginas xvi, xvii y xviii, son otorgados ciertos valores a estos eventos que califican o ponderan su contribución potencial en caso de suceder un evento cumbre o principal (factores de riesgo).

Estos valores intrínsecamente también están determinando una probabilidad de falla que participa en la detonación del citado evento cumbre o principal, y que en la presencia de otro u otros eventos secundarios sumados reaccionan. De esta manera en la construcción de los de árboles de falla (que se muestran a continuación), son indicados las probabilidades de falla de los eventos secundarios que contribuyen a que los factores de riesgo ocurran.

Figura 3.9. Árbol de falla para el factor de riesgo: corrosión interior.

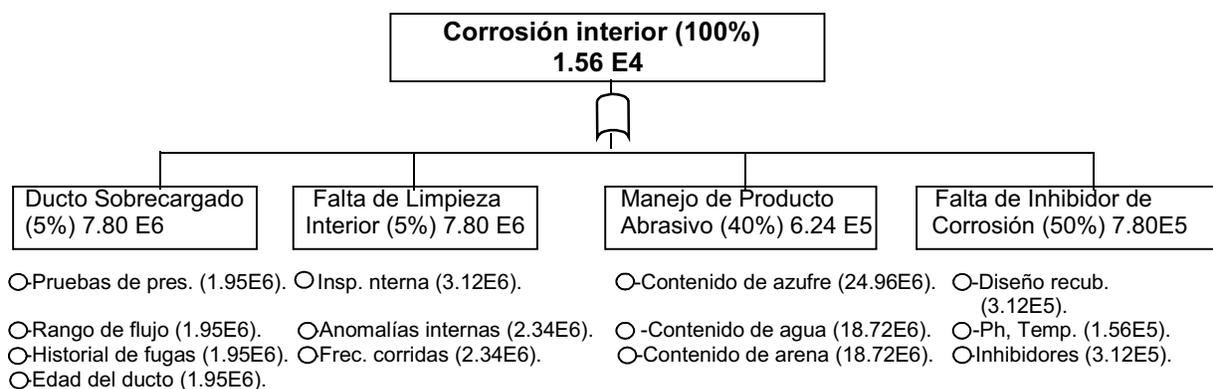


Figura 3.10. Árbol de falla para el factor de riesgo: corrosión atmosférica.

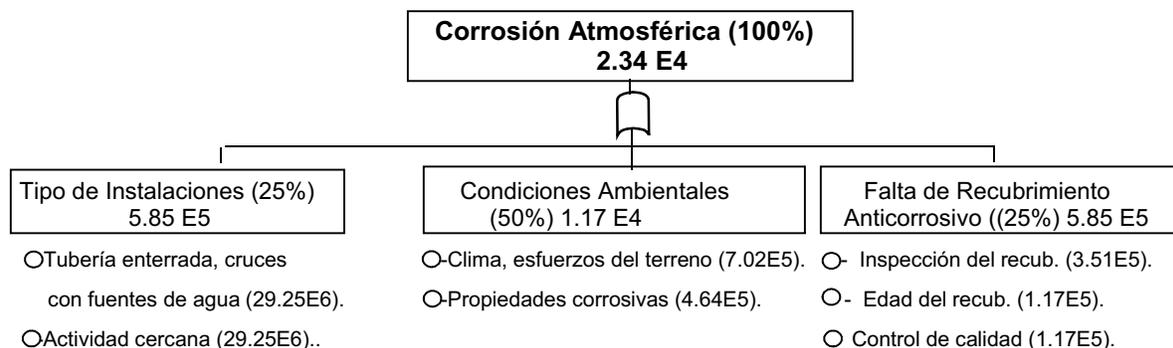
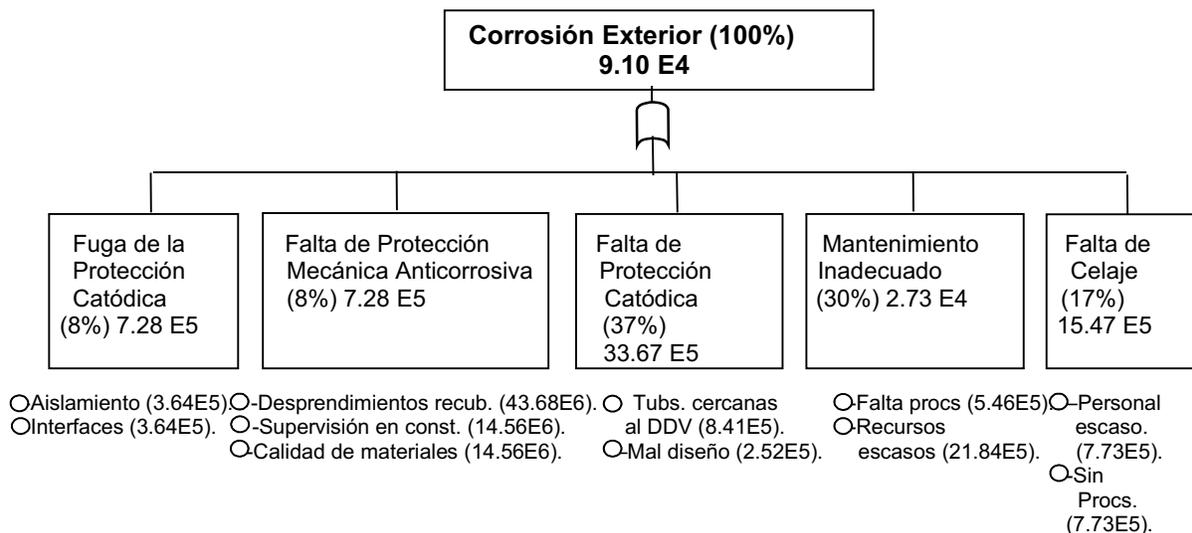


Figura 3.11. Árbol de falla para el factor de riesgo: corrosión exterior.

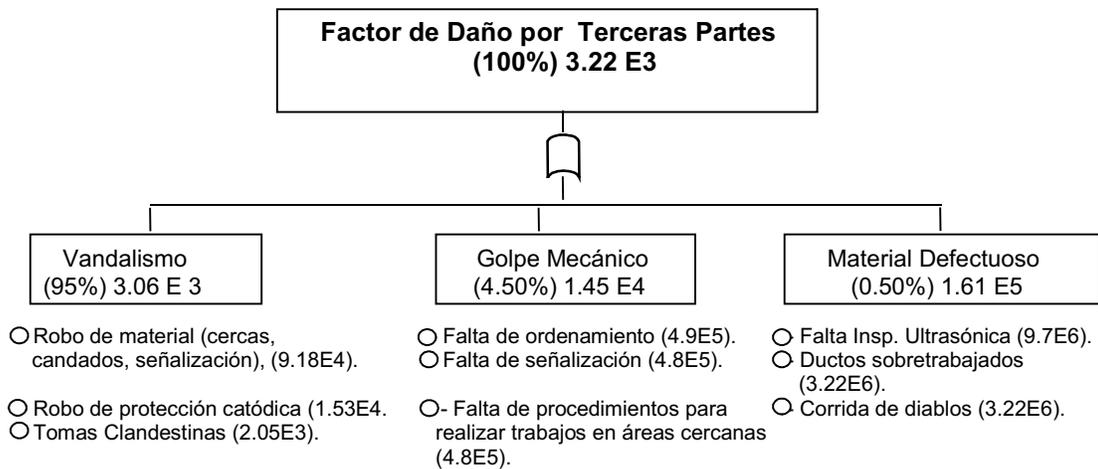


Factor de riesgo debido al daño por terceras partes. El factor de riesgo debido al daño por terceras partes está integrado por los siguientes elementos:

- Vandalismo
- Golpe Mecánico
- Material Defectuoso

Se analizó el siguiente árbol de falla que se muestra en la Figura 3.12:

Figura 3.12. Árbol de falla para el factor de riesgo de daño por terceras partes.

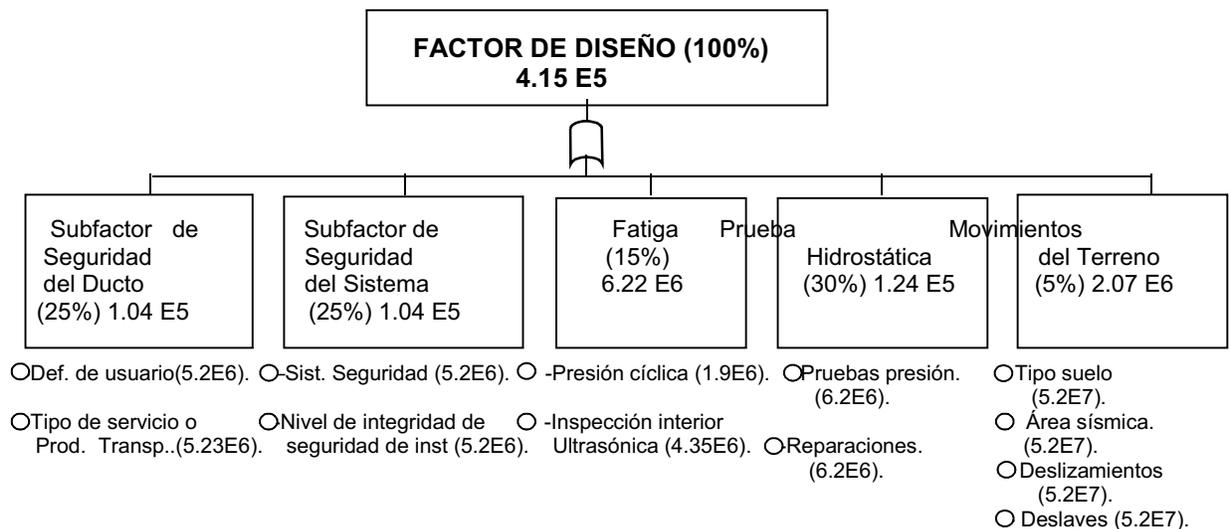


Factor de riesgo debido al diseño. El factor de riesgo del diseño está integrado por los siguientes elementos:

- Subfactor de seguridad del Ducto
- Subfactor de Seguridad del Sistema
- Fatiga
- Prueba Hidrostática
- Movimientos de Terreno

Se analizó el siguiente árbol de falla que se muestra en la Figura 3.13:

Figura 3.13. Árbol de falla para el factor de riesgo de diseño.

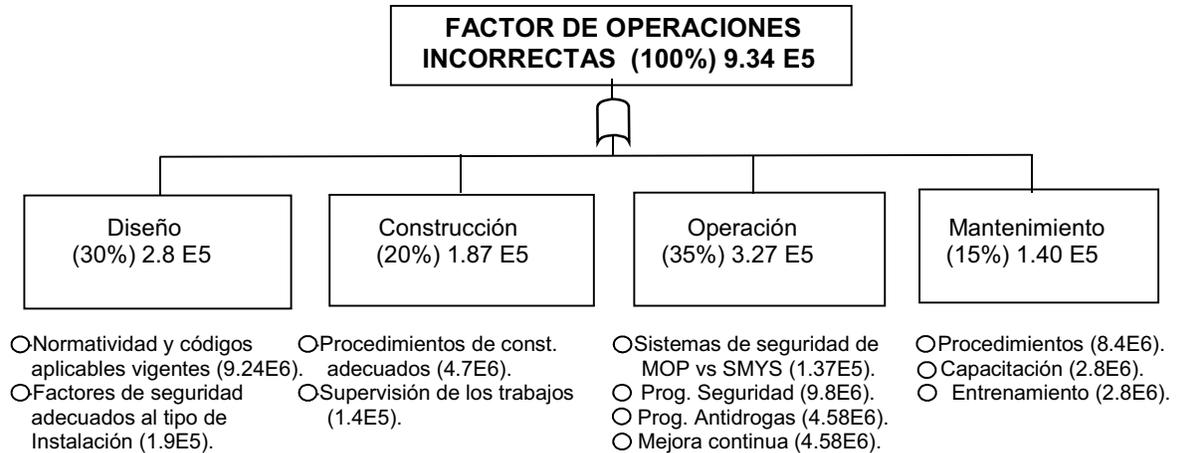


Factor de riesgo debido a operaciones incorrectas. El Factor de riesgo de operaciones incorrectas está integrado por los siguientes elementos:

- Diseño
- Construcción
- Operación
- Mantenimiento

Se analizó el siguiente árbol de falla que se muestra en la Figura 3.14:

Figura 3.14. Árbol de falla para el factor de riesgo: operaciones incorrectas.



Segunda sección: Determinación de las probabilidades de falla acumuladas para los factores de riesgo debido a los elementos secundarios y terciarios (dado el caso).

Figura 3.15. Probabilidad de falla para el factor de corrosión:

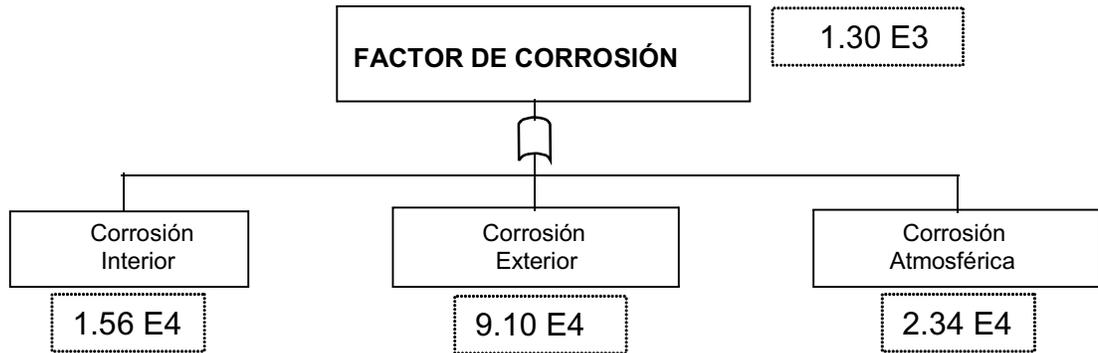


Figura 3.16. Probabilidad de falla para el factor de daño por terceras partes:

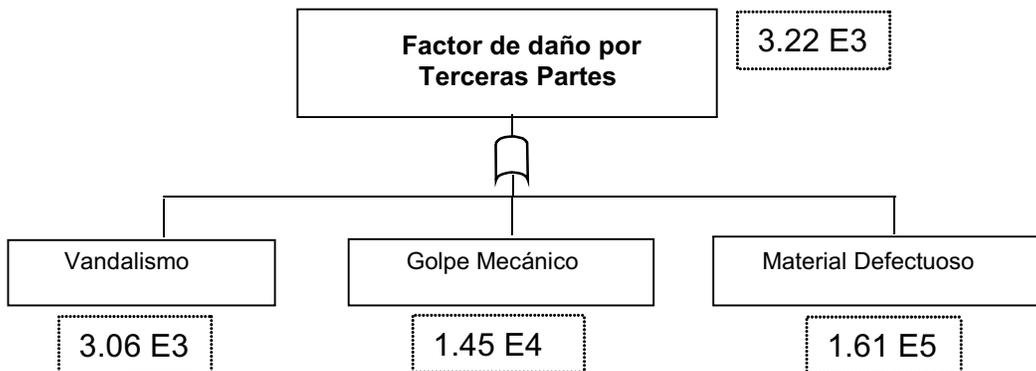


Figura 3.17. Probabilidad de falla para el factor de diseño:

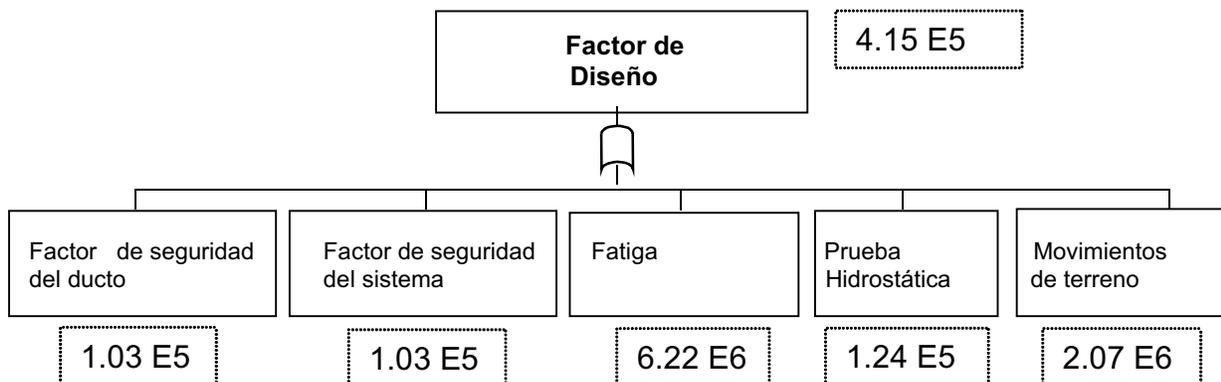
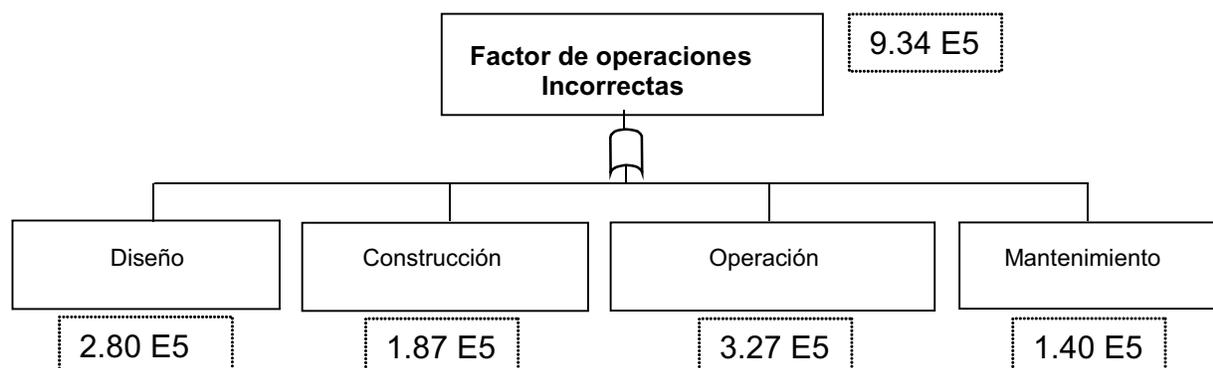


Figura 3.18. Probabilidad de falla para el factor de operaciones incorrectas:



Tercera sección: Resumen de resultados de los factores de riesgo en función de la probabilidad de ocurrencia

Se presentan en la Tabla 3.7 de manera resumida y de mayor a menor los factores o índices de riesgo asociados a la operación de poliductos de transporte de destilados de acuerdo a la probabilidad de ocurrencia de un evento desagradable o catastrófico durante la operación de los ductos de instalaciones petroleras, multiplicado por el factor de intensificación por incidencias para finalmente obtener la probabilidad de falla corregida y más cercana a la realidad, de acuerdo a los datos disponibles en Pemex.

Tabla 3.7. Probabilidad de falla de los factores de riesgo analizados			
Factores de riesgo asociados a la operación de poliductos	Probabilidad de falla (fallas/hr)	Factor de intensificación por incidencias	Corrección a la Probabilidad de falla (fallas/hr)
Daños por terceras partes	3.22 E3	1.395	4.49 E3
Corrosión	1.30 E3	1.51	1.96 E3
Operaciones incorrectas	9.34 E5	1.055	9.85 E5
Diseño	4.15 E5	1.04	4.31 E5

El propósito principal de este capítulo fue determinar las probabilidades de ocurrencia de los factores de riesgo definidos en el capítulo 2, en función de los datos históricos disponibles recabados en Petróleos Mexicanos, para los sistemas de poliductos. Se puede concluir hasta este momento, que derivado de los resultados de la Tabla 3.7, se tienen los elementos de juicio para proponer acciones encaminadas a controlar estos factores de riesgo en orden de prioridad, atendiendo las causas que originan las tomas clandestinas, que es la causa más común que interviene en los accidentes y la corrosión en segundo orden de importancia.

CAPÍTULO 4

DETERMINACIÓN DE LA MAGNITUD Y SEVERIDAD DE EVENTOS Y SU IMPACTO AL MEDIO AMBIENTE

4.1. Descripción del Capítulo

En este capítulo, se describe el proceso del análisis de consecuencias como parte del Análisis de Riesgos y Seguridad Industrial para el poliducto de 12" D.N. Minatitlán-Villahermosa, perteneciente a la *Red Nacional para el Transporte de Poliductos*. Se incluyen los resultados del análisis, así como la descripción de las instalaciones, definición de palabras que son comúnmente usadas a lo largo del capítulo.

4.2. Etapas del Proceso de Análisis

Determinación de los requerimientos específicos y selección de técnicas o métodos, para realizar un análisis de consecuencias. Entre estos requerimientos podemos mencionar:

- Identificación de riesgos en las instalaciones del sistema de poliductos.
- Categorización de las hipótesis de los accidentes.
- Jerarquización de los accidentes.
- Selección de accidentes a simular.
- Estimación de la magnitud de las consecuencias hacia el Personal, las Instalaciones y el Medio Ambiente.

4.3. Definiciones

Las definiciones que se indican a continuación designan los términos utilizados en este capítulo y tienen un significado específico dentro del contexto del mismo.

HAZOP (Estudio de Peligro y Operabilidad). Es una técnica de análisis de seguridad del proceso, desarrollada para identificar los problemas de tipo operativo y los peligros implícitos de los procesos de plantas químicas y por

extensión tiene aplicación en instalaciones de transporte de hidrocarburos líquidos o gaseosos.

Sistema. Designa por lo general, la combinación de los componentes individuales (ejemplo: bombas, tuberías de interconexión, instrumentos, etc.) que al operar en conjunto dan por resultado el proceso de compresión, bombeo, regulación, medición, y por supuesto el transporte de destilados de petróleo para nuestro caso de estudio. Existen otros sistemas que tienen funciones auxiliares, como en el caso de los sistemas contraincendio, agua de servicios, diesel, drenajes, gas para instrumentos, etc.

Elementos. Partes individuales de una instalación (por ejemplo: Ducto, Segmento, Tramo, Válvulas de Seccionamiento, Trampas de Recibo y Envío de Diablos, instrumentación, etc.), que interconectadas, conforman un sistema de transporte y distribución de destilados de petróleo.

Hallazgos. Son situaciones que ponen en peligro tanto al personal como a la instalación, por violar códigos y normas tanto nacionales como internacionales. Por ejemplo: falta de señalización de los derechos de vía de poliductos, deficiencias en el sistema de protección catódica, etc.

En el ámbito del estudio de Hazop, hallazgo es un escenario identificado que al ser evaluado por el equipo de estudio, se determina que requiere una acción correctiva.

Análisis Cualitativo. Son aquellas metodologías de análisis de riesgos que tienen como finalidad la identificación de los diferentes tipos de riesgo existentes en una instalación, y están soportadas en la experiencia del evaluador, cumplimiento con los códigos y normas; están basadas en el llenado de listas de verificación; por medio del sentido común; o por medio de técnicas sistemáticas de identificación de riesgos, como los métodos "Hazop", "Que pasa Si..." etc.

Análisis Cuantitativo. Son aquellas metodologías que tienen como finalidad determinar la magnitud de los riesgos, ya sea por medio del cálculo de la probabilidad de ocurrencia; por medio del cálculo de las áreas afectadas, la determinación de pérdida de la producción, la determinación del índice de riesgos de la instalación, etc.

Análisis de Consecuencias. Un análisis del posible efecto de un evento como una Explosión de Vapores producto de la Expansión de Líquidos en Ebullición ("BLEVE, Boiling Liquid-Expanding Vapor Explosión), o explosiones en espacios confinados y no confinados involucrando fluidos inflamables, así como las ondas de sobrepresión generadas y su radiación, empleando para ello algoritmos matemáticos (modelos) para predecir la extensión real (consecuencias) en el sistema.

Modelos de Emisión. Son modelos matemáticos que determinan la cantidad y fase del material tóxico y/o inflamable y/o explosivo liberado a la atmósfera.

Modelo de Dispersión. Son modelos matemáticos y/o empíricos que determinan la concentración del material tóxico y/o inflamable y/o explosivo emitido en el medio que se dispersa y su comportamiento está en función del tiempo.

Modelos de Fuego. Son modelos matemáticos y/o empíricos que determinan niveles de radiación térmica para una distancia de interés.

Modelos de Explosión. Son modelos matemáticos y/o empíricos que determinan niveles de sobrepresión para una distancia de interés.

4.4. Desarrollo del Proceso de Análisis

Este proceso de análisis del poliducto de 12" D.N. Minatitlán-Villahermosa, perteneciente a la *Red Nacional para el Transporte de Poliductos*, está fundamentado con base en la metodología y procedimientos mostrados en las Figuras 4.1 y 4.2, y de forma general se describe a continuación.

Figura 4.1. Procedimiento de Análisis de Riesgos y Seguridad Industrial para el poliducto de 12" D.N. Minatitlán-Villahermosa.

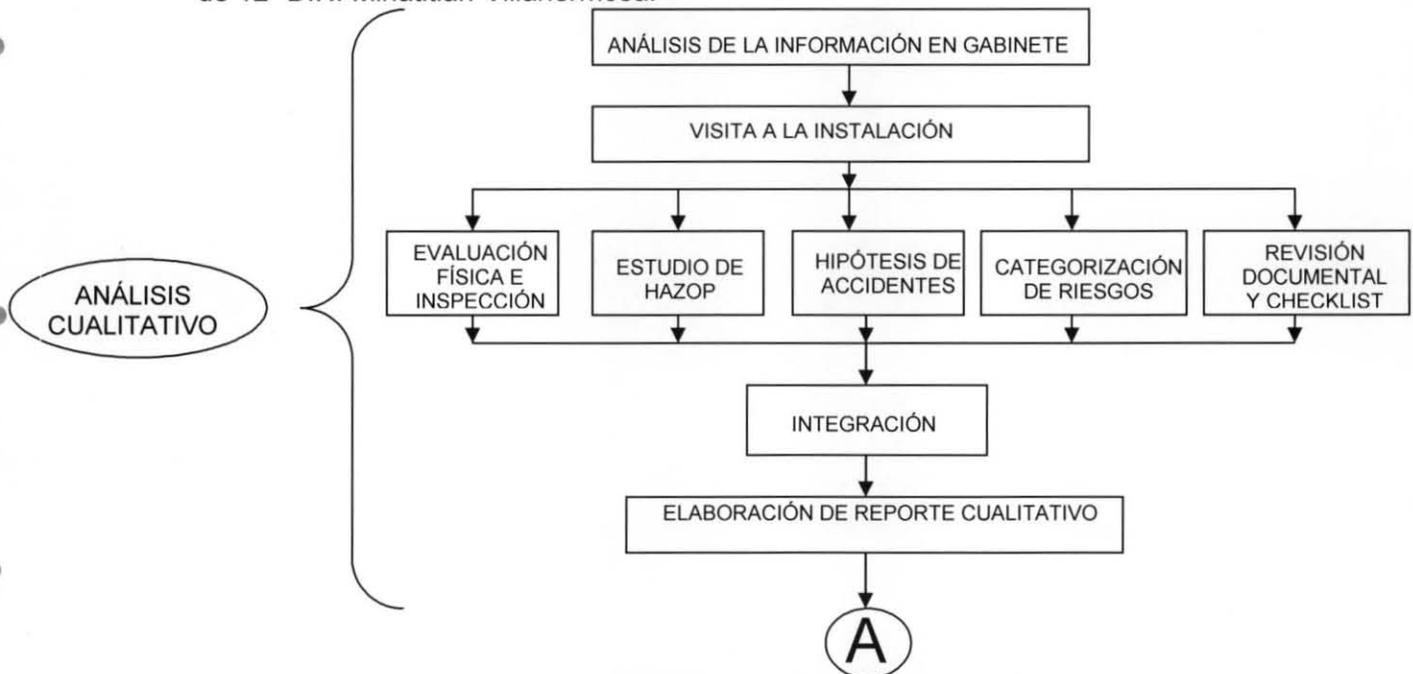
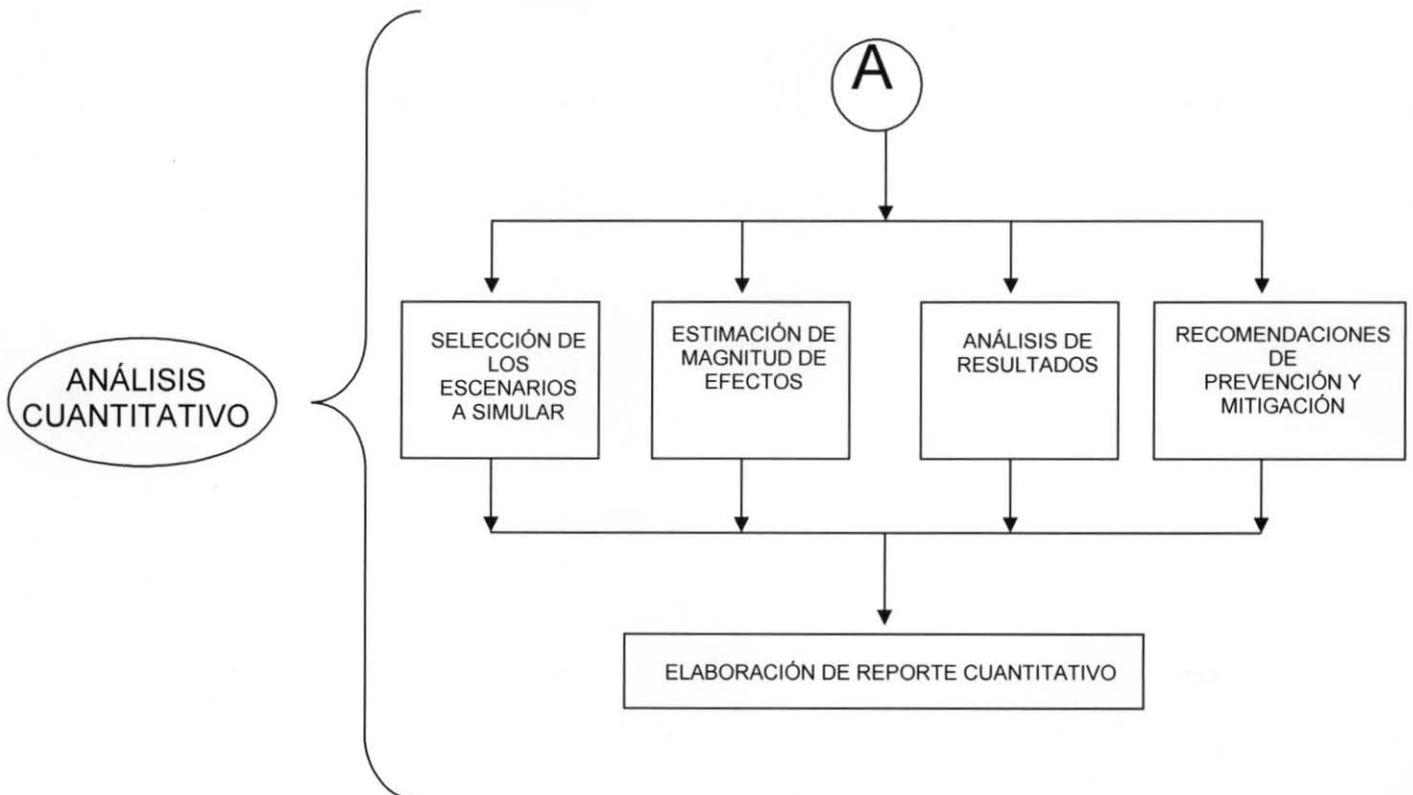


Figura 4.2. Procedimiento de Análisis de Riesgos y Seguridad Industrial para el poliducto de 12" D.N. Minatitlán-Villahermosa.



4.4.1. Etapas de la Metodología

La metodología de evaluación aquí planteada consideró la realización de análisis de tipo Cualitativo y Cuantitativo incluyendo el análisis de Causas y Consecuencias.

Análisis Cualitativo

En la Figura 4.1. se muestran esquemáticamente los componentes del Análisis Cualitativo del poliducto de 12" D.N. Minatitlán-Villahermosa perteneciente a la *Red Nacional para el Transporte de Poliductos*, son los siguientes.

- Análisis de Información. El procedimiento inició con una revisión previa de la información disponible. La información revisada, contiene documentos de diseño y construcción, así como información de las condiciones atmosféricas de las instalaciones.
- Visita a las Instalaciones. En esta etapa el equipo de trabajo (Especialistas en Análisis de Riesgos), nos trasladamos a las instalaciones, con la finalidad de efectuar una inspección física de cada uno de los elementos, equipos y dispositivos que componen el sistema de poliductos (para el caso de estudio), cabe destacar las dificultades encontradas en campo para desarrollar esta investigación, en virtud de la problemática que se vive en el ánimo de las autoridades de Pemex, y que se encuentran asociadas a los accidentes y derrames suscitados recientemente en la región sureste del país esto por un lado, y por el otro la desconfianza de los propietarios de los terrenos y parcelas por donde cruzan los derechos de vía que alojan a los poliductos, y que se mostraron recelosos en una primera instancia al no permitirnos el acceso a las instalaciones de Pemex. Adicionalmente, fue necesario recurrir a permisos especiales de las áreas administrativas de Petróleos Mexicanos, para poder desarrollar las tareas de recopilación de información y conocimiento de las condiciones reales del poliducto de 12" D.N. Minatitlán-Villahermosa.

- Estudio de Hazop. Una vez revisados cada uno de los elementos que componen el sistema del poliducto de 12" D.N. Minatitlán-Villahermosa, y planteadas las etapas del proceso de análisis, se procedió a efectuar el estudio de Hazop "In situ" (identificación de peligros derivados de la operación).
- Hipótesis de Accidentes. A partir de la inspección física y del estudio de Hazop, pudimos definir una serie de posibles peligros, que pueden afectar ciertas áreas del poliducto, para ello tabulamos y numeramos cada uno de los accidentes que hipotéticamente podrían desarrollarse (se presentan más adelante en este mismo capítulo los escenarios que fueron analizados).
- Jerarquización. de Riesgos. Los peligros definidos con anterioridad, fueron catalogados dependiendo de su riesgo, o de la magnitud (desastre) que podrían ocasionar en caso de presentarse, esto se hace jerarquizando los riesgos (considerando los criterios del Sistema de Administración de Seguridad y Protección Ambiental de Pemex-Refinación "SIASPA").
- Revisión Documental y Checklist. En forma paralela a la inspección física, llenamos una serie de cuestionarios, listas de verificación o Checklist que reportan el estado que presenta cada uno de los elementos del sistema de poliductos, estos cuestionarios contienen preguntas y requisitos que deben cumplir cada uno de los equipos y dispositivos del sistema en el caso de estudio.
- Elaboración de Reporte Cualitativo. Derivado de la información y documentación recopilada, se desarrolló un análisis final de la etapa cualitativa, cuyos resultados forman parte fundamental de este estudio.

Análisis Cuantitativo

El análisis Cuantitativo estuvo formado por las siguientes actividades, las cuales están representadas esquemáticamente en la Figura 4.2.

- Selección de los Escenarios a Simular. Una vez que los escenarios fueron categorizados y Jerarquizados, elegimos una serie de posibles escenarios para su simulación (ver tablas relativas más adelante, de este capítulo), dicha selección trató de cubrir todos los eventos potenciales.
- Estimación de Magnitud de Efectos. El análisis Cuantitativo inició con el proceso de estimación de magnitud de efectos, es decir, de acuerdo a los riesgos jerarquizados y a las hipótesis de accidentes que se pueden presentar en la instalación, se efectuó la simulación teórica de los riesgos más importantes, empleando el programa para modelación de consecuencias PHAST (Process Hazard Analysis Software Tools) con el cual se determinaron las áreas que se verían afectadas en caso de ocurrir, así como los niveles de radiación y sobrepresión. Este desarrollo se denomina "Análisis de Consecuencias", a partir del cual, se evaluó la implicación de cada una de las hipótesis simuladas, incluyendo el impacto a la población cercana, así como el daño a las instalaciones y daño al entorno.
- Reporte de Análisis Cuantitativo. Como resultado de esta fase se obtuvo un reporte de Análisis Cuantitativo, el cual contiene los resultados de la magnitud de los efectos, de acuerdo a la frecuencia de ocurrencia de accidentes, así como la estimación del nivel de riesgos.

4.5. Simulación de Efectos Sobre el Entorno

4.5.1. Metodología del Modelado de Consecuencias

El Modelado de Consecuencias es el término aplicado al uso de ecuaciones matemáticas (los modelos), para predecir la extensión real (las consecuencias), de los riesgos que representan accidentes supuestos. Los accidentes típicos incluidos en un análisis de consecuencias de una instalación que maneja hidrocarburos, se listan a continuación:

- Incendios, involucrando el relevo de fluidos inflamables (incendios en recipientes, incendios de fluido a chorro e incendios por flasheo).

- Explosiones (en espacios confinados y no confinados), involucrando fluidos inflamables.

4.5.1.1- Riesgos de Interés

Los riesgos que representan los accidentes antes mencionados incluyen lo siguiente:

- **Energía Térmica:** Exposición a la energía térmica producida por incendios debidos a flasheo (incendio de nubes de vapor), incendio en recipientes e incendio de fluidos a chorro.
- **Sobrepresiones Explosivas.** Exposición a las ondas de sobrepresión generadas por explosiones en espacios abiertos.
- **Explosiones.** Exposición a proyectiles (fragmentos de material de los elementos colapsados) producidos por una explosión.

Por cada riesgo listado con anterioridad, puede haber varios "niveles de riesgo" de interés, dependiendo de las condiciones del entorno en que ocurre y además las características químicas del hidrocarburo de que se trate. Esto nos permite desarrollar relaciones entre estos riesgos y sus efectos potenciales sobre la gente.

Los niveles de riesgo seleccionados para este caso de estudio son aquellos que pueden causar lesiones o incluso la muerte a las personas expuestas a dicho riesgo. Sería muy difícil que alguien que se encuentre fuera de la zona definida de peligro pudiera sufrir la muerte. Se listan a continuación los niveles de riesgos:

Energía Térmica

Exposición a la Radiación Producida por Incendios con Flasheo

El elemento sujeto a análisis es la nube de vapor limitada por la superficie tridimensional en la que la concentración de vapor inflamable en el aire equivale al límite inflamable inferior (LII).

Por lo que el área peligrosa creada por un incendio debido a flasheo es aproximadamente igual al área de la nube de vapor inflamable sin encender. El contorno de concentración del LII se utiliza para aproximar el límite del incendio de flasheo.

El contorno de concentración del LII se utiliza para representar el límite de los efectos peligrosos de los incendios por flasheo, ya que las personas que se encuentran fuera del contorno del LII en el momento de la ignición no estarán en contacto con las llamas y sólo estarán expuestas durante un período corto de tiempo a diversos niveles de radiación.

Entonces, las personas que se encuentren fuera de la nube del LII no correrán ningún peligro de lesión causada por los efectos térmicos del incendio debido a flasheo. El equipo de proceso y el acero estructural por lo general no sufrirán daño significativo por este tipo de incendio debido al corto tiempo de exposición.

Los materiales inflamables (como madera, plásticos o fluidos que se estén fugando) dentro de la zona del incendio debido a flasheo, podrían prenderse y ocasionar un daño mayor.

Exposición a la Radiación Producida por Incendios en Recipientes o por Incendios de Líquidos a Chorro

El nivel de flujo de calor que podría ocasionar dolor en un minuto de exposición es de 550 Btu/hr-pie² (1.73kw/m²). La exposición a este nivel de radiación podría causar quemaduras si el período de exposición es suficientemente prolongado, es decir a partir de 60 segundos.

Sobrepresiones Explosivas

El valor límite del daño estructural para "debilitar" las estructuras es de 0.169 kgf/cm² (2.4 psig.). Esta sobrepresión es capaz de romper ventanas de vidrio, dañar el techo de construcciones prefabricadas, etc. Los seres humanos no sufrirán lesiones por los efectos directos de la exposición a una onda de sobrepresión de esta intensidad. Sin embargo, sí podrían resultar heridos por los efectos secundarios, por detonaciones o reacciones en cadena debidos a la cercanía de otros equipos y material inflamable (como la proyección de fragmentos de vidrio, piezas de tornillería, etc.)

Este nivel de sobrepresión podría o no causar daños a los elementos de los poliductos o a las estructuras. Ciertamente cualquier elemento o equipo dentro de la zona inflamable, delimitada por un escenario de escape de gasolina u otro material combustible o vapores de hidrocarburo se encuentran en peligro de sufrir daños si la nube explotara.

Explosiones

En las explosiones se generan proyectiles (fragmentos del recipiente contenedor) los cuales alcanzan grandes velocidades y fuerza de impacto ocasionando daños severos en el radio de exposición.

4.5.2. Modelos de Simulación de Efectos Sobre el Entorno

4.5.2.1. Selección de los Modelos de Consecuencias

Se cuenta con varios modelos matemáticos disponibles para predecir el grado de cada tipo de peligro de interés. Al realizar modelos de consecuencias, es importante utilizar modelos que sean lo más apropiado posible para cada escenario específico de accidentes (es decir, las bases del modelo deben reflejar las condiciones específicas creadas por el accidente

Modelos de Dispersión de Vapores

La dispersión de vapores de gases relevados se presenta cuando un gas o vapor es desalojado a la atmósfera y por sus características físicas como densidad, composición, peso molecular; las condiciones climatológicas: velocidad del viento, presión atmosférica, temperatura ambiente, etc., se establece la dispersión del gas en la atmósfera y varía desde una concentración del 100% hasta una dispersión total del gas en la atmósfera 0%, entre este rango se presentan los niveles riesgosos de concentración definidos como: límite inflamable superior (LIS) y límite inflamable inferior (LII).

Modelo de Explosión de la Nube de Vapor

El modelo de explosión de la nube de vapor está basado en la ley de escala de raíz cúbica que se ha utilizado durante muchos años. La ley de escala de raíz cúbica, simplemente dice que la distancia que recorre la onda de choque de la explosión antes de desintegrarse a cualquier sobrepresión dada es igual al producto de un factor que varía con la sobrepresión y la raíz cúbica del peso del TNT equivalente que liberaría la misma cantidad de energía explosiva como la masa de gas dentro de la nube de vapor inflamable.

El programa utiliza los resultados del modelo de dispersión de vapor para calcular la masa de un gas inflamable dentro de la sección de la nube de vapor en la cual la concentración de gas está entre el límite inflamable superior (LIS) y el límite inflamable inferior (LII). Esta masa se multiplica por el calor de combustión del gas, se divide entre el calor de combustión del TNT y entonces se multiplica por un factor de eficiencia del 10 por ciento para llegar al peso equivalente de TNT para usarlo en la ecuación de la raíz cúbica.

4.5.3. Programa utilizado para el Modelado de Consecuencias

El programa usado para realizar la modelación de consecuencias es el **PHAST** (Process Hazard Analysis Software Tools).

PHAST es un Software de DNV Technica Inc, que tiene como objetivo principal evaluar y optimizar la tecnología a fin de disminuir daños ambientales, pérdidas de vidas y financieras.

PHAST es un producto para la modelación de consecuencias en un ambiente Windows. Permite predecir las consecuencias de Inflamabilidad y Toxicidad a partir de descargas atmosféricas de diseño y rutinarias, descargas atmosféricas accidentales de materiales peligrosos. Además permite que los diagramas de pétalos, representativos de los efectos de las consecuencias sean sobrepuestos en mapas y otros tipos de gráficas.

Los modelos considerados se dividen de la siguiente manera:

➤ **Modelos de Descarga.**

- Flujos de líquidos, gases o de dos fases.
- Materiales Individuales y Mezclas.
- Comportamiento estable o dependiente del tiempo.
- Descargas en interiores de construcciones y cuartos.

Estos modelos de descarga predicen la tasa de flujo (flujo másico) y el estado físico del material al ser liberado a la atmósfera.

Los modelos son de amplio alcance y cubren un gran rango de escenarios de descargas.

➤ **Modelos de Dispersión.** Los modelos de dispersión predicen:

- Formación de Aerosoles.
- Condensación y Formación de Charcos.

- Nubes densas.
- Nubes Gaussianas Pasivas.

Diferentes descargas causan diferentes tipos de nubes, PHAST selecciona automáticamente el modelo adecuado de acuerdo al comportamiento de la nube para predecir todas las consecuencias físicas.

➤ **Modelos de Inflamabilidad.**

Los modelos de inflamabilidad predicen:

- Niveles de Radiación.
- Zonas de Deflagración.
- Niveles de Sobrepresión.

➤ **Los Modelos de Descarga, dispersión e Inflamabilidad incluyen.**

- Blevés y Bolas de Fuego.
- Incendio de Charcos.
- Explosión de Nubes de Vapor.
- Flama de Chorro.
- Deflagraciones.

Los materiales inflamables pueden causar varias consecuencias peligrosas. PHAST aplica en forma automática cada modelo, cuando es apropiado, para cuantificar estos efectos.

➤ **Los Modelos Tóxicos Predicen.**

- La concentración en función de la distancia a favor del viento.
- La concentración en función del tiempo en cualquier punto dentro de la nube.
- Vistas en planta de la nube.
- Comportamiento de la concentración dentro de espacios confinados.
- Valores de carga tóxica en la nube.

➤ **Importancia de utilizar PHAST.**

- Estima la magnitud de consecuencias.
- Determina modificaciones.
- Prepara planes de contingencia.
- Cumple con la legislación.
- Promueve la conciencia de la seguridad.

4.6. Identificación de las instalaciones del caso de estudio

4.6.1. Descripción del sistema del poliducto de 12" D.N. Minatitlán-Villahermosa, con origen en la Refinería de Minatitlán y destino en la Agencia de Ventas de la ciudad de Villahermosa.

La Refinería Gral. Lázaro Cárdenas de Minatitlán, Veracruz.

Inició operaciones en 1906, siendo la primera gran refinería de Latinoamérica, hoy cuenta con 27 plantas industriales, dedicadas a la producción de energéticos. Tiene una extensión de 800 hectáreas, donde se ubican las instalaciones necesarias para procesar 190,000 barriles diarios de petróleo crudo y 30,000 barriles de líquidos de Mezcla de Butanos. Además cuenta con un sector ubicado en la Cangrejera Veracruz, donde existen 3 plantas que procesan diariamente 170,000 barriles de petróleo crudo tipo Maya.

El área de influencia, donde su producción abastece de combustible al mercado, incluye al sureste del país y parte de la demanda del Distrito Federal. Los estados que reciben energéticos de la Refinería Gral. Lázaro Cárdenas, son: Puebla, el sur de Veracruz, Tabasco, Campeche, Yucatán y Quintana Roo. (Fuente: Revista Octanaje de Pemex-Refinación, 2003).

La reconfiguración implementada en la Refinería, permitirá a PEMEX un aprovechamiento más adecuado de los recursos petroleros, ya que con las nuevas plantas será posible obtener, a partir de residuales, productos de mayor valor agregado y que producen menos emisiones al ser utilizados. La reconfiguración atiende, además, el objetivo de reducir las importaciones de gasolina del extranjero.

La Refinería, elabora un total de 10 productos diferentes: 8 de ellos energéticos que son utilizados como combustible y petroquímicos básicos que son materias primas para la elaboración de numerosos materiales sintéticos. Esta diversidad de productos es consecuencia de que las instalaciones de la Refinería, fueron la cuna de las plantas petroquímicas de Pemex, cuando la empresa no se encontraba dividida en subsidiarias. En la tabla 4.1, se indican los productos elaborados, sus cantidades y usos más comunes.

Tabla 4.1 Productos energéticos elaborados (cantidades y usos).

Productos Energéticos		
Producto	Cantidad (en barriles)	Uso
Gasolina Magna-Sin	60,000	Combustible para automóviles
PEMEX Diesel	28,000	Combustible para transportes
Diesel Desulfurado	20,000	Combustible para transportes
Turbosina	5,000	Combustible para aviones
Combustóleo	72,000	Combustible para procesos industriales
Gas LPG	30,000	Combustible para usos domésticos e industrial
Isobutano	7,000	Materia prima para elaborar gasolinas
Gas Nafta	8,000	Solvente
Productos Petroquímicos		
Productos	Producción diaria	Uso
Ciclohexano	2,500 Barriles	Materia prima para elaborar fibras
Azufre	65 Toneladas	Materia prima para productos químicos

Fuente: Pemex-2004.

La Terminal de Almacenamiento y Distribución en Villahermosa (Agencia de Ventas).

La Terminal de Almacenamiento y Distribución en Villahermosa, inició sus operaciones el 30 de Junio de 1980. Está ubicada a 1.6 km del entronque de la carretera federal Villahermosa-Cárdenas, a la altura del km 7 en dirección al ejido "Lázaro Cárdenas", en la situación geográfica de la Zona Sureste de la República Mexicana. La Terminal de Almacenamiento y Distribución cuenta con una superficie total de 97,299 m², de los cuales 75,744 m², tienen construcción, con una población de 75 trabajadores en dos turnos, 64 sindicalizados y 11 de confianza, que de acuerdo a los últimos cambios estructurales y administrativos se dividen en una Superintendencia y cinco áreas de atención; Administración, Comercial, Operación, Mantenimiento y Seguridad Industrial y Protección al Ambiente (Fuente: Revista Octanaje de Pemex-Refinación, 2003).

La Terminal fue construida para apoyar y comercializar los productos que elabora la Refinería Lázaro Cárdenas del Río, de Minatitlán, Ver., por medio de un ducto de 12" de diámetro con un flujo aproximado de 20,000 BPD, a una temperatura de operación de 25 °C, gravedad específica de 0.74 y presión manométrica de 21 kg/cm². Aprovechando la localización geográfica y estratégica se proveen productos refinados del petróleo. El suministro de producto para autotanques, se da en nueve posiciones de llenado.

El área de productos refinados se encuentra con la siguiente disposición dentro de las instalaciones de la Terminal como se indica a continuación:

Área de refinados

Cuatro llenaderas de gasolina Pemex Magna

Cuatro llenaderas de Pemex Diesel

Una llenadera de gasolina Pemex Premium. Con la cantidad de posiciones de llenado y descarga. La Tabla 4.2 muestra los volúmenes promedio mensual de la

Terminal en ventas a Estaciones de Servicio, a Interorganismos y clientes diversos:

Tabla 4.2. Productos y volúmenes manejados en la Agencia de Ventas.

PRODUCTO	VENTAS m ³	TRASPASOS	ORGANISMOS
PEMEX Magna	39,669.426	0	18.442
PEMEX Premium	1,182.024	0	0
PEMEX Diesel	21,564.903	0	11.814
Diesel Marino	10,043.028	0	0
Diesel Bajo Azufre	1,050.050	0	0
ÁREA DE INFLUENCIA, PRODUCTOS EN VENTA Y TRASPASOS			
Gasolina PEMEX Magna		Tabasco, Chiapas y Campeche	
Gasolina PEMEX Premium		Tabasco, Chiapas y Campeche	
PEMEX Diesel		Tabasco, Chiapas y Campeche	
Diesel Marino		Tabasco, Chiapas y Campeche	
Diesel Bajo Azufre		Tabasco, Chiapas y Campeche	
No. de operadores	Promedio viajes	Promedio viajes en	Distancia diaria (km)
Turno diario	operadores	turno	recorrida
3	4	12	120 km/día
Equipo de laboratorio		Prueba	
Espectrofotómetro de Absorción Atómica		Determinación de Plomo	
Analizador de Azufre, Fluorescencia, Rayos X		Determinación de Azufre	
Determinación de Temperatura de Inflamación		Temperatura de Inflamación	
Destilador Automático		Destilación Refinados	
TIPO DE CLIENTES		CANTIDAD	
Estación en Servicio Local		22	
Estación en Servicio Foránea		51	
Distribuidores Genéricos		03	
Clientes Directos		01	
Clientes Gobierno		02	
Interorganismos		03	

Fuente: Pemex-2004.

La estación cuenta con los siguientes servicios auxiliares:

- Dos motogeneradores de combustión interna, alimentados con gas natural, para proporcionar energía eléctrica a los motores, tableros e instrumentos de control de campo y servicio de alumbrado.
- Red contraincendio compuesta de una motobomba eléctrica, una motobomba de combustión interna y un tanque vertical de almacenamiento de agua (todos propiedad de Pemex-Refinación).
- Cabezales de succión, descarga, recirculación y desfogue.
- Caseta de regulación de gas combustible para alimentación hacia turbinas; compuesta por: válvulas de regulación, separadores, drenes, etc.
- Edificio que funciona como cuarto de control, cuarto de servicios auxiliares, talleres y bodegas.
- La energía eléctrica es suministrada por la Comisión Federal de Electricidad, pero se cuenta con una planta de Emergencia y bancos de baterías.
- Capacidad de almacenamiento de 119'250,000 lts.

El poliducto de 12" de diámetro de la Refinería "Lázaro Cárdenas" en Minatitlán a la Terminal de Almacenamiento y Distribución de Destilados (Agencia de Ventas) Villahermosa.

El poliducto tiene una longitud aproximada de 174+747 km (según corrida de diablos, realizada por la Cía. Tuboscope en 1997), desde la Refinería Minatitlán, Ver., a la Agencia de Ventas en la ciudad de Villahermosa, capital del estado de Tabasco.

La tubería con la que fue construido este poliducto es de acero al carbón de 12 pulgadas de diámetro nominal con especificación API-STD-5L, Grado X-52, con un espesor nominal de 0.250 de pulgada.

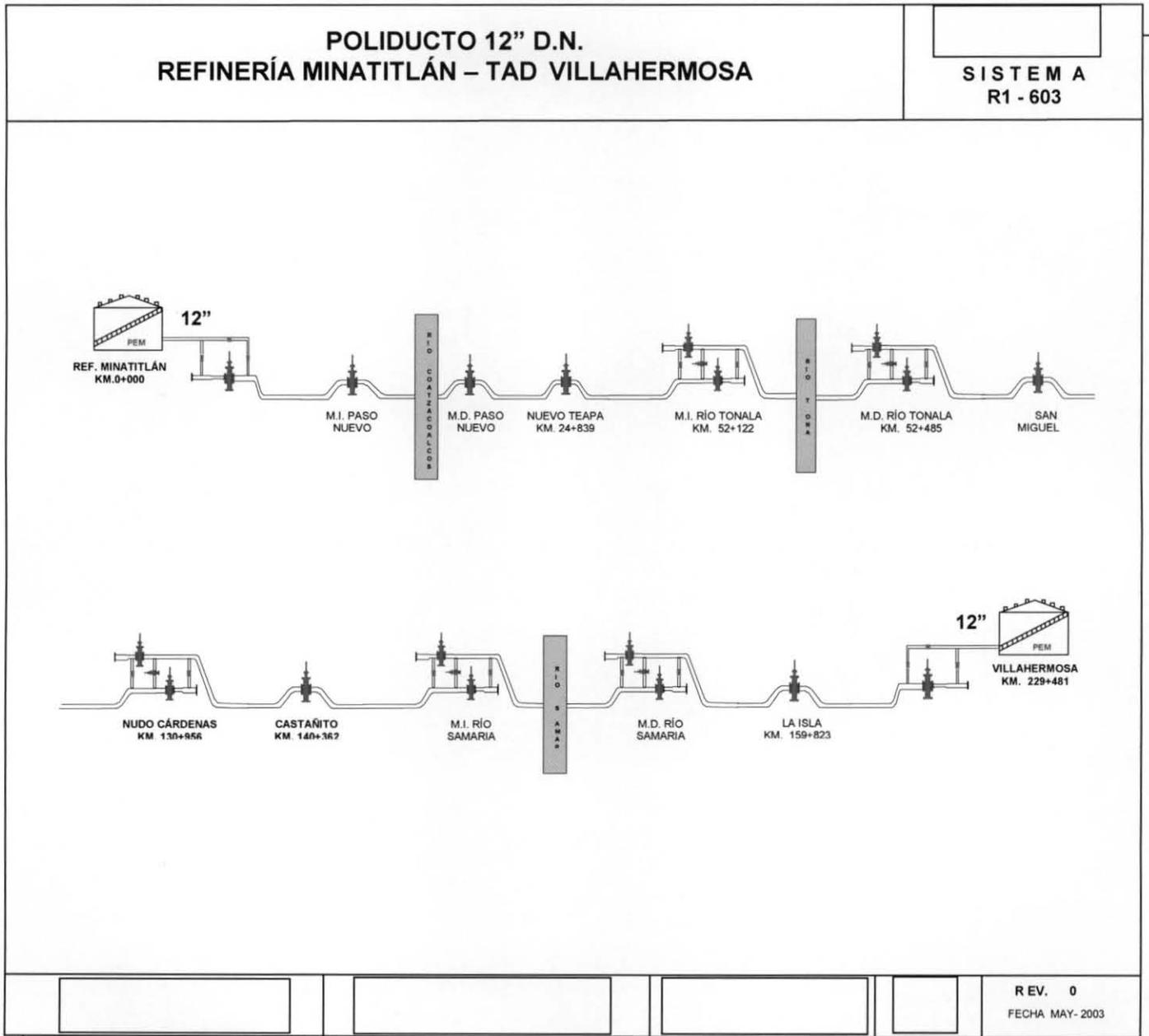
El año de construcción del poliducto es 1980, y se encuentra registrado en el Sector Minatitlán de Pemex Refinación, con los siguientes datos de operación: una presión de diseño de 28 kg/cm²; presión de operación 27 kg/cm²; temperatura máxima de operación de 40° C; tipo de protección mecánica de alquitrán de hulla, vidrio flex y vidrio mat; protección catódica a base de corriente impresa; protección interior (tipo de inhibidor), sin tratamiento especificado; 4 niples de evaluación ; clase de localización 1 y 3 (de acuerdo al diseño original); 4 válvulas de seccionamiento; 8 trampas de diablos; 16 pasos aéreos; 2 inspecciones con diablo instrumentado, realizada por Vetco (1991), y H. Rosen durante 1996 y Tuboscope en 1997. (Revista Octanaje de Pemex-Refinación, 2003).

Los productos que son transportados son: gasolinas Magna y Premium, así como también Diesel.

La siguiente Figura 4.3, muestra el diagrama unifilar del poliducto desde el origen en la Refinería de Minatitlán hasta el destino último en la Terminal de Almacenamiento y Distribución de Destilados en la Ciudad de Villahermosa, Tab.

En la Figura 4.3, se muestran además, las instalaciones superficiales tales como las válvulas de seccionamiento y las trampas de recibo y envío de diablos del sistema, también se puede apreciar los cruces con ríos importantes y los kilometrajes correspondientes tomando el sentido de acuerdo a la dirección del flujo, es decir el sentido va de la Refinería de Minatitlán Ver., a la ciudad de Villahermosa en el estado de Tabasco.

Figura 4.3 Diagrama Unifilar del Poliducto de 12" D.N. Minatitlán-Villahermosa.
Pemex,2003



Elementos que conforman el sistema de protección catódica del sistema del poliducto de 12" D.N. Ref. Minatitlán a Villahermosa.

Derecho de vía. Se define como 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. Norma de Pemex No.NRF-030-PEMEX-2003.

Rectificadores

Los rectificadores se localizan a lo largo del derecho de vía y su función básica consiste en suministrar el potencial eléctrico que protege catódicamente contra la corrosión exterior dentro de la zanja al poliducto de 12" D.N., y los demás ductos que comparten el mismo derecho de vía.

En la siguiente Tabla 4.3, se indica la localización de los rectificadores para este sistema del poliducto de 12 pulgadas de diámetro:

Tabla 4.3. Localización de rectificadores para el poliducto de 12" D.N. Mina-Vhsa.

Segmento: Poli 12" Minatitlán- Nudo Cárdenas (km)	Nombre
0+000	Refinería II
1+400	Refinería IV
3+150	San Francisco I
5+100	San Francisco III
8+100	Paso Nuevo I
14+700	Los Cocos
22+750	Nuevo Teapa
28+250	El Venado
34+600	Matamoros
43+350	Estación 2
51+100	Ceiba
59+000	Ogarrio I
66+000	Otates I
72+000	Magallanes
85+150	San Miguel I y II
99+150	San Fernando
116+000	Pilares I
Segmento: Poli 12" Nudo Cárdenas-Vhsa (km)	Nombre
130+956	Km 100
142+250	Estación I
154+150	San Eligio
167+025	Agencia de Ventas

Fuente: MIA del Poliducto de 12" D.N. SEMARNAT, 1998.

La Figura 4.4, muestra uno de los rectificadores que protegen al derecho de vía del poliducto de 12" D.N. Minatitlán-Villahermosa (obtenida en el trabajo de campo, 2005).

Figura 4.4. Rectificador de corriente impresa en el derecho de vía del poliducto de 12" D.N. Minatitlán-Villahermosa, 2005.



Cruce de ríos

En la Tabla 4.4, se indican los kilometrajes de los cruces con ríos importantes que en su desarrollo atraviesa el poliducto de 12" D.N., desde la Refinería Minatitlán, Ver., hasta la Agencia de Ventas en la ciudad de Villahermosa en el estado de Tabasco:

Tabla 4.4. Kilometraje de los cruces con ríos importantes del poliducto de 12" D.N. Minatitlán-Villahermosa.

Segmento: Poli 12" Minatitlán-Cárdenas (km)	Nombre
9+044	Río Coatzacoalcos
17+800	Arroyo Los Cocos
33+000	Arroyo El Dorado
52+180	Río Tonala
Segmento: Poli 12" Nudo Cárdenas-Villahermosa	
143+309	Río Samaria

Fuente: MIA del Poliducto de 12" D.N. SEMARNAT, 1998.

Clase de localización

Clasificación por Clase de Localización. Se define como el área unitaria que será la base para determinar la clasificación por clase de localización en ductos que transportan hidrocarburos comprende una zona de 1,600 m (1 milla) de longitud en la ruta de la tubería con un ancho de 400 m (1/4 milla), 200 m a cada lado del eje de la tubería.

La clasificación se debe determinar de acuerdo con el número de construcciones localizadas en esta área unitaria. Para propósito de la norma (NRF-030-PEMEX-2003), cada vivienda o sección de una construcción destinada para fines de ocupación humana o habitacional se considera como una construcción por separado.

De tal manera, a continuación se definen las cuatro clases de localización de acuerdo a la norma de Pemex citada en el párrafo anterior:

Clase de Localización 1. Corresponde con la tubería que en su área unitaria tienen 10 o menos construcciones destinadas a ocupación humana.

Clase de Localización 2. Corresponde a aquella tubería que en su área unitaria tienen más de 10 pero menos de 46 construcciones destinadas a ocupación humana.

Los ductos que cumplan con las Clases 1 o 2, pero que dentro de su área unitaria se encuentren al menos un sitio de reunión o concentración pública de más de 20 personas, tales como iglesias, escuelas, salas de espectáculos, cuarteles, hospitales o áreas de recreación, se deben considerar dentro de los requerimientos de la Clase de Localización 3.

Clase de Localización 3. Es la tubería que cumple con una de las siguientes condiciones:

a) Cuando en su área unitaria se tenga más de 46 construcciones destinadas a ocupación humana.

b) Cuando exista una o más construcciones a menos de 90 metros del eje de la tubería y se encuentre(n) ocupada(s) por 20 o más personas por lo menos 5 días a la semana durante 10 semanas al año.

c) Cuando exista un área al aire libre bien definida a menos de 100 metros del eje del ducto y ésta sea ocupada por 20 o más personas durante su uso normal, tal como un campo deportivo, un parque de juegos, un teatro al aire libre u otro lugar público de reunión.

d) Cuando se tenga la existencia de áreas destinadas a fraccionamientos o casas comerciales, en donde se pretende instalar una tubería a menos de 100 metros, aún cuando al momento de su construcción, solamente existan edificaciones en la décima parte de los lotes adyacentes al trazo.

e) Cuando el ducto se localice en sitios donde a 100 metros o menos haya un tránsito intenso u otras instalaciones subterráneas (ductos de agua, eléctricos, drenajes, etc.), en el entendido de que se considera tránsito intenso un camino o carretera pavimentada con un flujo de 200 o más vehículos en una hora pico de aforo.

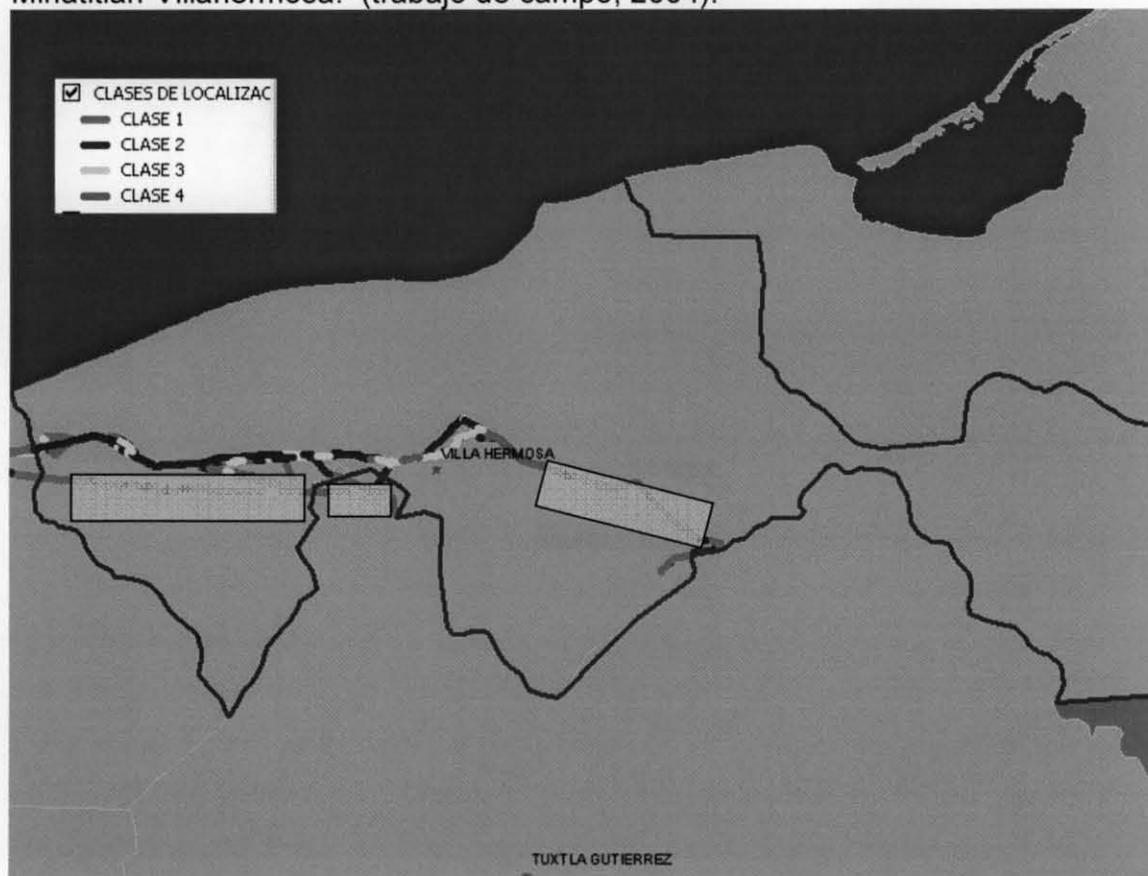
Clase de Localización 4. Corresponde a la tubería que en su área unitaria se encuentran edificios de 4 o más niveles contados desde el nivel de suelo, donde el tráfico sea pesado o denso; o bien, donde existan numerosas instalaciones subterráneas.

Cuando exista un grupo de casas o edificaciones cercanas a la frontera que divide dos Clases, las áreas unitarias se deben ajustar considerando el nivel de seguridad más crítico (Clases) extendiéndose 200 metros desde el último edificio del grupo más próximo a la siguiente área unitaria de menor nivel de seguridad, siguiendo el eje de la tubería, y que cumpla con los requerimientos del correspondiente nivel de seguridad. Norma de Pemex No. NRF-030-PEMEX-2003.

Estas clases se relacionan al tipo de actividad humana y la densidad de la misma en las áreas aledañas al derecho de vía del poliducto de 12" D.N.

La Figura 4.5, muestra las clases de localización de los derechos de vía del poliducto de 12" D.N. Minatitlán-Villahermosa. Cabe destacar que los derechos de vía en un porcentaje importante se encuentran compartidos con otros ductos, es decir en la misma zaja, se pueden encontrar más de un ducto, con sus características muy particulares de: servicio, temperatura, diámetro, antigüedad, etc. Para identificar el tipo de clase de localización se utilizan colores, así el color verde relaciona al derecho de vía (DDV), con una clase de localización 1, los colores azul, amarillo y rojo identifican a las clases de localización 2, 3 y 4 respectivamente.

Figura 4.5. Clases de localización para el DDV del poliducto de 12" D.N. Minatitlán-Villahermosa. (trabajo de campo, 2004).



En la Tabla 4.5, se indican las clases de localización para cada uno de los DDV's del poliducto de 12" D.N. Minatitlán-Villahermosa, de acuerdo al censo de DDV's compartidos, elaborado por el Comité Interorganismos de Ductos de Pemex (CID).

Tabla 4.5 Clases de localización, según el censo de DDV's Compartidos-Pemex.

Nún. DDV / Clase de loc.	% DDV	Long. (km)	Ubicación	Responsable	
35	1	0	4	Localidad inicial: Minatitlán. Localidad final: Arroyo San Francisco	Pemex-Refinación. Sector Minatitlán. (comparte con: PEP).
	2	75			
	3	25			
	4	0			
31	1	30	21	Localidad inicial: Arroyo San Francisco Localidad final: Nuevo Teapa	Pemex-Refinación. Sector Minatitlán. (comparte con: PEP).
	2	0			
	3	70			
	4	0			
23	1	10	30.5	Localidad inicial: Nuevo Teapa Localidad final: La Venta	Pemex Gas y Petroquímica Básica (comparte con PEP y PR).
	2	0			
	3	90			
	4	0			
16	1	35	30	Localidad inicial: La Venta Localidad final: Pejelagartero	Pemex Gas y Petroquímica Básica (comparte con PR).
	2	10			
	3	55			
	4	0			
15B	1	5	18	Localidad inicial: Pejelagartero Localidad final: San Fernando	Pemex Gas y Petroquímica Básica (comparte con PEP y PR).
	2	5			
	3	90			
	4	0			
12	1	100	27.1	Localidad inicial: San Fernando Localidad final: Cárdenas	Pemex Gas y Petroquímica Básica (comparte con PR).
	2	0			
	3	0			
	4	0			
8	1	0	5.6	Localidad inicial: Cárdenas Localidad final: El Misterio	Pemex Exploración y Producción (comparte con PR).
	2	60			
	3	40			
	4	0			
7	1	0	11.785	Localidad inicial: El Misterio Localidad final: Samaria	Pemex Exploración y Producción (comparte con PR).
	2	60			
	3	40			
	4	0			
4	1	10	10.53	Localidad inicial: Estación 1 Localidad final: La Isla	Pemex Gas y Petroquímica Básica (comparte con PR).
	2	70			
	3	20			
	4	0			
3	1	100	14	Localidad inicial: La Isla Localidad final: Margen derecha del río Grijalva	Pemex Exploración y Producción (comparte con PR).
	2	0			
	3	0			
	4	0			

Fuente: Comité Interorganismos de Ductos Pemex, 2002.

Testigos de corrosión

Los testigos de corrosión se instalaron en las zonas bajas de la tubería del poliducto de 12" de diámetro y estos son de mucha utilidad para monitorear la velocidad de corrosión de la pared de la tubería. Este control tiene como finalidad evaluar el desgaste por año que presentan las tuberías de acuerdo al servicio que circula en ellas, además proporciona un diagnóstico muy real de la eficiencia de los inhibidores de corrosión empleados en el sistema.

En la Tabla 4.6, se indica la localización de estos cupones de corrosión en el derecho de vía del poliducto de 12" Refinería de Minatitlán Ver., a la Agencia de Ventas en la Ciudad de Villahermosa, Tab.

Tabla 4.6. Kilometraje de los cupones de corrosión del poliducto de 12" D.N.

Segmento: Poli 12" Minatitlán-Cárdenas (km)	Localización
0+000	En el km 0+000 de la Ref.
24+677	En válvula de seccionamiento Estación Nuevo Teapa
130+956	En la trampa de recibo de diablos en Cárdenas
Segmento: Poli 12" Nudo Cárdenas-Villahermosa (km)	Localización
160+947	En la trampa de recibo de diablos de la Agencia de Ventas de la ciudad de Villahermosa, Tab.

Fuente: MIA del Poliducto de 12" D.N. SEMARNAT, 1998.

Válvulas de seccionamiento. En términos generales, las válvulas de seccionamiento son instalaciones superficiales, que se colocan en las líneas de poliductos y ductos en general, y tienen como objetivo, poder delimitar el riesgo y daño ocasionado por alguna rotura del ducto, así como facilitar el mantenimiento del sistema. Dichas válvulas se instalaron (de acuerdo a las prácticas de ingeniería norma NRF-030 Pemex-2003), en aquellos lugares de fácil acceso, y

además protegidas contra daños o alteraciones. La localización de las válvulas se hace preferentemente en los aquellos lugares que por necesidad de operación sea conveniente instalarse en:

- a) 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 que tengan más de 30 m de ancho.
- 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. De acuerdo a la norma NRF-030 Pemex-2003, 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. La Tabla 4.7, indica los espaciamientos recomendados por la norma NRF-030 de Pemex.

Tabla 4.7. Espaciamiento máximo de las válvulas de seccionamiento para ductos que transportan gas.

Clasificación por Clase de Localización	Espaciamiento máximo (km)
1	30
2	20
3	10
4	5

Norma NRF-030 Pemex-2003.

La Figura 4.6, muestra una válvula de seccionamiento típica para el poliducto de 12" D.N. Mina-Vhsa. La válvula es de tipo manual.

Figura 4.6 Válvula de seccionamiento tipo manual en los sistemas de poliductos.



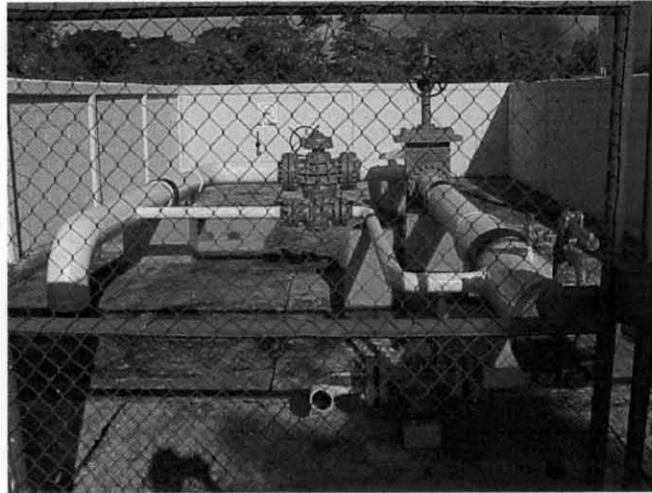
Cabe destacar que a pesar de que la norma reglamenta la separación máxima de válvulas de seccionamiento para líneas que transportan gas, estos criterios son aplicados también a otros servicios como los poliductos.

Trampas de diablos. La colocación de las trampas de diablos obedece a las consideraciones de diseño, según sea necesario para una eficiente operación y mantenimiento del ducto,

Todas las trampas de diablo deben quedar con anclajes y soportes adecuados para evitar que se transmitan esfuerzos originados por la expansión y contracción de la tubería, a las instalaciones y equipos conectados. La trampa de diablo y sus componentes preferentemente deben probarse simultáneamente con la tubería de transporte y bajo las mismas condiciones.

La Figura 4.7, muestra la trampa de recibo de diablos de poliducto de 12" D.N. en la Agencia de Ventas en Villahermosa (obtenida en el trabajo de campo, 2004).

Figura 4.7 Trampa de recibo de diablos del poliducto de 12" D.N. Mina-Vhsa.



Cruces. Comúnmente los sistemas de ductos para transporte de hidrocarburos cruzan en su ruta con una serie de obstáculos artificiales y naturales como son: ríos, lagos, pantanos, montañas, poblados, carreteras, vías férreas, tuberías, canales, etc. Estos cruzamientos se consideran como obras especiales dentro del proyecto, debido a que requieren de consideraciones específicas para su diseño y construcción dado que interrumpen la instalación de la línea regular.

Instrumentos y dispositivos de protección. La rama operativa en base a un análisis de riesgo determinará las necesidades en cuanto a instrumentación, dispositivos de protección y sistema SCADA (sistema de control y adquisición de datos).

Los instrumentos que se utilicen en la línea regular y en las trampas de diablos, deben cumplir como mínimo con lo siguiente:

- Ser de última tecnología y compatible con el software y protocolos abiertos de conversión de señales hacia el cuarto de control.

- Proporcionar información en tiempo real de las variables de operación del sistema, de acuerdo con sus requerimientos específicos (temperatura, composición, densidad, flujo y presión).
- La señal que emitan los instrumentos debe tener la claridad necesaria para que no se preste a falsas interpretaciones.
- La medición debe estar dentro de las tolerancias de exactitud fijadas por el fabricante.

Los dispositivos de protección deben cumplir como mínimo con lo siguiente:

- Contar con un sistema de alarma que permita al personal de operación tomar acciones correctivas oportunas cuando ocurran desviaciones a las condiciones de operación.
- Actuar automáticamente y en tiempo real.

El caso del poliducto de 12" D.N. Minatitlán-Villahermosa, no dispone del sistema SCADA, en sus instalaciones superficiales (válvulas de seccionamiento y trampas de diablos), estas son de acción manual en toda su longitud, desde el origen en la refinería de Minatitlán en el estado de Veracruz, hasta su destino final en la Terminal de Almacenamiento y Distribución en la ciudad de Villahermosa, estado de Tabasco.

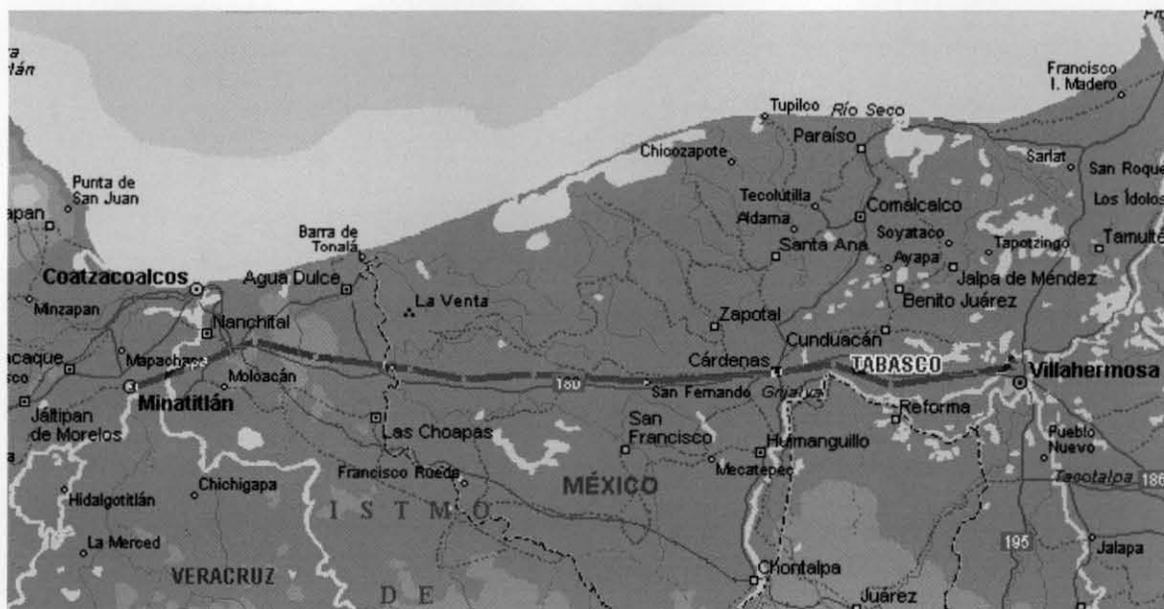
Otro tipo de válvulas que son instaladas, son las de retención (check), las cuales son distribuidas estratégicamente a lo largo de los ductos que transportan líquidos para que la carga hidrostática no rebase 10 Kg/cm² en las partes más bajas, también deben permitir el paso de diablos (limpieza, geometra, simulador, instrumentado, etc.). Su localización, obedece tomando en cuenta la seguridad pública, preferentemente cerca de poblaciones importantes para prevenir el desalojo de la tubería cuando ocurran fugas antes de la válvula de seccionamiento más próxima corriente arriba.

En el caso de perfiles descendentes se debe contar con dispositivos controladores de presión para impedir que en ningún punto del ducto la carga hidrostática exceda la presión interna de diseño o la capacidad de presión de los componentes del ducto.

En el poliducto de 12" D.N. Minatitlán-Villahermosa, no se encontraron este tipo de válvulas, la razón de ello se debe a las características del terreno tabasqueño que es sensiblemente plano, sin accidentes importantes en su topografía.

La Figura 4.8, muestra claramente las características del terreno del estado de Tabasco, carente de topografía accidentada, y más bien, el terreno es básicamente plano en todo el desarrollo del poliducto de 12" D.N. Mina-Vhsa, este se puede apreciar con la línea color morado y paralelo a la carretera federal No. 180.

Figura 4.8. Desarrollo del derecho de vía del poliducto de 12" D.N. Mina-Vhsa.



Fuente: INEGI, 2005

4.7 Hipótesis de los Accidentes

Para la generación de hipótesis de accidentes, establecimos una serie de escenarios probables de accidentes para el sistema de poliductos, basada en todos los casos reportados y que se encuentran contenidos en el historial de fallas de los ductos de Pemex-Refinación.

Dentro de este contexto se presenta a continuación el planteamiento de escenarios para nuestro caso de estudio.

Planteamiento de Escenarios.

Los escenarios siguientes fueron seleccionados tomando en cuenta su frecuencia de ocurrencia de acuerdo al historial de accidentes de Pemex-Refinación, en el periodo comprendido entre los años de 1986 a 2003, el cual describe, principalmente, daños del ducto por terceras partes (entre los que se encuentran: tomas clandestinas, golpes de maquinaria de construcción y otros más).

Las estadísticas de accidentes en poliductos, de Pemex-Refinación (como se puede observar en la Tabla 3.2 del capítulo 3), reportan que el mayor número de accidentes es causado por terceras partes.

En el desarrollo del análisis de riesgos del poliducto de 12" D.N., Minatitlán-Villahermosa, consideramos los cinco escenarios como eventos probables, para después evaluar sus consecuencias, la descripción de eventos es la siguiente:

Descripción de Eventos.

Evento I. Daño en el ducto debido a terceras partes.

Dado que el factor de falla por terceras partes se encuentra influenciado por agentes externos a la operación del poliducto de 12" D.N., Minatitlán-Villahermosa, tales como: tomas clandestinas, construcción y agricultura intensiva

en algunas zonas por donde cruza el derecho de vía del poliducto de 12" D.N. Propusimos establecer este evento dado que es la principal causa de riesgo en ductos, como lo muestran los datos recabados en Pemex-Refinación contenidos en la Tabla 3.2 (capítulo 3), accidentes ocurridos en Pemex-Refinación de 1986 a 2003., para ello, establecimos los siguientes escenarios:

- a) Fuga de producto debido a: Toma clandestina descontrolada, en zonas tipo semiurbanas de clase 3 y urbana de clase 4.
- b) Fuga de producto debido a: Golpe de maquinaria de construcción (retroexcavadora) en zona tipo semiurbanas de clase 3 y urbana de clase 4.

Evento II. Posible Ruptura del ducto debido a Corrosión Externa severa.

En los sitios donde existen cruces con cuerpos de agua, existe una mayor posibilidad de presentarse corrosión, más aún si no cumple con criterios de protección catódica.

Para nuestro caso de estudio, determinamos que en los sitios donde existen cruces aéreos, la llegada a válvulas de seccionamiento y en la llegada de Trampas de diablos, si no se cuenta con criterios de protección catódica se pueden tener eventos anómalos, causados por corrosión externa severa.

A continuación se indica la localización de las instalaciones superficiales, tales como las válvulas de seccionamiento (V.S.) y trampas de envío y recibo de diablos (T.E.D. y T.R.D respectivamente):

- Km 0+000 T.E.D. Refinería Gral. Lázaro Cárdenas del Río, ubicada en la periferia de la ciudad de Minatitlán, Ver.
- Km 9+415 T.R.D. margen izquierda del río Coatzacoalcos.
- Km 10+000 T.E.D. margen derecha del río Coatzacoalcos.

- Km 24+677 V.S. Nuevo Teapa. Ubicada en el interior de la estación de bombeo Nuevo Teapa, y del lado derecho de la carretera federal No. 180 en el kilómetro 13+500.
- Km 52+189 T.R.D. margen izquierda del río Tonalá. Localizada en el costado izquierdo de la carretera federal No. 180 en el km 41+300, y muy cercana al Puente Tonalá.
- Km 52+552 T.E.D. margen derecha del río Tonalá. Localizada en el costado izquierdo de la carretera federal No. 180 en el km 41+700, en las cercanías del Puente Tonalá.
- Km 96+021 V.S. San Miguel. Esta instalación se localiza en el ejido del mismo nombre, al costado derecho, km 83+400 de la carretera federal No. 180.
- Km 137+258 área de trampas Nudo Cárdenas. Localizada al lado izquierdo de la carretera federal No. 180, en el km 121+200, aproximadamente a 50 m, en las inmediaciones de la ciudad de Cárdenas, Tabasco.
- Km 147+312 V.S. El Castañito. Ubicada al costado izquierdo de la carretera federal No. 180.
- Km 148+593 T.R.D. margen izquierda del río Samaría.
- Km 150+258 T.E.D. margen derecha del río Samaria. Localizada en el km 133+000, del lado izquierdo de la carretera federal No. 180.
- Km 160+747 V.S. La Isla. En el km 148+500 de la carretera federal No. 180.
- Km 174+747 T.R.D. Agencia de Ventas Villahermosa. En el km 162+000 de la carretera federal No. 180 se ubica el camino de acceso, a la izquierda, al campo petrolero Carrizo, conocido también como Loma de Caballo, y se recorren aproximadamente 1.5 km hasta llegar a la Agencia de Ventas Villahermosa.

Cabe resaltar, que los agentes que aumentan el riesgo por corrosión externa son: atribuidos al inadecuado mantenimiento, entre los cuales se pueden citar la edad del revestimiento y el monitoreo o inspección visual de la línea.

La falta de un mantenimiento adecuado como: la no reparación de defectos o fallas críticas detectadas por inspección ultrasónica, podrían ser susceptibles, y desencadenar directa o indirectamente efectos de ruptura o colapsamiento del poliducto *a posteriori*. El tipo de corrosión presentada en el poliducto de 12" es puntual o localizada, y es este factor de riesgo, uno de los más frecuentes como causa de accidentes en transporte de hidrocarburos.

Los escenarios para el evento debido a corrosión externa severa son los siguientes:

- a) "Posible ruptura por corrosión Severa en la interfase Tierra - Agua y viceversa.
- b) "Posible ruptura por corrosión severa en la interfase Tierra- Aire y viceversa.

Evento III Ruptura catastrófica por pérdida avanzada de espesor.

Para desarrollar este evento, partimos de la premisa de que la velocidad del fluido permanece constante, además como ya hubo un adelgazamiento por pérdida avanzada del espesor del poliducto, la fuerza que llega a la zona con pérdida de espesor por corrosión severa es la misma, pero el material en esa área ya es menor, y se presenta el esfuerzo en un área sensiblemente disminuida. Sabemos que la presión (P) es igual a la fuerza aplicada (F) entre un área específica (A), se expresa matemáticamente como: $P = F/A$. Si el Área disminuye, la Presión en ese punto aumenta, por eso el material es más vulnerable a fallar por presión interna.

Conforme pasa el tiempo el espesor tiende a disminuir por desgaste, por tanto el área se debilita y si el factor de la relación de r/t ; donde "t" es espesor y "r" es radio interior de la tubería, es menor al de diseño entonces ya no cumple con la condición de resistencia del diseño original, por tanto puede ocurrir una fisura, la cual origina una falla (colapso).

La gravedad de una falla en el poliducto la calificamos por tres aspectos fundamentales: longitud, profundidad y orientación.

Entonces, esta pérdida metálica (escenario de falla) comienza con pequeñas fugas para convertirse posteriormente en fisuras y dar origen a la ruptura. Por lo tanto consideramos evaluar esta circunstancia extrema en los planteamientos.

Evento IV. Ruptura catastrófica por falla de la soldadura (fisura).

Este evento lo determinamos, considerando que es importante debido al efecto que tendría una falla de este tipo, es decir, cuando se presenta una fisura, las moléculas del material ya no están unidas entre sí, están separadas, es en esta área donde intervienen esfuerzos cortantes. Si la fuerza sigue constante, en ese punto ocurren agrietamientos debido a que el material está sujeto a mayores esfuerzos, por tal motivo es obvio que se provoque el colapsamiento de la soldadura.

Además, como en la soldadura existe una mayor concentración (intensificación) de esfuerzos, a medida que el fluido corre por el tubo, la presión interna en ese sitio aumenta, si la presión es muy grande y la soldadura está débil se origina un boquete que se traduce en una ruptura catastrófica del poliducto.

Sabemos que en la interconexión de los ramales o en la construcción de línea principal se deben cumplir con una serie de normas y especificaciones, pero esto no evita que pueda ocurrir una falla de este tipo.

Se presenta el siguiente escenario:

- Ruptura catastrófica por falla en la junta de campo de la soldadura en línea principal

Evento V. Ruptura del ducto por movimiento de terreno o falla geológica.

Se considera este tipo de evento puesto que los sistemas de poliductos en general están sujetos al comportamiento de fenómenos naturales que pueden ocurrir en algún segmento del derecho de vía del poliducto de 12”.

La República Mexicana se encuentra dividida en cuatro zonas sísmicas. Para realizar esta división como se muestra en la Figura 4.9, se utilizaron los catálogos de sismos de la República Mexicana desde inicios de siglo, grandes sismos que aparecen en los registros históricos y los registros de aceleración del suelo de algunos de los grandes temblores ocurridos en el siglo pasado. Estas zonas son un reflejo de qué tan frecuentes son los sismos en las diversas regiones y la máxima aceleración del suelo a esperar durante un siglo. (Ref. pág. web del SSN).

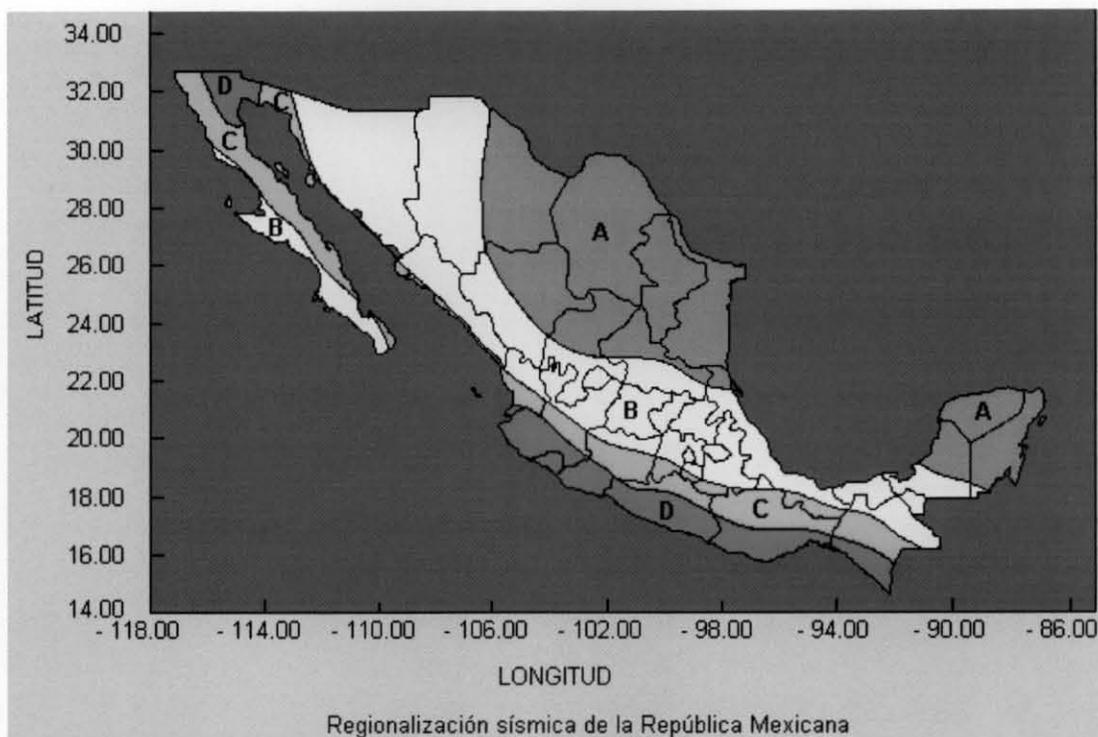
Zonas sísmicas de la República Mexicana.

La zona A, es una zona donde no se tienen registros históricos de sismos, no se han reportado sismos en los últimos 80 años y no se esperan aceleraciones del suelo mayores a un 10% de la aceleración de la gravedad a causa de temblores.

La zona D, es una zona donde se han reportado grandes sismos históricos, donde la ocurrencia de sismos es muy frecuente y las aceleraciones del suelo pueden sobrepasar el 70% de la aceleración de la gravedad.

Las otras dos zonas (B y C) son zonas intermedias, donde se registran sismos no tan frecuentemente o son zonas afectadas por altas aceleraciones pero que no sobrepasan el 70% de la aceleración del suelo. El mapa que aparece en la Fig. 4.1, se tomó del Manual de diseño de Obras Civiles (Diseño por Sismo) de la Comisión Federal de Electricidad.

Figura 4.9. Regiones Sísmicas en la República Mexicana.



Fuente: Manual de Diseño de Obras Civiles, CFE

Para desarrollar nuestro estudio se hizo una revisión de la clasificación de las zonas sísmicas de la República Mexicana y observamos que el poliducto de 12" D.N. cruza totalmente, la zona clasificada como tipo B y denominada como zona intermedia.

Por tanto el escenario probable es:

- Ruptura Catastrófica de línea por esfuerzo del ducto debido a falla geológica.

Análisis de Escenarios

Todos los puntos de riesgo previamente identificados los agrupamos dentro de los escenarios planteados en la descripción de eventos. Esta categorización tiene el fin de poder seleccionar los sitios para su evaluación de consecuencias (con el

empleo del software "PHAST"). Los sitios que seleccionamos fueron las ciudades de Cárdenas y Villahermosa por los impactos que tendrían a la población, ambiente y el negocio.

Evento I Daño en el ducto debido a terceras partes.

Los puntos de riesgo asociados a Terceras Partes, donde subyacen las denominadas *tomas clandestinas* y están contenidas en el Evento I "Daños al ducto debido a terceras partes". Estas tomas clandestinas se presentan hoy día con mucha frecuencia y podrían continuar incluso en el futuro por personas ajenas al sistema de transporte de hidrocarburos, como lo demuestran los registros de PEMEX-Refinación y otros datos observados en estadísticas de accidentes en ductos, publicados por la PROFEPA, 2001. Por consiguiente hemos determinado que son eventos muy frecuentes y de vital importancia su análisis.

Fuga por toma clandestina descontrolada en zonas tipo semiurbanas de clase 3 y urbana de clase 4.

Este escenario se puede presentar debido a que la tubería atraviesa zonas semiurbanas y urbanas (Cárdenas y Villahermosa principalmente) donde existen y/o probablemente se desarrollen construcciones con propósitos diversos.

Por lo tanto, hacemos especial énfasis en proponer el escenario en las poblaciones densas y con actividad humana intensa.

Con respecto a lo anterior la probabilidad de un escenario como este, sería mayor en ciudades como: Cárdenas y Villahermosa.

Otra posibilidad importante de daños por terceras partes, lo representa la ruptura catastrófica debido a trabajos donde se considere excavaciones con algún tipo de

maquinaria (retroexcavadora, principalmente en clases de población 3 y 4 donde la actividad de construcción es alta.

Una ruptura catastrófica es aquella en la cual se presenta una descarga total del inventario del material, acompañada de una fuerte explosión y BLEVE. La frecuencia de estos eventos es muy remota. De alguna manera se considera este tipo de escenario, ya que es uno de los más devastadores, alcanzando radios de afectación sumamente considerables.

Los posibles sitios de gran vulnerabilidad a accidentes son nuevamente el área semiurbana de Cárdenas y Villahermosa, en los cuales se tienen zonas de construcción densa, y aquellos asentamientos humanos irregulares que se establecen muy cerca y sobre los mismos derechos de vía siendo estos puntos los más apropiados para representar este escenario.

Un factor fundamental para la selección de escenarios peligrosos, fué aquel o aquellos sitios donde se tengan las mayores densidades de población.

Evento II Fuga y posible ruptura en el ducto debido a corrosión severa.

a) Ruptura por corrosión Severa en la interfase "Tierra - Agua".

Este escenario, se justifica porque se localizan ríos o cuerpos de agua, que son cruzados por el poliducto. La presencia de humedad permanente puede originar daños al poliducto, tales como: deterioro y desprendimiento del revestimiento anticorrosivo (vidrio flex y vidrio mat), y la aparición pronta del efecto de corrosión, lo que repercute en pérdida de material del acero del que está constituida la tubería.

En tales circunstancias, seleccionamos este escenario como uno de los más comunes y con alta posibilidad de ocurrir.

Por otro lado, creemos que se deben tener controles muy estrictos, particularmente en los ríos o cuerpos de agua por donde atraviesa el poliducto, y entre los más importantes se encuentran: el Río Tonalá y el Río Samaria.

b) Ruptura por corrosión severa en la interfase Tierra- Aire”.

El siguiente escenario se presenta debido a las particularidades de construcción del sistema del poliducto, es decir, no todo el poliducto está enterrado en su totalidad, y algunas secciones de tubería se encuentran expuestas a la atmósfera (instalaciones superficiales). Por lo que, el cambio de las condiciones climáticas son diferentes, tales como: la variación de humedad de la tierra y la de la atmósfera, estas pueden provocar el desgaste paulatino del revestimiento y consecuentemente su desprendimiento de la tubería del poliducto. El efecto posterior deriva en la presencia de corrosión en la tubería, esta circunstancia es muy similar al caso anterior y por tal motivo, seleccionamos este escenario como uno de los más comunes y con alta posibilidad de ocurrir.

Estas interfaces las podemos encontrar en: cruces aéreos, llegada a las válvulas de seccionamiento, y área de trampa de diablos del poliducto de 12”.

Evento III. Ruptura catastrófica por pérdida avanzada de espesor.

Después de la revisión del reporte de corrida del diablo instrumentado, donde se tienen reportadas pérdidas del espesor del tubo mayores al 50% (Tuboscope, 1997) proponemos un evento que es el de “Ruptura catastrófica por pérdida avanzada de espesor” para los segmentos de los cuales se tiene dicha información. El segmento (1) Minatitlán-Cárdenas es el que tiene más casos críticos de pérdida de espesor en los carretes de tubería, se localiza entre los kilómetros 114+029 al 115+029 con una distancia aproximada de 70 metros de

fallas consecutivas, además cabe señalar que este tramo es un área pantanosa, por lo que el grado de humedad propicia que avance la corrosión, y consecuentemente la falla del poliducto.

Esta pérdida de espesor, se encuentra entre un 50 hasta un 68 %.

Para el otro segmento (2) Nudo Cárdenas-Villahermosa, también existen puntos con pérdidas de espesor, estas pérdidas de espesor están entre un 50 a un 55 % y sus longitudes son menores que las del segmento 2.

Evento IV Ruptura de línea por falla en la junta de campo de la soldadura en línea principal.

Otro evento considerado en las propuestas de escenarios de riesgos, es la "ruptura de línea por falla en la junta de campo de la soldadura en línea principal", aunque no es un evento muy común dentro de fallas en sistemas de transporte, lo proponemos por ser importante el efecto que provocaría en su desarrollo.

Las soldaduras son importantes debido a la unión entre sí de las moléculas del material de soldadura y del metal de la tubería, la presión constante que ejerce el fluido sobre esta unión las puede separar o debilitar, si no esta adecuadamente realizada, y en un momento bajo ciertas condiciones de trabajo (incremento de temperatura, sobrepresión o golpe mecánico), la junta o unión puede llegar a fallar, estas manifestaciones inician como pequeñas grietas, hasta llegar a fracturar el material de la soldadura.

Es importante destacar que, los resultados de la corrida de diablos, nos indican que este segmento tiene pérdidas de material considerables, adyacentes a soldadura.

Evento V. Ruptura Catastrófica de línea por esfuerzo del ducto debido a falla Geológica.

Es un escenario, que como se explico anteriormente, el movimiento paulatino del terreno o hundimientos, provocan esfuerzos adicionales no considerados, así, cuando el ducto se encuentra enterrado la fuerza de gravedad no tiene efecto directo sobre el ducto, es decir, el peso del ducto se reparte en el terreno, sin embargo cuando ya no existe el soporte del terreno que compense esta fuerza externa, el efecto es una fuerza puntual en la parte superior del ducto, que da origen a un esfuerzo flexionante a tensión y en la parte inferior se origina un esfuerzo flexionante a compresión, Estos esfuerzos no estaban contemplados en el diseño original, el desarrollo posterior son fallas mecánicas como fracturas y la ruptura posterior.

Selección de Sitios de los escenarios (Cárdenas y Villahermosa, Tab.).

Esta selección del sitio se hizo tomando en cuenta los efectos de consecuencias como:

- Impacto a la Población cercana,
- Impacto al Ambiente e Impacto al Negocio
- Otros aspectos:
 - Condiciones de Operación
 - Sistemas de respuesta a Emergencias

Impacto a la población cercana.

En la industria, en el hogar y en los lugares públicos, los incendios cobran alto precio, tanto en vidas humanas, en propiedades como al medio ambiente. A pesar de los progresos logrados para controlar estas pérdidas inútiles, es un hecho que nuestra vida está expuesta a diferentes clases de peligros, principalmente, con los

que tienen que ver con el manejo de sustancias peligrosas como en los casos de la Gasolina, Diesel, Crudos, Gas L.P. entre otros.

Como se indicó anteriormente, el sistema de transporte (poliducto de 12" D.N.) atraviesa varias poblaciones, algunas de ellas, ciudades importantes como Cárdenas y Villahermosa, en donde está latente la posibilidad de emergencia para la población cercana a los derechos de vía del poliducto de 12", en estas ciudades sus habitantes corren peligro por el tipo de producto transportado. Los sitios que seleccionamos para evaluar los efectos, se encuentran en las poblaciones citadas.

Impacto al ambiente.

En los últimos años el uso de los hidrocarburos se ha convertido en uno de los recursos energéticos imprescindibles, estos han impulsado el desarrollo tecnológico, industrial, económico y social de las comunidades modernas. El transporte de hidrocarburos provoca en ocasiones fugas de gas y derrames de productos líquidos y en fase gaseosa. La operación normal de los ductos de transporte incluye desfogues y quema de producto de manera regular.

El Impacto al Ambiente se ve afectado por la emisión a la atmósfera de compuestos como metano, etano, propano, butano y CO₂ producto de la combustión. La afectación es de manera irreversible. La acumulación de estos gases, produce una capa que reduce la irradiación de calor, que el planeta Tierra puede emitir al espacio, generando con esto el conocido "Efecto Invernadero", y probable elevación de temperaturas globales más allá de la normal. Por tanto los aspectos relacionados a las emisiones dependerán entre otros, de sistemas de detección automática de fugas, sistemas de monitoreo automático y sistemas de respuesta a emergencias.

La combustión es un fenómeno químico en el cual se combina el combustible y el oxígeno del aire para formar bióxido de carbono, (en algunos casos se forma monóxido de carbono, que es muy venenoso) y vapor de agua con desprendimiento de luz y calor.

Impacto al negocio.

Con respecto a pérdidas en el Negocio se determinaron condiciones, en las cuales pueden tener mayor impacto ante la presencia de algún escenario que pudiera dejar o reducir el inventario a clientes importantes, lo que representaría cuantiosas pérdidas monetarias para Pemex (en la Agencia de Ventas Villahermosa), y para múltiples actividades productivas de una vasta región del sureste mexicano que dependen directamente de los combustibles.

Condiciones de Operación.

Las condiciones de operación para el Poliducto 12" de D.N. Minatitlán – Villahermosa son: Producto Gasolina PEMEX Premium, Temperatura del fluido 35°C, Presión de llegada de 84 y 60 psias para Cárdenas y Villahermosa respectivamente, Flujo manejado 47,200 barriles/día.

Sistemas de respuesta a emergencias.

Por otra parte el sistema de control es manual para la mayoría de las instalaciones superficiales del Poliducto 12" de D.N. Minatitlan – Villahermosa esta situación impacta directamente en la efectividad y tiempo de respuesta ante una emergencia.

La diferencia entre aquellos sistemas que en cierto momento al presentarse un evento pueden ejercer una respuesta inmediata (SCADA), y aquellos en que el sistema no tenga dispositivos de respuesta inmediata (control manual),

representará una condición más crítica en la segunda, ya que haría que el tiempo de respuesta de las medidas o de acción fueran mayores (para fugas) y las cantidades de liberación de Gasolina entrampados en una ruptura son también mayores.

Consideraciones de los escenarios seleccionados en los análisis de consecuencias (Toma clandestina en Cárdenas y Villahermosa, fuga de 2" de diámetro en Cárdenas y Villahermosa y fuga de 3/8" de diámetro en Villahermosa).

Los tiempos de emisión de fuga, varían en función de dos factores:

- Tiempo de traslado del personal del sector encargado, considerando que el vehículo de traslado se encuentre disponible y con posible tráfico vehicular o difícil acceso al lugar de la emergencia.
- Toma de medidas o acciones que eviten la liberación del Gasolina.

Para el análisis, consideramos fugas de forma irregular, ya que las fugas por corrosión son de forma impredecible y sin un patrón regular, por tanto, precisamos definir un diámetro equivalente.

Este diámetro equivalente es con respecto al diámetro total de la tubería (2" de diámetro, para fuga por golpe por maquinaria u otro según sea el caso analizado).

Para las rupturas catastróficas el inventario o cantidad liberada se toma como la cantidad de producto que queda entrampado entre las válvulas corriente arriba y corriente abajo de donde se localiza el escenario.

I.a Fuga de producto por toma clandestina en zonas semiurbanas y urbanas (clases 3 y 4).

El accidente modelado consistió en considerar que durante las actividades ilícitas de una toma clandestina, se pierde el control del robo de combustible, y consecuentemente se originaría una explosión.

Las consideraciones para este evento son las siguientes:

- 1.- Perforación del ducto por toma clandestina.
- 2.- Diámetro de fuga de 8 a 10% con respecto al diámetro total de la tubería, considerando que sería el daño por toma clandestina.

I.b Posible fuga por golpe de maquinaria agrícola en zonas con actividad de cultivo alta por donde cruza el derecho de vía.

Las consideraciones para este evento son las siguientes:

- 1.- Perforación del ducto por maquinaria agrícola.
- 2.- Diámetro de fuga de 8 a 10% con respecto al diámetro total de la tubería, considerando que sería el daño por el impacto de la maquinaria.

Categorización y Jerarquización de las Hipótesis de Accidentes.

La evaluación de riesgos consistió en identificar accidentes de interés, y evaluar las posibles consecuencias. La revisión de riesgos para las instalaciones es un análisis simplificado de riesgos que permite identificar accidentes potenciales y generar categorías de riesgo para clasificarlos de mayor a menor grado, de acuerdo a la magnitud del daño que provocarían en caso de ocurrencia y la probabilidad con la cual se pueden presentar.

Las categorías de riesgo identifican los contribuyentes importantes en los riesgos dentro de las instalaciones. La técnica empleada nos llevó a una caracterización de los riesgos asociados con cada escenario, utilizando categorías de consecuencias como se muestra en la Tabla 4.8, la cual clasifica las consecuencias en 5 niveles.

Esta tabla de categoría de consecuencias fue desarrollada por SIASPA (Sistema Integral de Administración de la Seguridad Industrial y Protección Ambiental de Pemex), entre los objetivos del sistema esta el generar una mejora significativa del desempeño de las funciones así como ser una herramienta administrativa que facilite el diagnóstico, la evaluación y la planeación de la seguridad, salud y protección al medio ambiente.

Para la jerarquización de nuestros escenarios identificados se utilizaron los criterios que van en orden de mayor a menor importancia y que son:

1. Cantidad de producto liberado en mayor magnitud.
2. Condiciones del material más críticas, que favorecen la posibilidad de incidente:
 - a) Considerando flujo volumétrico más grande en la línea.
 - b) Considerando presión de operación más alta.
 - c) Considerando temperatura de operación más alta.
3. Frecuencia de ocurrencia.

En la Tabla 4.9, se jerarquizan los escenarios identificados de acuerdo a la tabla de SIASPA, para cada uno de los escenarios planteados.

Tabla 4.8. Descripción de las Consecuencias.

NIVEL	NOMBRE	DESCRIPCION DE LAS CONSECUENCIAS
I	Emergencia Interna Menor	<p>Involucra un peligro y que de no ser atendida oportunamente puede motivar una situación de accidente real.</p> <p>No afecta a la población ni a los trabajadores.</p> <p>No hay afectación al ambiente, sólo hay efectos de humos o dispersión de contaminantes sin impacto perceptible en el medio ambiente.</p> <p>No existe el impacto directo sobre la infraestructura instalada, sin embargo se puso en peligro a la instalación debido a una situación anormal de operación. Debe elaborarse un reporte exhaustivo de las condiciones que propiciaron la emergencia.</p>
II	Emergencia Interna Mayor	<p>Accidente que involucra una situación real y potencialmente puede llegar a un nivel de Emergencia III.</p> <p>No afecta a la población pero involucra daño físico (lesión personal) a algún trabajador.</p> <p>Las afectaciones al ambiente no son determinantes, la regeneración a las condiciones originales del medio ambiente pueden ser inmediatas. Emisiones de humos y cantidades de sustancias liberadas no ponen en riesgo cultivos y no hay impacto a la flora y a la fauna de la zona.</p> <p>El impacto directo sobre los bienes de la empresa es mayor de \$500,000 USD, sin embargo se suspenden labores operativas en el área afectada por un tiempo menor a 15 días.</p>
III	Emergencia Local Menor	<p>Accidente que involucra una situación real y que potencialmente puede llegar a un nivel de Emergencia IV</p> <p>No se afecta la integridad Física y el patrimonio de una población, pero involucra daño físico (mortal) a un trabajador.</p> <p>Se afectan tierras de cultivo en una extensión no mayor a 10 Has., no existe afectación a la flora y fauna local.</p> <p>El impacto local sobre los bienes de la empresa es mayor de \$500,000 USD pero menor de \$5,000,000.00 USD</p>
IV	Emergencia Local Mayor	<p>Accidente cuya magnitud presenta impactos a la población y al medio ambiente y potencialmente puede llegar a un nivel de emergencia V.</p> <p>Se afecta la integridad física y el patrimonio de una población menor a 100 habitantes o el área comprendida en un radio de hasta 300 metros en la periferia de la instalación y se afecta físicamente a varios trabajadores de la instalación, algunos de ellos mortalmente.</p> <p>Se afectan condiciones ambientales y ecológicas en un área de hasta 50 Hectareas., vías o cuerpos de agua afectados y cuyos efectos nocivos se eliminan en un tiempo no mayor a un año.</p> <p>El impacto directo sobre los bienes de la empresa es mayor a \$5,000,000.00 USD, pero menor a \$50,000,000.00 USD</p>
V	Emergencia Regional	<p>Accidente de gran magnitud que presenta efectos inmediatos.</p> <p>Se afecta la integridad física y el patrimonio de una población mayor de 100 habitantes y/o el área comprendida en un radio mayor de 300 m, alrededor de la instalación, se afecta seriamente a varios trabajadores de la instalación, algunos de ellos mortalmente.</p> <p>Se afecta el medio ambiente regional en su fauna y flora, sea terrestre o marino. Su restauración tomará un lapso mayor a 5 años.</p> <p>El impacto directo sobre la infraestructura petrolera es mayor de \$50,000,000.00 USD</p>

Fuente: SIASPA-Pemex, 2004.

Tabla 4.9. Escenarios en sitios específicos.

Tipo de Escenario.	Nivel de Consecuencia SIASPA	Punto de riesgo propuesto. (Km)	Sector.	Causa.	Descripción del escenario.
I.a.CAR	V	132+000	Cárdenas	Toma clandestina.	Fuga de producto por falla de la conexión de toma clandestina en poliducto. Formación de nube explosiva y conflagración en presencia de una fuente de ignición.
I.b. CAR	III	132+000	Cárdenas	Daño mecánico por golpe de maquinaria. Actividad de construcción alta y/o trabajos de reparación.	Posible ruptura catastrófica debido a trabajos de excavaciones con algún tipo de maquinaria.
II.a.VHSA	V	170+000	Cárdenas	Toma clandestina.	Fuga de producto por falla de la conexión de toma clandestina en poliducto. Formación de nube explosiva y conflagración en presencia de una fuente de ignición.
II.b.VHSA	III	170+000	Cárdenas	Daño mecánico por golpe de maquinaria. Actividad de construcción alta y/o trabajos de reparación.	Posible ruptura catastrófica debido a trabajos de excavaciones con algún tipo de maquinaria.
II.c.VHSA	II	170+000	Cárdenas	Corrosión externa. Pérdida de espesor mayor al 50 %.	Posible ruptura catastrófica de línea por falla del material en zona desgastada.

Evaluación en PHAST.

Datos para Evaluación de consecuencias en PHAST.

La información suministrada al simulador para cada una de las corridas efectuadas se dividieron en dos tipos de datos, datos climatológicos de los sitios donde se localizan los escenarios y datos del escenario. Los datos climatológicos tienen que ver con las velocidades de viento, mientras que los datos del escenario refieren información del tipo de falla o accidente (fuga, ruptura, ruptura catastrófica, etc.), características de inventario y cantidad, condiciones de operación, diámetro de tubería y de fuga (para el caso de fugas), tipo de superficie o lugar donde se sitúa el escenario (agua, concreto, suelo húmedo o seco, etc.), dirección de la fuga y distancias de interés.

Condiciones climatológicas del sitio.

En modelaciones de toxicidad, inflamabilidad u otros, el Instituto Nacional de Ecología propone condiciones climatológicas más críticas del sitio con base en información de los últimos 10 años, y en caso de no contar con dicha información se propone velocidad de viento de 1.5 m/s con estabilidad clase F.

Seleccionamos una velocidad intermedia de 3 m/s clase D y otra, con la de velocidad promedio de los lugares, en esta última con estabilidad D, ya que a menor radiación solar, por las propiedades del fluido, la dispersión no se vería favorecida, pues al no haber mucho calor en el ambiente la nube se acumularía; las estabilidades son de acuerdo a las categorías de Pasquill.

Con estos tres escenarios, consideramos se podrá visualizar el caso más crítico, intermedio y otro muy cercano a la situación real.

Categoría de Clima Pasquill

Esta clasificación determina qué tanto la radiación solar como la velocidad del viento afectan la dispersión y difusión en el aire de los vapores de un material fugado. Las categorías definidas por Pasquill se muestran en la Tabla 4.10.

Tabla 4.10. CATEGORÍAS DE PASQUILL.

CATEGORÍAS DE ESTABILIDAD DE PASQUILL							
Velocidad superficial del viento 10 m		Radiación solar (Día)			Cobertura de nubes en la noche		
(m/s)	(mph)	Fuerte	Moderada	Ligera	Fina <3/8	Moderada >3/8	Densa >4/5
<2	<5	A	A-B	B	--	--	D
2-3	5-7	A-B	B	C	E	F	D
3-5	7-11	B	B-C	C	D	E	D
5-6	11-13	C	C-D	D	D	D	D
>6	>13	C	D	D	D	D	D

Donde:

- A = Muy inestable
- B = Inestable
- C = Moderadamente Inestable
- D = Neutra
- E = Moderadamente estable
- F = Estable

Condiciones Climatológicas promedio de Cárdenas y Villahermosa (Tabasco)

Se consideró para el análisis el sitio de la ciudad de Villahermosa-Tabasco:

- Temperatura máxima extrema promedio anual: 33.6°C
- Temperatura del suelo: 35°C
- Velocidad máxima de los vientos reinantes: 20. 2 m/s
- Humedad relativa media anual: 66%
- Humedad relativa: 90%
- Presión atmosférica: 760 mm Hg
- Dirección de los vientos reinantes: NO
- Dirección de los vientos dominantes: N

Los datos anteriores del sitio fueron tomados de hojas Estándar de Pemex, Gerencia de proyectos y construcción de Octubre de 1980.

4.7.2. Categorización y Jerarquización de las Hipótesis de Accidentes

En esta sección, se categorizaron y jerarquizaron las hipótesis identificadas de acuerdo a la frecuencia de ocurrencia de accidentes en el sistema de poliductos de PEMEX-Refinación, con lo cual obtenemos los peligros potenciales más significativos y las pérdidas esperadas de cada evento.

De acuerdo al tipo de accidentes, estos los podemos clasificar como:

Prioridad 1

- Mortalidad
- Incapacidades Parciales Permanentes
- Pérdida Mayor de Instalaciones
- Afectación a la comunidad
- Contaminación

Prioridad 2

- Lesiones
- Pérdida menor de equipo
- Pérdida de producción

4.7.3. Resultado de la Categorización. (Se indican: 2 casos de tomas clandestinas, uno en Cárdenas y otro en Villahermosa; 2 casos de daño mecánico por golpe de maquinaria, uno en Cárdenas y otro en Villahermosa; y finalmente, un caso de fuga por picadura de corrosión en Villahermosa).

La Tabla 4.11, indica las prioridades definidas para cada uno de los escenarios y atendiendo: la frecuencia de ocurrencia y el grado de severidad de las consecuencias en caso de presentarse.

Tabla 4.11. Prioridades 1 y 2 para los escenarios de accidentes para el poliducto de 12" D.N. Minatitlán-Villahermosa.

Prioridad / Escenario	Evento	Causa	Frecuencia	Consecuencia
1,A	Toma clandestina, en Cárdenas.	Ruptura de conexión ilícita en línea de 305 mm (12").	Alta	Fuga de producto por falla de la conexión de toma clandestina en poliducto. Formación de nube explosiva y conflagración en presencia de una fuente de ignición.
2,B	Daño mecánico por golpe de maquinaria, en Cárdenas.	Posible ruptura catastrófica debido a trabajos de excavaciones con algún tipo de maquinaria.	Media	Formación de nube explosiva; fuerte explosión al contacto con una fuente de ignición.
1,C	Toma clandestina, en Villahermosa.	Ruptura de conexión ilícita en línea de 305 mm (12").	Alta	Fuga de producto por falla de la conexión de toma clandestina en poliducto. Formación de nube explosiva y conflagración en presencia de una fuente de ignición.
2,D	Daño mecánico por golpe de maquinaria, en Villahermosa.	Posible ruptura catastrófica debido a trabajos de excavaciones con algún tipo de maquinaria.	Media	Fuga de producto por falla de la conexión de toma clandestina en poliducto. Formación de nube explosiva y conflagración en presencia de una fuente de ignición.
2,E	Corrosión externa. Pérdida de espesor mayor al 50 %.	Falla del sistema de protección catódica en el derecho de vía.	Baja	Posible ruptura catastrófica de línea por falla del material en zona desgastada.

Nota: La frecuencia de ocurrencia que se muestra en esta tabla, considera la probabilidad de falla plasmada en la tabla 3.7 del capítulo 3,

4.8.- Evaluación de las Consecuencias de las Hipótesis Accidentales

Para efecto de las simulaciones de ruptura catastrófica elegimos dos tramos del poliducto, el primero, en las proximidades de la ciudad de Cárdenas, y está referenciado entre la trampa de envío de diablos *Nudo Cárdenas* (km 130+956) y

la válvula de seccionamiento *Castañito* (km 140+362). Este tramo lo consideramos como si fuera un recipiente, y tomamos en cuenta su longitud (9,406 m) y diámetro de 12". Posteriormente, calculamos el volumen de dicho tramo y con la densidad de la gasolina tipo Premium (749.8 kg/m^3), obtuvimos el inventario en kilogramos (412,220.80 kg., al 80% de la capacidad del poliducto).

El segundo tramo del poliducto, se encuentra, entre la válvula de seccionamiento *La Isla* (km 159+823), y la trampa de recibo de diablos en la *Agencia de Ventas Villahermosa* (km 174+643). Este tramo, también lo consideramos como si fuera un recipiente, y tomamos en cuenta su longitud (14,820 m) y diámetro de 12". Entonces, calculamos el volumen de dicho tramo y con la densidad de la gasolina tipo Premium (749.8 kg/m^3), obtuvimos el inventario en kilogramos (649,491.072 kg., al 80% de la capacidad del poliducto).

Ahora bien, para las diversas fugas planteadas como hipótesis accidentales consideramos que éstas van desde un 2% hasta un 20% del diámetro total de la tubería dependiendo del escenario en estudio, calculamos el flujo que se descarga a través de dicho orificio y este a su vez lo relacionamos con el tiempo de respuesta en el cual se deberá controlar dicha fuga.

El tiempo de respuesta considerado para el control de cualquier fuga es de 20 a 30 minutos aproximadamente (de acuerdo a la experiencia de los operarios de Pemex).

La Tabla 4.12, resume los datos requeridos para las corridas con el software "PHAST".

Tabla 4.12. Datos de Condiciones Ambientales Empleados en el PHAST.

DATO	VALOR
Parámetro de rugosidad de superficie (zona urbana)	0.17
Temperatura máxima extrema promedio anual	33.6 °C
Temperatura mínima extrema promedio anual.	10.9 °C
Temperatura de la superficie.	35 °C
Humedad Relativa (media anual)	66 %
Humedad Relativa (máxima sep)	90 %
Humedad Relativa (mínima abr.-may.)	31.0 %
Presión Atmosférica	1.03 kgf/cm ²
Dirección de los vientos (dominantes)	N
Dirección de los vientos (reinantes)	NO
Velocidad de los Vientos (dominantes)	21.0 m/s
Velocidad de los vientos (reinantes)	20.2 m/s
Duración de la Emisión.	30 minutos

Adicionalmente, fué necesario identificar y describir las características de la sustancia transportada a través del sistema del poliducto de 12" D.N. Minatitlán-Villahermosa, que para este caso de estudio, se trata de una gasolina tipo Premium, a una presión de 84 y 60 psi (5.91 y 4.22 kg/cm²), para las ciudades de Cárdenas y Villahermosa respectivamente, y una temperatura de 35 °C, mostradas en la Tabla 4.13.

Tabla 4.13. Condiciones operativas en los escenarios simulados.

Caso analizado	Diámetro del Tubo (pulg)	Presión (lb/pulg ²)	Temperatura (°C)	Flujo (bpd)	Fase del Fluido
Caso 1 y 2 (Cárdenas)	12	84	35	47,200	líquido
Caso 3, 4 y 5 (Villahermosa)	12	60	35	47,200	líquido

Resumen de resultados

En el anexo "A", se documentan los cálculos de las corridas del PHAST, para los casos de las ciudades de Cárdenas y Villahermosa de ruptura catastrófica por toma clandestina y fugas por golpe de maquinaria. Sin embargo, a continuación presentamos las Tablas 4.14, 4.15, 4.16 y 4.17, en las que se plasman: la masa relevada y el tiempo de fuga (30 min), los radios de afectación y las concentraciones (en ppm), los radios de afectación para diferentes intensidades de radiación (kw/m^2), y los radios de afectación por sobrepresión (Psig) respectivamente.

Tabla 4.14. Resultados de los Cálculos para el estado final de la descarga.

Identificación del sitio del evento	Nivel de Consecuencia	Masa Relevada (Kg)	Flujo de Relevo (Kg/s)	Velocidad de descarga (m/s)	Duración de la fuga (s)
1. Cárdenas	V	412,200.0	----	----	----
2. Cárdenas	III	412,200.0	26.0	49.3	1800
3. Villahermosa	V	649,500.0	----	----	----
4. Villahermosa	III	649,500.0	21.9	41.6	1800
5. Villahermosa	II	649,500.0	0.771	41.6	1800

Tabla 4.15. Resultados de Dispersión (Distancia–Concentración).

Identificación del evento.	Distancia Máxima para una Concentración de 270 ppm (m)	Tiempo Promedio (s)	Concentración en (mol ppm) a una distancia de		
			100(m)	500 (m)	1000 (m)
1. Cárdenas	3,815.0	1800	607,132	81,614	21,837
2. Cárdenas	432.0	1800	13,765	125.08	18.88
3. Villahermosa	4,568	1800	658,773	114,432	30,465
4. Villahermosa	350.5	1800	10,072	71.61	13.27
5. Villahermosa	96.51	1800	218.0	2.14	0.49

Tabla 4.16. Resultados de distancias máximas para distintos niveles de Radiación.

Identificación del evento	Distancia. Máxima. (mts) a una Intensidad de Radiación de 450 Btu/hr-pie ² (1.4 kw/m ²)	Distancias en metros Para los siguientes niveles de Radiación Btu/hr pie ² . (kw/m ²)	
		3964.8 (12.5)	11894.6 (37.5)
1. Cárdenas	1,413.0	509.5	214.7
2. Cárdenas	194.4	119.7	101.7
3. Villahermosa	1,662.0	601.3	272.5
4. Villahermosa	181.4	113.9	96.19
5. Villahermosa	41.14	26.35	N.A.

N.A. No Alcanzado.

Tabla 4.17. Resultados de los cálculos de explosión.

Identificación del evento	Masa Inflamable de la Nube. (Kg)	Distancia Máxima a una Sobrepresión de 0.5 Psig (0.0345 bar) (metros).	Distancia Máxima a una Sobrepresión de 2.0 Psig (0.1379 bar) (metros).	Distancia Máxima a una Sobrepresión de 3.0 Psig (0.2068 bar) (metros).
1. Cárdenas	412,200	1,640.0	629.2	486.8
2. Cárdenas	412,200	251.0	184.0	174.4
3. Villahermosa	649,500	1908.0	732.1	566.4
4. Villahermosa	649,500	208.9	153.3	145.4
5. Villahermosa	649,500	47.61	36.08	34.45

N.A. No Alcanzado.

Las Figuras 4.10 y 4.11 siguientes, muestran la extensión máxima prefijada del nivel de sobrepresión explosiva calculado de 0.5, 2.0 y 3.0 (psig), para los diferentes escenarios de la fractura de línea, fuga y explosión en las ciudades de Cárdenas y Villahermosa.

Las áreas dentro de las curvas (con los valores de 0.5, 2.0 y 3.0 psig), podrían resultar afectadas por sobrepresiones de esta magnitud o aún mayores si la nube de vapor explotara bajo las peores condiciones del viento, que de igual manera pueden ocasionar el lanzamiento de proyectiles.

También se muestra en las Figuras 4.10 y 4.11, la extensión máxima predicha de los niveles de peligro de los escenarios correspondientes a fugas de gases o vapores de gasolina tipo Premium, analizados en este estudio. Dichas figuras muestran que las emisiones identificadas tendrían impacto sobre las instalaciones y/o asentamientos humanos. Cualquier persona que se encuentre localizada dentro de la zona potencialmente afectada, puede sufrir lesiones o inclusive la muerte.

Figura 4.10. Radios de afectación, obtenidos de la simulación del PHAST (Cárdenas).

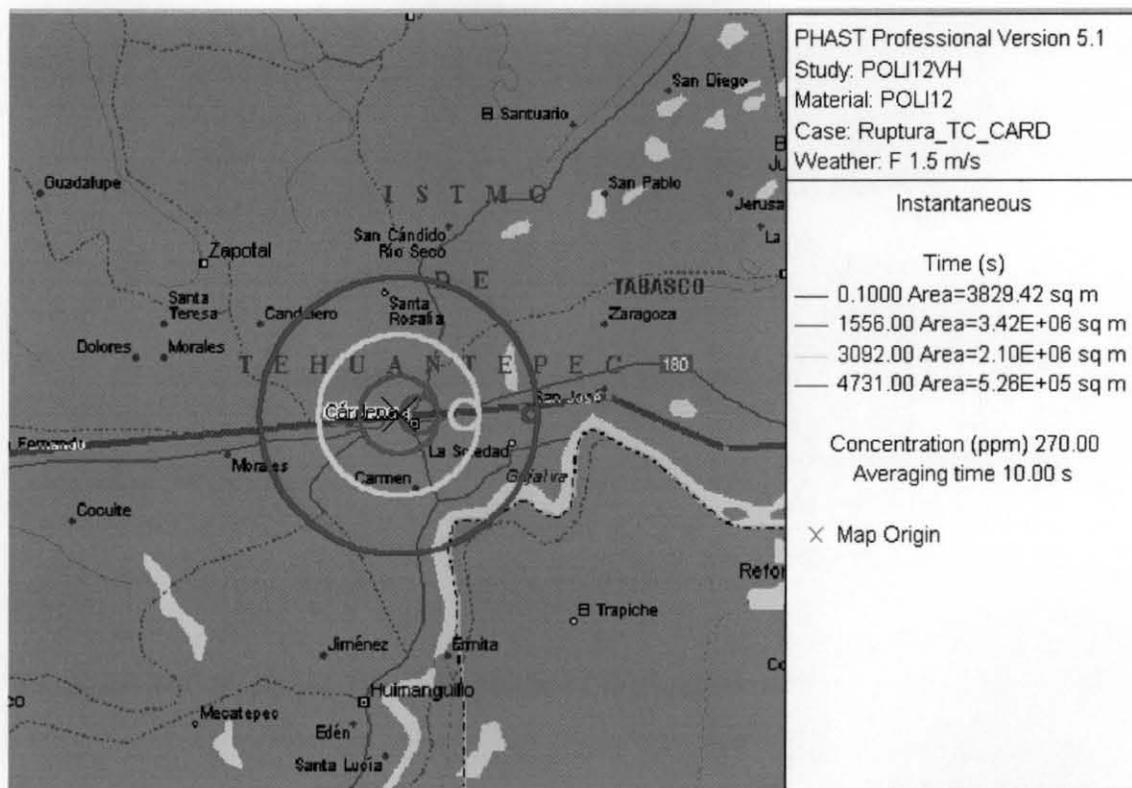
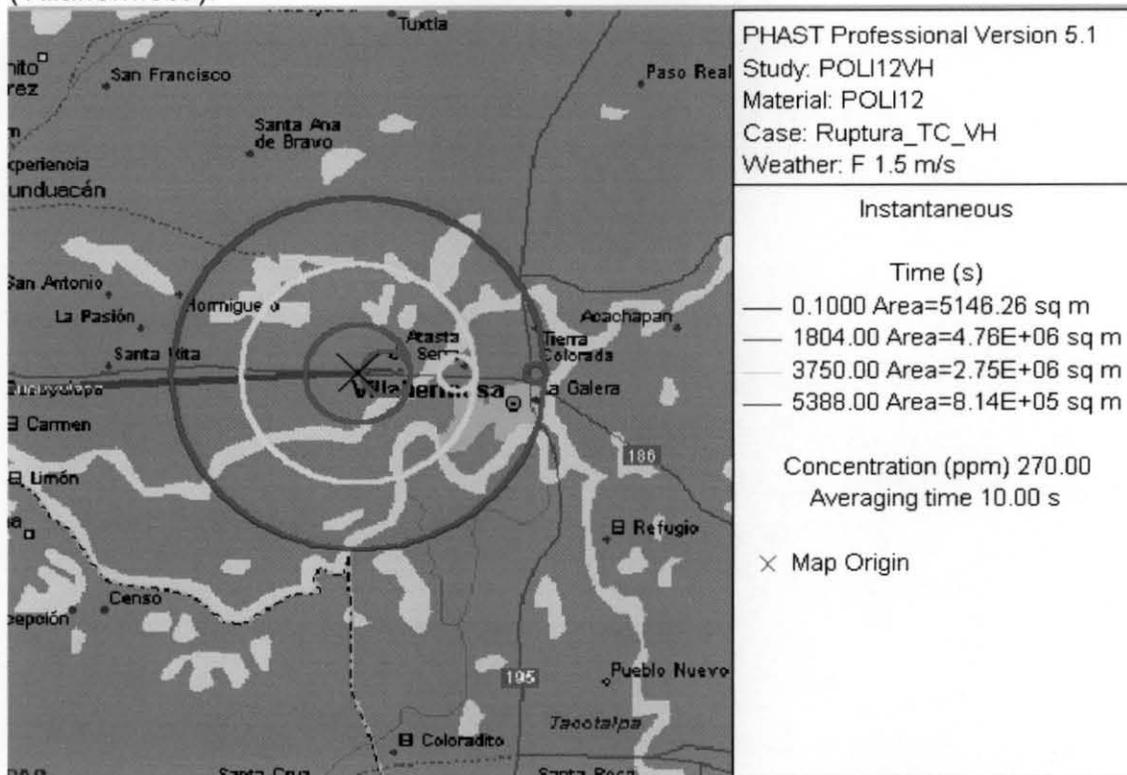


Figura 4.11. Radios de afectación, obtenidos de la simulación del PHAST (Villahermosa).



ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Las tablas presentadas anteriormente resumen los resultados de las modelaciones de:

- Descarga. (Liberación de producto)
- Dispersión.
- Modelación de Inflamabilidad, reportando principalmente los Niveles de Radiación.
- Modelación de Explosión, reportando los niveles de Sobrepresión.

Para las zonas de afectación se asegura que cualquier persona que se encuentre dentro del alcance de las mismas, sufrirá lesiones e incluso la muerte, lo cual no sucederá para aquellos que estén afuera de esta zona.

Modelo de Descarga.

En los resultados del modelo de descarga se reporta la Masa Relevada, esta cantidad es propuesta por el usuario. El flujo de relevo es calculado por el programa. Este flujo es dependiente tanto del diámetro del orificio de la fuga, como de la presión del sistema analizado y del tiempo de fuga, entre otros.

Modelo de Dispersión.

En los resultados se indican valores de distancia contra concentración. Para el sistema del poliducto de 12" D.N. Minatitlán-Villahermosa, se observa que los casos más críticos corresponden a las hipótesis que involucran rupturas catastróficas, por toma clandestina en las zonas urbanas y semiurbanas de Cárdenas y Villahermosa. Los efectos en la salud por exposición a este tipo de sustancias, como la gasolina causa molestias en los ojos, provoca sensación de quemadura severa, con irritación temporal e hinchazón de los párpados. La concentración de vapores entre 160 y 270 ppm, en el aire irrita los ojos. Las distancias donde se podrían presentar estos valores son 3,815 y 4,568 m para los casos de Cárdenas y Villahermosa respectivamente (ver Tabla 4.15).

Se observa que los escenarios con mayores consecuencias por dispersión de gasolina, serían los que corresponden a: los escenarios: 1 y 3, con la hipótesis de posible ruptura catastrófica debido a trabajos ilícitos de toma clandestina; escenarios: 2 y 4, con la hipótesis de posible ruptura catastrófica debido a trabajos de excavaciones con algún tipo de maquinaria. Finalmente el escenario 5, con la

hipótesis de ruptura de la tubería (orificio de 3/8") por corrosión externa y pérdida de espesor mayor al 50 %.

Modelo de Inflamabilidad. (Niveles de Radiación).

Los resultados mostrados en la Tabla 4.16, muestran las distancias máximas a las cuales se tiene una intensidad de radiación de 450 BTU/hr-pie² (1.4 kw/m²), que de acuerdo al API-521, el tiempo de exposición necesario para alcanzar el umbral del dolor a esta radiación es de 60 a 80 segundos aproximadamente.

En el caso de suceder cualquiera de los escenarios, las personas que se encuentren a dicha distancia, si permanecen más de 60 segundos sufrirán dichos efectos.

1. El nivel de radiación de 4.0 kw/m² (1268.8 Btu/hr pie²) es suficiente para causar dolor al personal si este no puede protegerse en 20 segundos; sin embargo es factible la formación de ampollas en la piel (quemaduras de segundo grado); o fatalidad.

2. El nivel de 12.5 Kw/m² (3964.8 Btu/hr pie²) es la energía mínima requerida para la ignición de la madera, fundición de la tubería de plástico, el tiempo de exposición necesario para alcanzar el umbral del dolor es de 4 segundos.(Estos datos de radiación térmica son efectos observados y tomados de: World Bank)

3. Finalmente el efecto observado para un nivel de radiación de 37.5 Kw/m² (11894.6 Btu/hr pie²), es suficiente para causar daño a equipo de proceso, además de prender la madera por exposiciones prolongadas.

Se observa, que los escenarios 1 y 3, indicados en la Tabla 4.16, correspondientes a posible ruptura catastrófica debido a trabajos ilícitos de tomas

clandestinas, son los que provocarían mayores consecuencias, puesto que sus distancias que alcanzan son mayores en los diferentes niveles de radiación, que para los casos 2, 4 y 5.

Modelos de Explosividad (Niveles de Sobrepresión).

En la Tabla 4.17, se muestra la extensión máxima a los niveles de sobrepresión explosiva (0.5, 2.0 y 3.0 psig), para los diferentes escenarios.

El área dentro de la curva de 2.4 psig, ocasiona colapsos parciales de techos y paredes de construcciones, deformación de armazón de acero de edificios revestidos, destrucción de asbesto corrugado, etc.

El significado y daños que produce una sobrepresión de 0.3 psig son: rotura de ventanas grandes y pequeñas normalmente estrelladas; A partir de valores de sobrepresión de 0.95 psig, pueden ocurrir daños ocasionales a marcos de puertas, lanzamiento de proyectiles y la probabilidad de que ocurran daños serios.

En los escenarios; 1 y 3 relativos a posible ruptura catastrófica debido a trabajos ilícitos de tomas clandestinas, también se observa que son los que provocarían mayores consecuencias, pues las distancias son mayores en todos los casos de niveles de sobrepresión

En el Anexo "A" se encuentran los resultados de las corridas de las simulaciones efectuadas para cada uno de los escenarios planteados para este estudio.

El derecho de vía que recorre el poliducto de 12" D.N. Minatitlán-Villahermosa, de PEMEX Refinación (PR), en gran parte se encuentra compartido con otros ductos de diversas subsidiarias como lo son PEMEX Exploración y Producción (PEP), Pemex petroquímica (PP) y PEMEX Gas y Petroquímica Básica (PGPB), estos

ductos son diferentes diámetros y manejan diversos productos como Gas Natural y Crudo principalmente.

Cabe señalar que en caso de ocurrir los escenarios como los que se presentan en este estudio, principalmente rupturas catastróficas, estos tenderán y repercutirán significativamente (efecto domino) en los otros sistemas de transporte afectando considerablemente al ambiente, población y al negocio.

CAPÍTULO 5

LEYES Y REGLAMENTOS EN MATERIA DE PROTECCIÓN AMBIENTAL, RELACIONADAS CON LOS ESTUDIOS DE ANÁLISIS DE RIESGOS E IMPACTO AMBIENTAL EN LOS DERECHOS DE VÍA (DDV's) DEL DUCTO

5.1. Antecedentes de la legislación mexicana referente al impacto ambiental

En 1917, en el Art. 27, la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, establece la soberanía de la nación sobre sus recursos naturales, tierras, aguas interiores y la zona económica exclusiva, condicionando su uso y dando fundamento a los poderes públicos para imponer limitaciones al desarrollo de las vocaciones económicas de las diversas áreas interesadas en aras de un desarrollo equilibrado.

En 1971, se emite la Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental, la citada ley tiene por objeto; el prevenir y controlar la contaminación, mejorar, conservar y restaurar el medio ambiente, así como regular las actividades declaradas de interés público, todo ello a través de su Art. 6, que indicaba que se debían estudiar, planificar, evaluar los trabajos sobre desarrollo urbano, parques nacionales, áreas industriales, y de trabajo y zonificación en general, fomentando en su caso la descentralización industrial para prevenir los problemas inherentes a la contaminación industrial.

En 1982, entra en vigor la Ley Federal de Protección al Ambiente, en la que es incluida “la prevención y control sobre los contaminantes y las causas reales que los originan” así como el mandato explícito en el Art. 7°, de someter a las autoridades de la extinta Secretaria de Desarrollo Urbano y Ecología “SEDUE”, la información relativa a una manifestación de impacto ambiental (MIA) consistente en medidas técnicas preventivas, y correctivas para eliminar o minimizar los daños ambientales.

Aunque fue hasta la reforma de este ordenamiento jurídico, en 1984, cuando el artículo 4° reconoce el término “impacto ambiental” como la “alteración del ambiente ocasionada por la acción del hombre o la naturaleza”, también se introduce a la Ley, el concepto de “Manifestación de Impacto Ambiental (MIA)” definiéndola como el “documento mediante el cual se da a conocer con base en estudios, el impacto ambiental significativo y potencial que generaría una obra o actividad, así como la forma de evitarlo o atenuarlo en caso de que sea negativo.”

En 1988, la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, publicada el 28 de enero de ése año, retoma lo establecido por las leyes anteriores en su Art. 28 de la Ley que le antecede, pero considera la Evaluación de Impacto Ambiental, como un instrumento de la política ecológica, es decir un instrumento de planeación, dedicándole una sección completa, misma que posteriormente es desarrollada por el reglamento de la misma, en la materia.

El 13 de Diciembre de 1996, se publica en el Diario Oficial de la Federación, las reformas a la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, perfeccionando la evaluación de impacto ambiental como instrumento de regulación específica para proyectos de desarrollo, y establece una referencia expresa al reglamento correspondiente para precisar los detalles de obligatoriedad de la evaluación de impacto ambiental.

De la misma manera, el desarrollo de la normativa y la gestión de los estudios de riesgo ha ido evolucionando de forma paulatina, en gran medida como respuesta a las presiones ejercidas por las comunidades afectadas en accidentes y la toma de conciencia de la sociedad en cuanto a los problemas inherentes a la generación y manejo de materiales y sustancias riesgosas.

La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), introduce como uno de sus instrumentos el estudio de riesgo; en éste debe indicarse el daño potencial que una obra o actividad representaría para la

población, sus bienes y el ambiente, durante su ejecución, operación normal y en el caso de que se presente un accidente, las medidas de seguridad u operación tendientes a evitar, mitigar, minimizar o controlar dichos daños (Artículos 5, Fracc. IV, Art. 30, 145, 146 y 147).

La LGEEPA, sirve como marco para regular tanto actividades altamente riesgosas como para la evaluación del impacto ambiental, dentro de éste último se involucra el análisis de riesgo, lo que plantea la necesidad de establecer criterios ecológicos que sirvan de instrumentos para la adecuada planeación y la consecuente toma de decisiones.

En estos términos, la propuesta metodológica planteada en este trabajo de investigación se inserta plenamente en el marco normativo y legal que regulan las actividades de procesos químicos, industriales entre otros y particularmente a los de la industria del petróleo, en materia de riesgos operativos y protección al ambiente, para los sistemas de distribución y transporte de destilados de petróleo a través de los sistemas de ductería a cargo de la paraestatal Petróleos Mexicanos.

En la ley se señala como criterio para considerar riesgosa una actividad, el que comprenda acciones asociadas con el manejo de sustancias con propiedades inflamables, explosivas, tóxicas, reactivas, radioactivas, corrosivas y biológico-infecciosas, en cantidades tales que en caso de producirse su liberación, sea por fuga o derrame de las mismas o bien por explosión, puedan ocasionar afectación significativa al ambiente, a la población o a sus bienes.

5.2. Reglamento, normas y listados en materia de riesgo ambiental

Para complementar el marco regulatorio del riesgo ambiental, el 28 de marzo de 1990 y el 4 de mayo de 1992 se publicaron en el Diario Oficial de la Federación

(D.O.F.) el primer y segundo listados de actividades riesgosas en las que se manejan sustancias tóxicas y explosivas e inflamables, respectivamente.

El marco legal que encuadra a las actividades consideradas como altamente riesgosas y materiales y residuos peligrosos, está en el título cuarto, capítulos V y VI Arts. 145 al 150, de la LGEEPA, donde se contempla efectuar un estudio de riesgo ambiental, como instrumento de carácter preventivo vinculado al procedimiento de impacto ambiental, cuando se trata de nuevos proyectos.

La expedición de normas es uno de los pilares de la política ecológica, y se constituye como un esfuerzo regulatorio para adecuar las conductas de agentes económicos a los objetivos sociales de calidad ambiental.

A raíz de la publicación de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización en 1992, se modernizó y perfeccionó el esquema normativo de México, en la medida en que el diseño y expedición de normas en materia ambiental ha quedado sujeto necesariamente a la realización de estudios técnicos y de análisis de costo/beneficio. El procedimiento incluye la participación de diferentes interesados y representantes de sectores de actividad económica, a través del Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Protección Ambiental.

Los estudios de riesgo ambiental, incluyen la identificación de riesgos en actividades industriales, así como medidas técnicas de seguridad, preventivas y correctivas ante contingencias que eventualmente puedan presentarse, tales como explosiones, incendios, fugas o derrames. En el marco de la evaluación de los estudios de riesgo se pide, en los casos que lo ameritan, la presentación de programas para la prevención de accidentes a través del procedimiento de impacto ambiental. Tanto en el caso de los estudios de riesgo como en los programas para la prevención de accidentes se contempla, en los términos de la ley, la definición de zonas intermedias de salvaguardia como esquemas de ordenamiento territorial específico a la minimización de riesgos.

Los estudios de impacto ambiental y de riesgo, para ductos, son particularmente interesantes como herramienta de prevención y de decisión para la planeación por las características intrínsecas de la obra, y dan pautas para reorientar los proyectos creando un balance costo-beneficio al eliminar o minimizar afectaciones y riesgos, con anterioridad a la toma de decisiones sobre un proyecto, óptimo aprovechamiento de los recursos naturales, mejoramiento de la calidad de vida de las poblaciones humanas, compatibilidad de proyectos y actividades en una región geográfica.

La planeación de obras nuevas, y rehabilitación a las ya existentes, debe contemplar los siguientes instrumentos legales desde la concepción del proyecto mismo, ya que es más sencillo y económico modificar características o dispositivos en un plano que en una obra ya instalada, y a pagar por conceptos como reclamaciones de la comunidad.

- Programas de Ordenamiento Ecológico Territorial, Regional y Local.
- Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.
- Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Impacto Ambiental.
- Normas Oficiales Mexicanas (Ej. NOM-117-ECOL-96. NOM-SECRE, NOM-PC, NOM-SE, etc.)
- Normas Oficiales Mexicanas para Áreas Naturales Protegidas Flora y Fauna.
- Reglamento de la Ley Reglamentaria del Art. 27 Constitucional en el ramo del Petróleo, Cap.1, Art. 4º.
- Reglamento de Trabajos Petroleros. Cap. 1º. Art.1º, 44º, 74º, 142º.185º.
- La Consulta Pública como Facultad del Gobierno Federal.

Es importante mencionar que la consulta pública de las obras en proyecto, adquiere gran relevancia, puesto que las comunidades, pueden participar en la toma de decisiones que mejor salvaguarden sus intereses y sus derechos. Ya que

la participación social en la gestión ambiental, se ha convertido en factor importante de autorización de obras nuevas y modificación de las ya existentes.

Sin embargo la falta de difusión de estos temas al público en general, hacen que en la práctica la población civil quede a merced de los proyectos ejecutivos y por supuesto a las consecuencias que de ellos se deriven.

5.2.1. Estudios de riesgo ambiental

Para evaluar el riesgo de una actividad industrial o comercial, el INE a través de la DGNA (Dirección General de Normatividad Ambiental) solicita, mediante el Procedimiento de Evaluación del Impacto Ambiental, la presentación de un Estudio de Riesgo Ambiental (ERA).

En cuanto a la construcción y operación de ductos, se cuenta con formatos específicos para ese tipo de obra, por sus características tan peculiares en cuanto a extensión y materiales que transporta. Los accidentes industriales que se prevén en el *Estudio de Riesgo de Ductos Terrestres* (ERDT), y que afectan seriamente al ambiente, las comunidades humanas y las instalaciones dependen de tres variables básicas: presión, temperatura y concentración de las diversas sustancias presentes. Los accidentes se pueden presentar por causas naturales (fortuitas) o antropogénicas.

Los ERDT, deben contemplar medidas de prevención y mitigación de riesgos que se pueden clasificar de la siguiente manera:

- medidas preventivas, cuya finalidad es reducir en su origen los niveles posibles de riesgo a valores socialmente aceptables.
- medidas de control, que tienen como objetivo reducir los efectos negativos en el ambiente de accidentes, cuando se lleguen a presentar y
- medidas de atención, destinadas a reducir los daños a la población y al equilibrio ecológico, cuando el accidente ha tenido lugar.

En este sentido, es importante señalar que el riesgo total que presenta una instalación industrial, es el riesgo intrínseco del proceso industrial, que depende de la naturaleza de los materiales que se manejen y la vulnerabilidad de los diversos equipos que lo integran. Adicionalmente, depende de las características del sitio en que se encuentra ubicada, donde pueden existir factores que magnifican los riesgos (condiciones meteorológicas, vulnerabilidad de la población aledaña, ecosistemas frágiles, infraestructura para responder a accidentes, entre otros).

Para ayudar a prevenir eventos o accidentes con repercusiones ambientales es necesario establecer el concepto de riesgo, el cual involucra dos factores:

- 1) La magnitud del evento y de sus efectos, cuantificados en una escala adecuada.
- 2) La probabilidad de que se presente el evento correspondiente.

Asimismo, es necesario definir un nivel de riesgo aceptable que pueda ser utilizado para la evaluación del proyecto. El establecimiento de este nivel aceptable implica considerar diversos factores:

- Problemas de la trayectoria del trazo del ducto.
- Instalaciones y proyectos asociados.
- Estructura fuera de especificaciones.
- Evaluación inadecuada de materiales, productos subproductos y residuos.
- Fallas de equipo.
- Falta de programas eficientes de seguridad y capacitación tanto internos como externos.
- Falta o fallas en procedimientos operativos y programas de mantenimiento.

Con base en lo anterior, es necesario desarrollar y aplicar técnicas de análisis de riesgo ambiental, así como políticas del uso del suelo que eviten la coexistencia

de zonas urbanas o ecológicamente sensibles y áreas industriales de alto riesgo, para prevenir daños de consideración en caso de presentarse emergencias ambientales. La necesidad de evaluar el riesgo ambiental surge de la importancia de preservar los ecosistemas y la población o sus bienes, circundantes a los sitios en donde se efectúan actividades riesgosas.

La realización de estudios de riesgo consta de tres niveles:

- a) Informe preliminar de riesgo,
- b) Análisis de riesgo y
- c) Análisis detallado de riesgo.

Dichos estudios tienen como objetivo contar con la información necesaria y suficiente para identificar y evaluar en cada una de las fases que comprende el proyecto las actividades riesgosas, y con ello incorporar medidas de seguridad tendentes a evitar o minimizar los efectos potenciales a su entorno en caso de un accidente. El nivel de estudio dependerá de la complejidad del proyecto y las características del entorno que atraviese.

Las etapas básicas del análisis de riesgo particularmente en los ductos, son la detección de los puntos críticos, su jerarquización y la selección de opciones de solución para evitar o reducir los riesgos.

El primero consiste en detectar los puntos críticos en los cuales se pueden presentar fallas susceptibles de impactar negativamente a las instalaciones y su entorno. En ese caso es posible utilizar metodologías de análisis como son:

- Lista de comprobaciones: Se utilizan en instalaciones pequeñas, de bajo riesgo y tecnología generalmente muy conocida.
- Estudios de riesgo de operabilidad: (HAZOP) Para instalaciones complejas, de alto riesgo y tecnologías innovadoras.
- Árbol de fallas, a nivel cualitativo etc.

Con base en este marco regulatorio vigente en nuestro país, y la posibilidad de aplicación de diversas técnicas para el análisis de riesgo disponibles en el mercado, nosotros seleccionamos las que consideramos más convenientes para utilizarlas en el caso de estudio de esta investigación, y son las que tienen que ver con el “HAZOP” y “Ábol de Fallas”, para la identificación de los elementos y puntos críticos, y la determinación la probabilidad de ocurrencia de los factores de riesgo operativos en el sistema del poliducto de 12” D.N. Minatitlán-Villahermosa, respectivamente.

El segundo aspecto básico a considerar consiste en que los riesgos detectados, deben ser jerarquizados y evaluados adecuadamente, tanto cualitativa, como cuantitativamente para determinar los posibles efectos en caso de presentarse una contingencia y con ello poder seleccionar las opciones para su atención, aplicando un análisis costo - beneficio que permita la operación del ducto e instalaciones asociadas, sin descuidar los aspectos de protección a los ecosistemas, al hombre y a sus bienes.

Una evaluación de riesgo es un acercamiento organizado y sistemático para identificar riesgos, éste debe ser preventivo en obras nuevas y de control de riesgo y pérdidas en obras en operación, de acuerdo al grado de riesgo que presente una instalación, depende la frecuencia con que deba efectuarse un análisis de riesgo, a una sección, ducto completo, o instalaciones asociadas.

Los costos de un análisis de riesgo, estarán en función de las características de la instalación, metodología a emplear, motivo del análisis de riesgo, profundidad requerida en el estudio etc.

Se puede considerar una serie de evaluaciones de riesgo a través del ciclo de vida de un proyecto, como son: investigación y desarrollo, diseño, cambios en los procesos, y operación, y la frecuencia recomendable para efectuar los estudios de riesgo, estarán en función del tipo de proceso, la Tabla 5.1 muestra ejemplos de

procesos y como estos están referidos a la frecuencia de revisión recomendada de acuerdo al grado de riesgo.

TABLA 5.1. LOS PROCESOS Y SU FRECUENCIA DE REVISIÓN		
GRADO DE RIESGO	PROCESOS	FRECUENCIA DE REVISIÓN RECOMENDADA
ALTA	Producción o almacenamiento de materiales explosivos. Manejo de materiales riesgosos con la posibilidad de llegar a la concentración de IDLH fuera del lugar. Operaciones donde los problemas pudieran ocasionar rupturas en el equipo o eventos catastróficos.	< 2 años
MODERADA	Producción o manejo de materiales tóxicos o flamables en cantidades suficientes con las que un incidente pueda significar un impacto en el lugar y en menor forma en el exterior.	< 3 años
BAJA	Producción o manejo de combustible o materiales bajamente tóxicos. Operaciones con bajo potencial de fuego, explosión o problemas químicos.	< 4 años

Los factores que intervienen en la selección de técnicas de evaluación de riesgos son:

- Motivos para la realización del análisis de riesgo.
- Tipo de resultados requeridos.
- Tipo de información disponible para la realización del estudio.
- Características del problema de análisis.
- Riesgos detectados asociados al proceso o actividad.
- Recursos disponibles.

En este sentido, creemos que derivado de la antigüedad (25 años) del poliducto de 12" D.N. Minatitlán-Villahermosa, y dentro del entorno que prevalece en términos generales desde hace algunos años en la industria de ductos de Pemex,

en el tema de accidentes y contaminación ambiental, pero además, atendiendo a las estadísticas que de alguna manera se pueden consultar para los poliductos de Pemex-Refinación. Propondríamos, a las instancias correspondientes, la implementación de programas integrales de mantenimiento a corto, mediano y largo plazos y durante toda la vida útil de los sistemas de poliductos en el territorio nacional. Desde luego que los programas atenderán puntualmente las características particulares de cada sistema. Esto ayudará a consolidar poco a poco una industria más eficiente y sobre todo con los estándares de seguridad y calidad en el servicio que identifican a las empresas de clase mundial.

5.3. Reglamentación de los derechos de vía DDV's para poliductos de Pemex-Refinación.

Los ductos para transporte de hidrocarburos son el medio de transporte más eficiente para transportar de los centros de producción a los centros de consumo, a tiempo constante y sin importar las variaciones de gasto requeridas.

Para satisfacer las necesidades de los centros de demanda ha sido necesario implementar una extensa red de ductos, debido a que los centros de consumo son los de más abundante población, con mayor desarrollo industrial y distanciamiento de los centros de producción.

La población nacional, que de cuarenta millones en el años de 1960 se duplicó a ochenta millones a principios de la década de los 80 (INEGI), y el boom petrolero de México entre la década de los 70 e inicio de los 80, dio lugar al notable incremento de centros de transformación industrial, para satisfacer la demanda externa e interna de energéticos.

Así nacieron las Refinerías de:

- Tula, Cadereyta y Salina Cruz

Los complejos petroquímicos en los alrededores de Coatzacoalcos y Minatitlán, así como las plantas petroquímicas en:

- Tula, Salamanca, San Martín Texmelucan,
- Camargo, Madero, Topolobampo,
- Lázaro Cárdenas y Guaymas.

El incremento de la población, si bien de mayor concentración en zonas urbanas, no ha sido ajena a ocupar y transformar zonas de vegetación silvestre, en las que se ha depredado la ecología en forma alarmante.

Los bosques, selvas, pantanos; si no se han disipado sí han llegado a su expresión mínima, provocando la desaparición de la flora y la fauna locales, rompiendo el equilibrio ecológico para transformar el clima y en muchos casos trayendo fuentes de contaminación.

Como ninguna otra actividad humana, la explotación del petróleo modificó de un modo radical el ambiente natural y social de la zona costera del sureste. Las fases iniciales de la producción (los trabajos de exploración) siempre se realizaron con la mentalidad de una lucha contra el medio ambiente, particularmente si se trataba de áreas cubiertas por selvas tropicales o pantanos. En tales circunstancias la apertura de caminos de acceso al petróleo significó la eliminación de superficies considerables de vegetación natural. El movimiento de vehículos y materiales alteró los sistemas naturales de la circulación del agua, propicio la compactación de los suelos y aceleró los procesos de erosión. Pero en términos de planificación de un sistema energético, probablemente la falla más grave haya sido que a los valiosos datos sistematizados por los estudios de prospección geológica nunca les agregaron información sobre la ecología de los complejos ambientales tropicales costeros. Se perdió, así, la oportunidad de coleccionar una valiosa información para la planificación del sistema energético de hidrocarburos en la zona costera.

Las actividades de desarrollo y explotación del petróleo adicionaron un exceso considerable de efectos ambientales adversos. El acondicionamiento del área, el desplazamiento y la instalación de los equipos pesados de perforación, los materiales utilizados, las técnicas de operación y mantenimiento, así como la propia intensidad de las actividades, modificaron profundamente los

ambientes costeros. Las tareas para acondicionar el área de perforación exigieron a menudo de la excavación y el recubrimiento de superficies pantanosas. Los residuos del petróleo y de otros desechos contaminaron gravemente los delicados ambientes acuáticos. Sin diseños adecuados ni programas permanentes de mantenimiento, los caminos de acceso se transformaron en pequeños diques que obstruyeron la circulación del agua o en los accesos de la apertura de canales, aceleraron el drenaje de las zonas de inundación. La intensidad de tales alteraciones es patente en los distritos petroleros de Tabasco.

La instalación de unidades de recolección, tratamiento y almacenamiento en áreas inundables y semiinundables, requirió recubrimientos masivos de pantanos o bien la eliminación de la vegetación natural. Debido a la falta de sistemas adecuados de mantenimiento, dichas unidades se convirtieron en fuentes permanentes de contaminación. En casi todos los distritos petroleros se puede comprobar la falta de criterios ecológicos en la localización, el diseño y el mantenimiento de estas unidades.

Ante la necesidad de proteger contra riesgos a la creciente población y en general a la ecología regional, el marco gubernamental se ha ampliado y nuevas entidades gubernamentales condicionan el trazo de los ductos para transporte de hidrocarburos. (Toledo A. 1983)

Entidades gubernamentales tradicionales, hacen reclamo del control y reglamentación de los proyectos que puedan poner en riesgo a la población, de la cual son responsables.

En orden de gestión, para que los proyectos de ductos queden encuadrados dentro del marco gubernamental, consideraremos los siguientes artículos básicos, de los principales organismos de gobierno.

Marco Gubernamental

Derecho de Vía. Localización. El derecho de vía, se selecciona, en la forma necesaria para reducir al mínimo la posibilidad de peligro, debido a futuros desarrollos industrial y urbano o invasiones del derecho de vía « ANSI 434.3.1».

Secretaría de Energía

La Dirección General del Petróleo de la Secretaría de Energía, con fundamento en la ley reglamentaria del artículo 27 constitucional y el reglamento de trabajos petroleros, es el órgano gubernamental, inicial, para otorgar a Petróleos Mexicanos, el permiso indispensable para llevar a cabo la explotación del petróleo, incluyendo el transporte por ductos.

«Artículo 6 Toda solicitud deberá acompañarse de la memoria descriptiva y el o los planos necesarios para dar a conocer en detalle la obra proyectada, todo suscrito por un ingeniero autorizado para ejercer la profesión en la República Mexicana y cuyo título y cédula profesional, hayan sido registrados en la Dirección General de Minas y Petróleo de la Secretaría de Energía. Los dictámenes, informes y en general todos los documentos de carácter técnico y económico, deberán ser suscritos por peritos de capacidad reconocida, a juicio de la misma secretaría».

«Artículo 7 Las memorias descriptivas tendrán por objeto justificar técnica y económicamente las obras y construcciones, desde el punto de vista de la seguridad y el mejor aprovechamiento de todos los hidrocarburos naturales a que se refiere el artículo 1o. de la ley y que se comprenden en la palabra *petróleo*. Por lo tanto, contendrán todos los datos necesarios para la mejor interpretación del funcionamiento de las obras y demostrarán que ni en su ejecución ni durante el funcionamiento de las instalaciones que comprendan, se verán lesionados los derechos de tercero o los intereses generales del país».

Es evidente que este artículo es violado constantemente en cada uno de los accidentes en ductos de Pemex.

Terrenos - Su Ocupación

«Artículo 44 De conformidad con lo dispuesto en el artículo 37 del reglamento de la Ley Reglamentaria del Artículo 27 Constitucional, en el ramo del petróleo, el permisionario solo podrá usar terrenos de propiedad particular si previamente ha celebrado con el propietario o poseedor de los mismos el convenio respectivo. De no lograr establecer ese convenio en un plazo de 90 días contados a partir de la fecha del permiso de la Secretaría de Energía para la obra o trabajo de que se trate, el permisionario solicitará de la secretaría la declaratoria de ocupación temporal o la expropiación del terreno, según proceda, tal como lo previene el artículo 37 del reglamento, sujetándose a los planos aprobados por la secretaría»
Tratándose de ductos.

En estos términos, el terreno y su ocupación se entenderá como: una faja que no exceda de 10 m de ancho, para la instalación de la tubería principal y de sus ramales. El ancho de 10 m solo podrá aumentarse cuando se proyecte establecer más de tres tuberías, en este caso el ancho se podrá incrementar en 1.50 m por cada tubería adicional.

La Secretaría bajo justificación técnica, suele autorizar una mayor amplitud de derecho de vía para construcción de los ductos.

«Artículo 48 Previa autorización de la Secretaría de Estado correspondiente, el permisionario podrá aprovechar los derechos de vía de las vías de comunicación, para la instalación de sus tuberías, contrayendo la obligación de cumplir las disposiciones de la secretaría que concede el permiso».

Este artículo debe ser aplicable a los ductos introducidos a zonas urbanas, en la que son prioritarias las redes de servicio a la población.

«Artículo 188 El permisionario no podrá impedir el cruce de sus tuberías por las líneas de energía eléctrica, caminos, carreteras, canales y ferrocarriles que establecieran otras instituciones y, tendrá a su vez, derecho a cruzar líneas de energía eléctrica, canales y vías de comunicación, teniendo en cuenta las disposiciones que sobre cruzamientos se establezcan en los ordenamientos relativos y sujetándose a las condiciones que se hayan estipulado en los permisos respectivos, en la inteligencia de que los gastos que originen los cruces, serán por cuenta exclusiva de quien cruce las obras ya existentes y de que las nuevas obras o instalaciones se harán de acuerdo con el dictamen de la dirección y las condiciones que fijen las dependencias gubernamentales afectadas».

El Artículo 197 se refiere a la presión de pruebas hidrostáticas, consideramos que el cálculo de especificación de la tubería de la norma NRF-030-PEMEX-2003 “Diseño, Construcción, Inspección y Mantenimiento de Ductos Terrestres para Transporte y Recolección de Hidrocarburos”, analiza y cumple mayormente para protección de la población de acuerdo a su densidad por área existente o probable.

La comunicación con las autoridades municipales en casos de emergencia coadyuvará a controlar las acciones necesarias, al agregarse los recursos y autoridad municipal.

El propósito de este capítulo fue establecer el marco normativo que en materia de riesgos, impacto ambiental y protección al ambiente, regula las actividades de: diseño, construcción, operación y administración de los sistemas de transporte y distribución de productos destilados de petróleo en el territorio nacional. Implícitamente, cuales son las atribuciones a que tienen lugar las subsidiarias de Petróleos Mexicanos, desde luego también en igualdad de circunstancias, sus obligaciones y compromisos con la sociedad para resguardar la seguridad de las instalaciones con pleno respeto al medio ambiente.

CAPÍTULO 6

RECOMENDACIONES: “ESTRATEGIAS PARA IMPLEMENTAR UN SISTEMA DE ADMINISTRACIÓN DE RIESGO, SEGURIDAD Y PROTECCIÓN AMBIENTAL EN INSTALACIONES PETROLERAS”

6.1. Introducción

La industria petrolera por la naturaleza de sus actividades y los productos que maneja es considerada como de alto riesgo, Petróleos Mexicanos por estar dentro de este ramo de extracción, el procesamiento, el almacenamiento y la distribución de los hidrocarburos no deja de ser una empresa de alto riesgo, en materia de seguridad industrial. Esta industria en México ha implementado medidas y programas que la ha llevado a alcanzar índices de desempeño que si bien no son equiparables con los que tiene la industria en el ámbito internacional, si representan los esfuerzos que ha realizado en esta disciplina, considerando el índice de frecuencia de accidentes personales como el indicador más representativo, en Pemex-Refinación (Anuario Estadístico de Pemex, 2001), por ejemplo en un periodo de siete años se ha tenido una disminución en este índice aproximadamente 5 puntos, en 1990 fue de 14 y en 1996 de 9 puntos, mientras que el estándar es menor de 4 puntos.

En lo que respecta a la protección del medio ambiente, el desempeño no ha sido muy satisfactorio y hasta en las últimas cuatro décadas en las que se han presentado un desarrollo tecnológico e industrial, es cuando se le ha dado esencial importancia; por otro lado entró en vigor en México la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección Ambiental, se ha establecido una serie de medidas que le han permitido a la empresa mejorar ligeramente en este aspecto, como ejemplo se puede mencionar la cantidad de residuos peligrosos que antes de 1988 se descargaban en este sitio donde se desarrollan las actividades y actualmente y desde 1994 todos los residuos se disponen en centros de acopio

debidamente autorizados por la Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Ante esta tendencia mundial de proteger el capital humano de las empresas y al medio ambiente que circunscribe las actividades de la misma surge la necesidad de implementar sistemas de administración del riesgo, encaminando esfuerzos al mejoramiento de la organización en esta disciplina y adoptando las mejores prácticas en el ámbito internacional.

6.2. Declaración de la política de seguridad y protección ambiental

La política ambiental es una “declaración de las organizaciones de sus intenciones y principios en relación con su desempeño ambiental global que proporciona un marco de acción y para el establecimiento de sus objetivos y metas ambientales”.

La alta dirección debe asegurarse de que la política sea puesta en práctica en toda la organización. El compromiso de la alta dirección con buenas prácticas ambientales sirve para el desarrollo y el mejoramiento del sistema. Así, la política debe ser conformada para que se adapte a la organización y debe reflejar la realidad de la situación ambiental de la empresa.

La política ambiental y de seguridad en la organización, deberá contener dos partes, una declaración de la visión y una declaración de los principios básicos. (Figura 6.2.1.)

La declaración de la visión describe el posicionamiento general ambiental y de seguridad de la organización, y es la base de la declaración de la política. Los principios son establecidos para ejercer efectivos cumplimientos con responsabilidad.



Figura 6.2.1. Elementos de la política ambiental y de seguridad de la organización

Uno de los prerequisites para declarar la política ambiental requiere definir primordialmente la visión que una empresa tiene con relación a la seguridad y el medio ambiente, por ello la organización lo deberá identificar de la siguiente manera:

6.3. Descripción de la visión de la organización en seguridad y protección ambiental

La seguridad y la protección ambiental en la organización deberán conducir su negocio de tal forma que equilibre las necesidades ambientales y de seguridad, y respete las preocupaciones de las comunidades en las que opera.

La organización deberá considerar la administración ambiental y de seguridad un componente esencial de su éxito a largo plazo en el negocio y se esforzará en ser un líder en esta área. Una administración efectiva produce valor económico, asegura la productividad a largo plazo de sus activos y su personal, y construye

CONCLUSIONES

El desarrollo de este trabajo está dirigido a todos aquellos especialistas que tienen la inquietud de participar en estudios de análisis de riesgos y protección al medio ambiente dentro del contexto de las instalaciones petroleras, en este caso el enfoque está referido a los sistemas de poliductos y las instalaciones que interconectan, entre ellas están las estaciones de almacenamiento y distribución de destilados, estaciones de bombeo y rebombeo, estaciones de medición, etc. Sin embargo los planteamientos vertidos en los capítulos 1 al 6 de este trabajo pueden ser retomados para procesos similares ajenos a la industria petrolera, finalmente son herramientas técnicas con aplicaciones diversas dentro de la industria de procesos industriales.

Sin más preámbulos se puede concluir:

- a) Se identificaron cuatro categorías principales en donde pueden agruparse los factores o índices de riesgo asociados a la operación de poliductos, estos son: Corrosión, Afectaciones por Terceras Partes, Operaciones Incorrectas y Diseño.
- b) **Con la identificación de los factores de riesgo, presentados en el capítulo 2, se puede disponer de información cualitativa, rápida y oportuna que facilite la consulta de los factores de riesgo imperantes en la operación de poliductos para su empleo en análisis de riesgos y protección al ambiente.**

Para el desarrollo de los análisis de riesgos y confiabilidad, fue establecido el marco conceptual de los factores de riesgos a través de la identificación de aquellos eventos que potencialmente se pueden presentar en los sistemas de poliductos. Se recurrió al Manual de Administración del Riesgo en poliductos de W. Kent Muhlbauer, 1996, para acotar el alcance de los

- a) **factores de riesgos. Estos factores son muy importantes por su utilización en la determinación de las consecuencias indeseables de aquellos incidentes que reducen la rentabilidad de las instalaciones por pérdidas en la producción y/o incremento en los costos de mantenimiento.**
- b) Para la **evaluación de la probabilidad de ocurrencia de un incidente, se consideró la frecuencia de ocurrencia de incidentes de fallas reales en poliductos por medio de la información recabada en PEMEX. Misma que mostró a través del análisis efectuado, que las mayores tasas de falla con repercusiones catastróficas son las generadas por problemas de daños por terceras partes, tal y como lo demuestran los resultados mostrados en las Tablas 3.5, 3.6 y 3.7, del capítulo 3, en donde la mayor probabilidad de falla corresponde a daños por terceras partes, provocados por las tomas clandestinas; seguidos en orden decreciente por los factores de corrosión; operaciones incorrectas y diseño respectivamente.**
- c) **La estimación de la confiabilidad fue basada en la tasa de fallas de los componentes (aquí es importante señalar que fue necesaria la aplicación de la técnica de árbol de fallas para determinar la tasa de falla con los datos recabados en PEMEX de accidentabilidad en poliductos, la construcción de los árboles de falla es mostrada en el capítulo 3).**

La predicción de la confiabilidad es un cálculo probabilístico, sin embargo, es una herramienta valiosa por las siguientes razones:

- **Permite establecer qué componentes o áreas, contribuyen en un mayor porcentaje a la "no confiabilidad" en el diseño.**
- **Permite realizar interacciones entre confiabilidad y mantenimiento para lograr una disponibilidad dada.**
- **Permite una evaluación de los costos del ciclo de vida del equipo.**

a) Los resultados generados en la determinación de la magnitud y severidad de los incidentes de manera puntual (factores de riesgo), en este caso, para los casos de accidentes hipotéticos, fueron los relacionados a una fuga catastrófica de gasolina en la tubería por actividades ilícitas de tomas clandestinas en áreas urbanas y semiurbanas de las ciudades de Cárdenas y Villahermosa en el estado de Tabasco, estos fueron obtenidos con el empleo del software PHAST. **La cuantificación de riesgos en términos de la severidad de las consecuencias y la probabilidad de ocurrencia de un incidente proporciona al responsable de las instalaciones una herramienta importante en la toma de decisiones en cuanto a la identificación de aquellas acciones necesarias que deberán implementarse para la reducción y control de riesgos.**

En las Figuras 4.10 y 4.11, del capítulo 4, se muestran los resultados obtenidos en la determinación de la magnitud de los casos hipotéticos de falla, (análisis de consecuencias y con el empleo del PHAST) en las áreas urbanas y semiurbanas de las ciudades de Cárdenas y Villahermosa del estado de Tabasco, con la ruptura catastrófica por actividades ilícitas de toma clandestina en el poliducto de 12" D.N., donde se muestra la extensión máxima prefijada del nivel de sobrepresión explosiva calculado, para los diferentes escenarios de la fractura de línea, fuga y explosión.

El área dentro de la curva llamada explosión temprana, podría resultar afectada por sobrepresiones de esta magnitud o aún mayores si la nube de vapor explotara bajo las peores condiciones del viento.

También, se muestra, la extensión máxima predicha de los niveles de peligro de los escenarios correspondientes a fugas de gasolinas, analizados en este estudio. Dichas figuras muestran que las emisiones identificadas tendrían impacto sobre las instalaciones. Cualquier persona que se

encuentre localizada dentro de la zona potencialmente afectada, puede sufrir lesiones o inclusive la muerte.

- a) **En el caso del análisis de riesgo, las principales preocupaciones son los posibles daños humanos, impactos ambientales así como daños a las instalaciones causados por la ocurrencia de fuego, explosiones, emisión de materiales tóxicos y peligros asociados.**

- b) **Adicionalmente fueron consultadas bases de datos del Departamento de Transportación de los Estado Unidos (DOT) en ductos de transporte de líquidos operados bajo el Código Federal de Regulaciones (CFR) intitulado 49D, Part 195 Transportation of Hazardous Liquids by Pipelines. Para establecer un marco de referencia de los datos empleados en el estudio de confiabilidad. También se analizó la información disponible en la bibliografía, de bases de datos de tipo Internacional, como puntos de partida, pero fueron considerados primordialmente los datos recabados en PEMEX, que representan más la realidad que se vive en los sistemas de poliductos de nuestro país. Cabe aclarar, que actualmente se carece de una base de datos propia y de manera oficial para este tipo de Instalaciones.**

Por otro lado, podemos concluir que el grado de incertidumbre en los resultados obtenidos debe ser cuantificada mediante el uso de más datos de tasas de fallas reales, a partir de una gran variedad de fuentes para instalaciones similares. Debido a que las suposiciones que se hacen en ingeniería, con relación a la vida útil de los componentes son todavía pesimistas y necesitan ser validadas con resultados verdaderos.

Los datos de fallas reales, particularmente reportes de inspección, son piezas claves. La falta de estos datos es un problema común que necesita pronta atención.

- a) Para cualquier caso de hipótesis, tratado en el Análisis de Frecuencias, se deberá proceder de la siguiente forma:
- Revisión del equipo o “sistema” involucrado en la hipótesis dada.
 - Revisión del modo de falla del equipo o “sistema” involucrado (p.e. Fuga al Exterior).
- b) Podemos decir, que los análisis de riesgo y protección al ambiente son herramientas valiosas para la toma de decisiones en cuanto al destino de los fondos disponibles para inversiones en seguridad que eviten pérdidas tanto humanas como económicas, así como, contribuir a la mejora del medio ambiente y a la comunidad.
- c) Una problemática fundamental en nuestro país, que se ha generalizado en los últimos 15 o quizá más años tiene que ver con el hurto de combustibles como gasolina y diesel en diversos medios de medios de transporte e instalaciones de servicios, sin embargo nosotros dirigiremos nuestra atención a los sistemas de poliductos instalados en el territorio nacional. Evidentemente muchos de estos casos salen a la luz pública a través de los diferentes medios de comunicación (la prensa, la radio, el Internet y televisión principalmente), al mostrar los accidentes y repercusiones costosas al medio natural, población civil afectada y por supuesto las propias instalaciones de Pemex e infraestructura diversas. Esta realidad podemos concluir se encuentra asociada al deterioro socioeconómico paulatino y cada vez más generalizado en nuestro país. Una región que padece ésta circunstancia desde hace varios años es el Sureste mexicano y particularmente los estados de Veracruz, Campeche y Tabasco.

La investigación que hemos desarrollado en este documento analiza los factores de riesgos operativos y la vulnerabilidad física en los derechos de vía del sistema de poliducto de 12” D.N. con origen en la Refinería de Minatitlán. Ver. y con destino a la Terminal de Almacenamiento y Distribución de Villahermosa, Tab. En esta región podemos encontrar una

- a) transformación de los procesos económicos de la sociedad y como fueron modificandose la actividad agrícola, la ganadería y más recientemente la de servicios relacionados directamente a la actividad petrolera. La geografía de esta región ha sido brutalmente sometida a una gran transformación de devastación y pérdida de flora y fauna en términos del medio físico, pero además la población también ha modificado su estatus económico, a uno cada vez más precario y sin oportunidades de desarrollo a pesar de los grandes volúmenes de hidrocarburos que se explotan de sus yacimientos de crudo y gas natural.
- b) Uno de los resultados más importantes de esta investigación, consiste en un programa de evaluación de la vulnerabilidad física en los derechos de vía del sistema del poliducto de 12" D.N., de tal manera que la podemos utilizar para realizar simulaciones e impactos a una población o área sensible, es decir en cualquier punto de interés del poliducto, en virtud de que el programa, consulta una base de datos de los factores de riesgo identificados y registrados en documentos de inspección (diablo instrumentado) a todo lo largo del poliducto. Entre ellos se encuentran pérdidas de espesor debidas a corrosión y otros defectos mecánicos de la tubería, así como también los reportes de tomas clandestinas.
- c) Finalmente, con relación al punto anterior, podemos concluir que la metodología propuesta en este trabajo de investigación esta perfectamente probada y con muchísimas posibilidades de éxito para evaluar los riesgos y la vulnerabilidad en este tipo de instalaciones petroleras.

GLOSARIO Y ACRÓNIMOS O SIGLAS

- **AICHE** Instituto Norteamericano de Ingenieros Químicos.
- **Análisis causa-consecuencia (CCA)** El análisis de los efectos esperados de casos de incidentes resultado de la frecuencia o probabilidad.
- **Análisis de árbol de eventos (ETA)** Modelo gráfico lógico que identifica y cuantifica resultados posibles después del inicio de un acontecimiento.
- **Análisis de árbol de fallas (FTA)** Estimación de la frecuencia de incidente de peligro(evento superior) de un modelo lógico de los mecanismos de falla de un sistema.
- **Análisis de confiabilidad humana (HRA)** Método mediante el cual se estima con éxito la probabilidad de que una persona desarrolle una tarea con éxito.
- **Análisis de Modo y Efecto de fallas (FMEA)** Técnica de identificación de peligros mediante la cual todos los modos de falla conocidas de componentes o características de un sistema son considerados por turno y se anotan los resultados indeseables.
- **Análisis de riesgo de la transportación (TRA)** Estimado de riesgo basado en la consideración de estimados de consecuencias y frecuencias inherentes de accidentes durante el transporte de materiales.
- **Análisis de “y si/lista de verificación”** Enfoque híbrido a la evaluación cualitativa de riesgos compuesto de dos partes: un análisis de “y si” es un enfoque de intercambio de ideas en el cual un grupo de personas experimentadas familiarizadas con un proceso determinado hacen preguntas o plantean sus preocupaciones acerca de eventos indeseables posibles; análisis de lista de verificación es una lista detallada de atributos deseables de un sistema o pasos para que un sistema u operador se desempeñe, que normalmente es elaborado de la experiencia y utilizado para evaluar la tolerancia o estado del sistema y operación, comparados con normas establecidas.
- **BLEVE** Explosión de vapor de líquido en ebullición en expansión.

BIBLIOGRAFÍA

"Accident Facts," (1991). National Safety Council, Chicago, IL, 1991

Alcocer, J. (1997). Contaminación de aguas continentales Programa Universitario de Medio Ambiente. Destrucción del Hábitat. Sexta reunión anual. Octubre de 1997. Auditorio Alfonso Caso. Cd. Universitaria UNAM.

API (2005). American Petroleum Institute, Especificaciones de los Estados Unidos de América.

Bansart, A. (1990). Cultura Ambiente y Desarrollo. Universidad Simón Bolívar. Caracas.

Beaty, G. y Gutiérrez Ma. C. (1994)- Evolución de las relaciones Naturales – Hombre y Ecología – Economía en el mundo Occidental durante el siglo XX. El marco teórico implícito en el que trabajan los ecólogos y ambientalistas. Ciencias, V. 45(1) 43 – 45. México.

Boletines de Petróleos Mexicanos (2004). Información disponible en la biblioteca y también en la página de Internet de la paraestatal .

Brañes, M. (1994). Manual de Derecho Ambiental Mexicano. Fundación Mexicana para la Educación Ambiental. Fondo de Cultura Económica. México. pp 254-255.

Brzustowski, T.A. (1972). "Un Modelo de Predicción de las Formas y Longitudes de Flamas de Difusión Turbulenta sobre Quemadores Elevados del Tipo Industrial". 22da. Conferencia Química Canadiense, Toronto, Canadá.

Calderón Aragón, Georgina (2001). Construcción y Reconstrucción del Desastre. Ed. Plaza y Valdés. Pp. 55.

Carabias, J. (1990). Medio Ambiente y Desarrollo en México. Vol. 1. Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Humanidades. UNAM. Ed. M.A. Porrúa. México. pp. 329 – 355.

Cardona, O. D. (1997). Globalización ante la Problemática Mundial. Programa Universitario de Medio Ambiente. Destrucción del Hábitat. Sexta reunión anual. Octubre de 1997. Auditorio Alfonso Caso. Cd. Universitaria. UNAM.

CCPS (1989). Center for Chemical Process Safety: Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis. AIChE. Nueva York.

CENAPRED (2001). Centro Nacional de Prevención de Desastres Naturales. UNAM

CINVESTAV (1985). Centro de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional.

CODEZPET (1985). Comisión para el desarrollo de zonas petroleras.

Cohen, B. LO., and Lee, I-S, (1979). "A Catalog of Risks," IEEE Standards. Workshop on Human Factors and Nuclear Safety. IEEE, New York, 1979.

Colegio de postgraduados de Chapingo. (1991). Manual de conservación del suelo y del agua. SARH-SPP. 3ª ed. México. pp. 6-8.

Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (1991). Evaluaciones del Impacto Ambiental en América Latina y el Caribe. Naciones Unidas.

Comisión Mundial del Medio Ambiente y del Desarrollo. (1988). Nuestro Futuro Común. Alianza Editorial. Madrid.

Comisión Nacional de Derechos Humanos (1995). Reporte de CNDH 100/95.

Cuadri, G. (1997). Estado de la Contaminación Ambiental en México. Programa Universitario de Medio Ambiente. Destrucción del Hábitat. Sexta reunión anual. Octubre de 1997. Auditorio Alfonso Caso. Cd. Universitaria. UNAM.

EPA (2004). Environmental Protection Agency. Estados Unidos de América.

FAO-UNESCO (1970). *Manual de Clasificación de Suelos* (Modificada por DETENAL) 1970.

Figueroa A. J. (1969). Catálogo de Regionalización de la República Mexicana del Instituto de Geología de la UNAM.

Freeman, Harry. (1998). Manual de Prevención de la Contaminación Industrial.

García, R. (1989). Ciencias Sociales y Formación Ambiental. Compilación de Enrique Leff. Editorial Gedisa. Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Humanidades. UNAM. pp. 85 – 123.

Gilbert, M. Masters. (1974). Introduction to Environmental Science and Technology. Ed. John Wiley & Sons.

Greenberg & Cramer. (1991). Risk Assessment and Risk Management for The Chemical Process Industry.

Haasl D.F., et al. (1981). Nuclear Regulatory Commission Washington, D.C., (U.S.A.)

Hernández, H. (1983). Estudios del impacto petrolero en los servicios de bienestar social, aparato productivo e infraestructura de la región sureste de México. Tomo I. Senado de la República.

Hewitt, K. (1983). "The idea of calamity in a technocratic age", en K. Hewitt (ed), *Interpretation of Calamity*. Boston, Allen & Unwin.
(1995). "Excluded Perspectives in the Social Construction of Disaster" en *International Journal of Mass Emergencies and Disasters*. November, vol.13, núm. 3, pp 317-339.

Howard, S. Peavy, Donald, R. Rowe, Tchobanoglous, George. (1987). Environmental Engineering. Ed. McGraw-Hill International Editions.

HSC. (1991). Aspectos de Riesgos Mayores del Transporte de Sustancias Peligrosas (Reporte y Apéndices). Comisión de Seguridad e Higiene. Reino Unido. pp. 136 – 151.

Hoyland & Rausand. (1994). System Reliability Theory.

INEGI (1990). Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Mapa Geológico del estado de Tabasco.

INEGI. (1994, 2000). Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Estadísticas del Medio Ambiente. México.

INEGI. (2001). Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Cartografía del estado de Tabasco.

Instituto Norteamericano de Ingenieros Químicos. (1989). Lineamientos para el Análisis Cualitativos del Proceso Químico. Centro para la Seguridad del Proceso Químico. CCPS. 1989.

Jain, R. R., Urban, L.V., Stacey, G.S. (1977). Environmental Impact Analysis. Ed. Van Nostrand Reinhold Company.

Jones, G. Rav, Davis C.Wooten. (1980). Environmental Impact Handbook. Ed. McGraw-Hill Book Company.

Kauf, Erik. (1982). Gerencia de Riesgos.

Kletz, T. (1992). Hazop and Hazan. Identifying and Assessing Process Industry Hazard (3ra. Edición). The institution of Chemical Engineers. Rugby.

Kolluro, Rao. (1998). Manual de Evaluación y Administración de Riesgos. Ed. MacGraw-Hill.

Lee, Harrison. (1995). Manual de Auditoría Medioambiental. Higiene y Seguridad.

Leff, E. (S/F). Ciencias Sociales y Formación Ambiental. Colección Hombre – Sociedad. Ed. Gedisa. México. pp. 31 – 47.

(1990). Medio Ambiente y Desarrollo en México. Vol. 1. Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Humanidades. UNAM. Ed. M. A. Porrúa. México. pp. 7 – 24.

Litai, D., et al. (1981). “A Public Perception of Risk,” in the Analysis of Actual versus Perceived Risks Eds, Covello, V. T., et al., Plenum Press, New York, 1981.

Mackenzie, L. Davis, David A. Cornwell. (1985). Introduction to Environmental Engineering. Ed. McGraw-Hill International Editions, Second Edition.

Macombo-Boixareu. (1988). Seguridad e Higiene en el Trabajo.

Martín, P. Wanielista, Yousef A. Yousef, James S. Taylor, C. David Cooper. (1985). Engineering and the Environment. Ed. Books/Cole Engineering División.

Martínez Laguna N. (2000). Tesis “Desarrollo de la industria petroquímica en el sureste de Veracruz impactos territoriales durante el período 1970-1997”.

Muhlbauer, W. Kent. (1996). Pipelines Risk Management Manual. Second Edition. pp. xvi - xviii

NACIONAL SAFETY COUNCIL (2000). Accident Facts. National Safety Council. Chicago. USA.

Newbrough, E.T. (1986). Administración de Mantenimiento Industrial.

NRF-005 Pemex (2000). Norma "Inhibidores de Corrosión"

NRF-026 Pemex (2001). Norma "Recubrimientos Anticorrosivos para Tuberías de Acero al Carbón"

NFR-030 Pemex (2003). Norma Diseño, construcción, inspección y mantenimiento de ductos terrestres para transporte y recolección de hidrocarburos.

NRF-047 Pemex (2002). Norma "Diseño, Instalación y Mantenimiento de los Sistemas de Protección Catódica.

OIL WATCH MÉXICO (1999).

OREDA. (1993). Base de datos de Instalaciones Costa-Fuera.

OPS. (1999). Data Office of Pipelines Safety Databases.
Office of Pipeline Safety 2004. Web http://ops.dot.gov/stats/1q_sum.htm
accesada 12/08/2004

PHAST (2005). Program hazard analysis system tools Veritas D. N.

Plan Estatal de Desarrollo (2002-2006). Estado de Tabasco.

Perry, R.H. & Green, D. (1984). Perry's Chemical Engineer's Handbook.

Poder Ejecutivo Federal. (1995). Plan Nacional de Desarrollo (1995-2000).
Talleres Gráficos de la Nación. México. 140 p.

PROFEPA (2002-2003) Procuraduría Federal de Protección al Ambiente.

Quarantelli, E. L. (1995). "What Is a Disaster", en *Internacional Journal of Mass Emergencias and Disasters*. Vol. 13, núm. 3 November, pp. 221-229.

Rascón, Octavio. (1982). Estadística Descriptiva. Facultad de Ingeniería. UNAM.

(1982). Fundamentos de la Teoría de Probabilidades. Facultad de Ingeniería. UNAM.

Revista Octanaje (2003). Pemex-Refinación.

Rodellar Lisa, A. (1988). Seguridad e Higiene en el Trabajo. Macombo-Boixareu. Barcelona.

Roland, P. Blake. (1997). Seguridad Industrial.

Rodríguez, A. (1994). Geografía del Medio Ambiente. Una Alternativa del Ordenamiento Ecológico. Universidad Autónoma del Estado de México. Facultad de Planeación Urbana y Regional. México. pp. 88-90, 115-130.

Rowe, W.D. (1977). "An Anatomy of Risk," Wiley, NY, 1977.

Santamaría y Braña, Ramiro. (1994). Análisis y Reducción de Riesgos en la Industria Química.

Santos, Milton (1986). "El presente como espacio" en Santos, Milton, *Pensando o espacio do homen*, tr. Raymundo Martínez Fernández. Sao Paulo, Hucitec.

SEMARNAT (1998). Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Manifestación de Impacto Ambiental "MIA".

SARH (1983). Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos.

SIASPA-Pemex (2003). Sistema de Administración, Seguridad y Protección Ambiental.

Sistema Nacional de Información Municipal (2002).

Tao, C.K. & W.W. Perry. (1979). "Modificaciones al Modelo de Vulnerabilidad: Un Sistema de Simulación para Evaluar el Diseño Causado por Derrames Marítimos". Guardia Costera de los Estados Unidos de Norteamérica, Reporte CG-D-38-79. Washington, D.C.

Toledo, A. (1983). *Como Destruir el Paraíso*, Centro de Ecodesarrollo CECODES/Océano, México.

Tudela, F. (1992). *La Modernización Forzada del Trópico: El Caso de Tabasco*. El Colegio de México.

Vázquez, M. (1990). Instituto Mexicano del Petróleo, Estudio del efecto sísmico para la Sierra de Chiapas, Sur de Tabasco, Sudoeste de Oaxaca y Veracruz.

Villarreal, Augusto. (1983). *Inferencia Estadística*. Facultad de Ingeniería. UNAM.

West, R.C., N.P. Psuty, B.G. Thom (1969). *The Tabasco Lowlands of Southastern Mexico*, Louisiana State University Press, Baton Rouge, Coastal Studies Series, núm. 27.

White, G. F. (1945). *Human Adjustment to floods*. Research Paper núm 29, Chicago, University of Chicago, Department of Geography.

Zavala, J. (1988). Regionalización natural en la zona petrolera de Tabasco. INIREB, Gobierno del estado de Tabasco. 13 p.

ANEXO "A"

Resultados de la corrida del programa PHAST, para el caso de estudio de ruptura catastrófica, en una tubería de 305 mm (12") de diámetro nominal, la cual transporta gasolina Premium.

INFORMACION REQUERIDA POR EL SIMULADOR PHAST			
Estudio:	Estudio de Magnitud de Consecuencias en el Ducto.		
Caso: I Cárdenas	Ruptura Catastrófica por Toma Clandestina Descontrolada.		
DESCRIPCIÓN	VALOR		
Sitio de fuga:	Km 132+000. Sector Cárdenas. Zona Semiurbana.		
Material :	Gasolina Premium		
Inventario:	412 220.5		
Distancia de interés	50 m	100m	500 m
Fuente de ignición en (m)	Inmediata		
Temperatura de operación	35 °C		
Presión de operación	84 Psi		
Diámetro de tubería	12"		
Tiempo de fuga (min)	-----		
Diámetro de la fuga	12"		
Tipo de superficie	Suelo seco		
Altura de la fuga	0 m		
Dirección de la fuga			
Parámetro de rugosidad superficial (zona urbana)	0.17		
Temperatura ambiente	33.6 °C		
Temperatura del suelo	35 °C		
Humedad relativa	90%		
Presión atmosférica	760 mm Hg		
Categoría de clima Pasquill y velocidad del viento	1.5 m/s F	17.4 m/s; D	20.2 m/s F
REFERENCIAS:			
1.-NORMALES CLIMATOLOGICAS, DEL SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL			

PHAST Professional

Study: POLI12VH

03-SEP-2004 17:01

Case 4: Ruptura_TC_CARD

Processed by version: 5.1

Outdoor release of 412200.0 kg of POLI12 from Saturated Liquid Vessel

Distances of interest (m) : 100.00 500.00 1000.0
Concentration of interest (mol ppm) : 270.
Derive results for IDLH averaging time : 1800.

SCENARIO: Catastrophic Rupture

Initial temperature (K) : 417.
Initial pressure (bar(g)) : 20.0
Dike or containment area (sq m) : No Dike
Surface type : Dry Soil

Final state of release

Discharge velocity (m/s) : 0.000
Final liquid fraction : 0.507
Drop size (mm) : 0.182

+++++
 + CONSEQUENCE RESULTS +
 +++++

 POOL EVAPORATION RESULTS

Liquid Pool Results	20.2m/s;F	17.4m/s;D	1.5m/s;F
Liquid rainout (%)	50.73	50.73	50.73
Initial vapour cloud (kg)	203100.00	203100.00	203100.00
Pool evaporation rate (kg/s)	No evap	No evap	No evap
Maximum pool diameter (m)	No evap	No evap	No evap

 DISTANCE - CONCENTRATION RESULTS

POLII12 (mol ppm)	Av.time (s)	Distance (m)			
		20.2m/s;F	17.4m/s;D	1.5m/s;F	
Conc.of interest	270.00	10.0	15860.00	6023.00	9466.00
ERPG 1 (mol ppm)	42.74	.360E+4	25650.00	8715.00	17800.00
ERPG 2 (mol ppm)	12820.90	.360E+4	1185.00	1306.00	757.30
ERPG 3 (mol ppm)	42736.40	.360E+4	616.70	703.50	537.40

 Conc. at distances of interest for an averaging time of 10.00 s

Distance (m)	POLII12 (mol ppm)		
	20.2m/s;F	17.4m/s;D	1.5m/s;F
Distance 1 : 100.00	638649.00	607132.00	539261.00
Distance 2 : 500.00	65029.70	81614.40	53700.60
Distance 3 : 1000.00	17470.20	21837.40	4544.43

 Conc. at distances of interest for an averaging time of 1800. s

Distance (m)	POLII12 (mol ppm)		
	20.2m/s;F	17.4m/s;D	1.5m/s;F

Distance	1 :	100.00		638649.00	607132.00	539261.00
Distance	2 :	500.00		65029.70	81614.40	53700.60
Distance	3 :	1000.00		17470.20	21837.40	1608.51

 Distances to conc. of interest of 270.00 (mol ppm) for each av. time

Averaging time (s)

Distance (m)

20.2m/s;F

17.4m/s;D

1.5m/s;F

IDLH : 1800.00

8168.01

3815.00

3815.00

 RADIATION EFFECTS: BLEVE/Fireball

Radiation levels (kW/sq m)

Distance (m)

20.2m/s;F

17.4m/s;D

1.5m/s;F

Level : 1.4000

1413.00

1413.00

1413.00

Level : 12.5000

509.50

509.50

509.50

Level : 37.5000

214.70

214.70

214.70

Distance (m)

Radiation levels (kW/sq m)

20.2m/s;F

17.4m/s;D

1.5m/s;F

100.00

Engulfed

Engulfed

Engulfed

500.00

13.67

13.67

13.67

1000.00

3.16

3.16

3.16

 RADIATION EFFECTS: Jet Flame

No results present in this record

 RADIATION EFFECTS: Pool Fire

Pool Fire Distances are radius to radiation level
 plus distance from source to point of rainout

Radiation levels (kW/sq m)		Distance (m)			
		20.2m/s;F	17.4m/s;D	1.5m/s;F	
Level	:	1.4000	173.40	174.00	197.90
Level	:	12.5000	125.20	125.20	125.20
Level	:	37.5000	125.20	125.20	125.20

Distance (m)	Radiation levels (kW/sq m)		
	20.2m/s;F	17.4m/s;D	1.5m/s;F
100.00	Engulfed	Engulfed	Engulfed
500.00	0.04	0.04	0.08
1000.00	0.01	0.01	0.01

FLASH FIRE

Furthest extent (m)	Weather Class		
	20.2m/s;F	17.4m/s;D	1.5m/s;F
	1651.00	1642.00	829.40

EXPLOSION EFFECTS

Weather Class	Weather Class		
	20.2m/s;F	17.4m/s;D	1.5m/s;F
Early ignition : mass (kg)	412200.00	412200.00	412200.00
Early ignition : location (m)	0.00	0.00	0.00
Late ignition : mass (kg)	499.60	721.80	587.60
Late ignition : location (m)	1651.00	1642.00	829.40

EXPLOSION EFFECTS: Early Ignition

Overpressures (bar(g))	Distance (m)				
	20.2m/s;F	17.4m/s;D	1.5m/s;F		
Level	:	0.0345	1640.00	1640.00	1640.00
Level	:	0.1379	629.20	629.20	629.20

Level : 0.2068 | 486.80 486.80 486.80

Distance (m)	Overpressures (bar(g))		
	20.2m/s;F	17.4m/s;D	1.5m/s;F
100.00	1.00	1.00	1.00
500.00	0.20	0.20	0.20
1000.00	0.07	0.07	0.07

EXPLOSION EFFECTS: Late Ignition

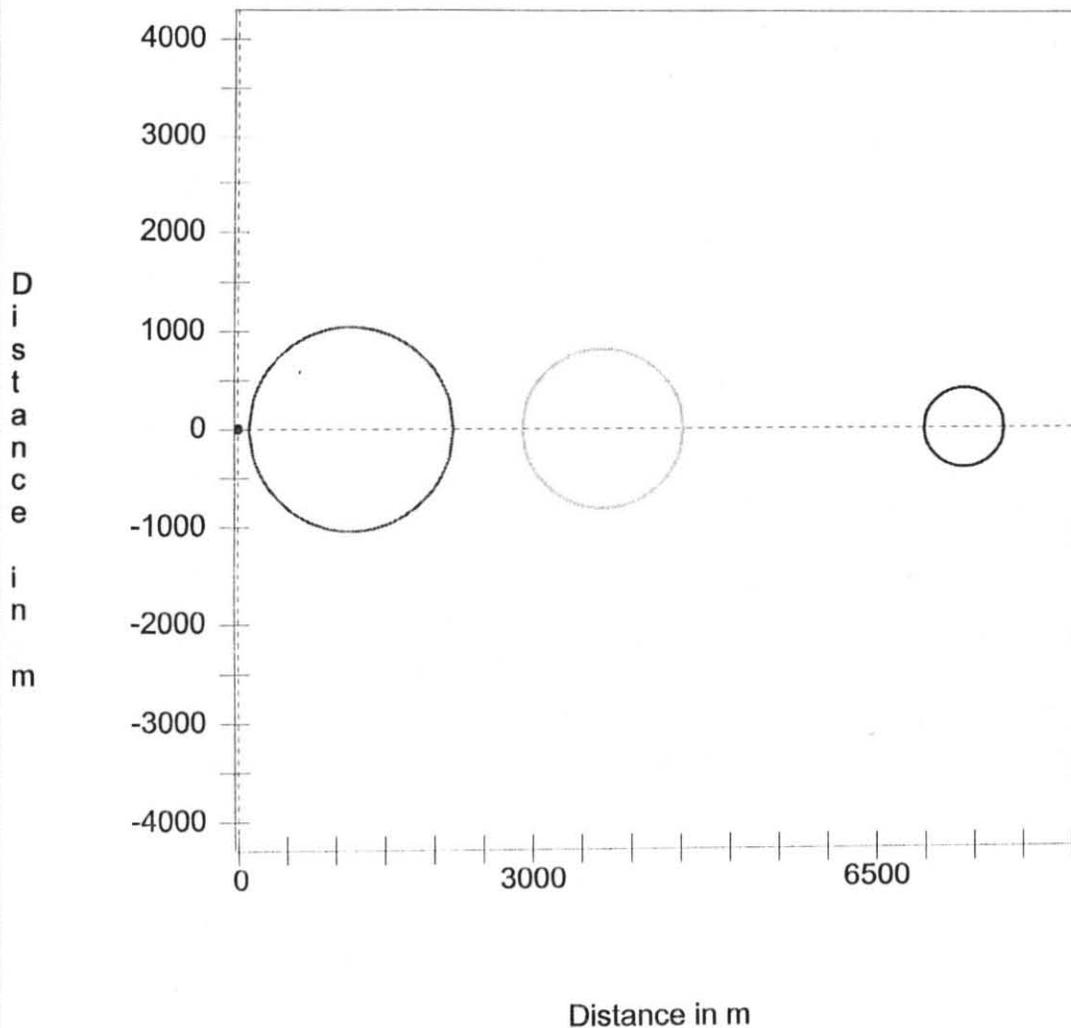
Overpressures (bar(g))	Distance (m)		
	20.2m/s;F	17.4m/s;D	1.5m/s;F
Level : 0.0345	1826.00	1840.00	1014.00
Level : 0.1379	1718.00	1718.00	900.30
Level : 0.2068	1703.00	1701.00	884.30

Distance (m)	Overpressures (bar(g))		
	20.2m/s;F	17.4m/s;D	1.5m/s;F
100.00	1.00	1.00	1.00
500.00	1.00	1.00	1.00
1000.00	1.00	1.00	0.04

Ambient Conditions

Weather Class	20.2m/s;F	17.4m/s;D	1.5m/s;F
	Surface roughness parameter	0.17	0.17
Atmospheric temperature (K)	306.60	306.60	306.60
Surface temperature (K)	308.00	308.00	308.00
Relative humidity	0.90	0.90	0.90
Atmospheric pressure (N/m2)	101300.00	101300.00	101300.00

Cloud Footprint



PHAST Professional Version 5.1
Study: POLI12VH
Material: POLI12
Case: Ruptura_TC_CARD
Weather: F 1.5 m/s

Instantaneous

Time (s)

— 0.1000 Area=3829.00 sq m
— 1556.00 Area=3.42E+06 sq m
— 3092.00 Area=2.10E+06 sq m
— 4731.00 Area=5.26E+05 sq m

Concentration (ppm) 270.00
Averaging time 10.00 s

Radiation radii for BLEVE

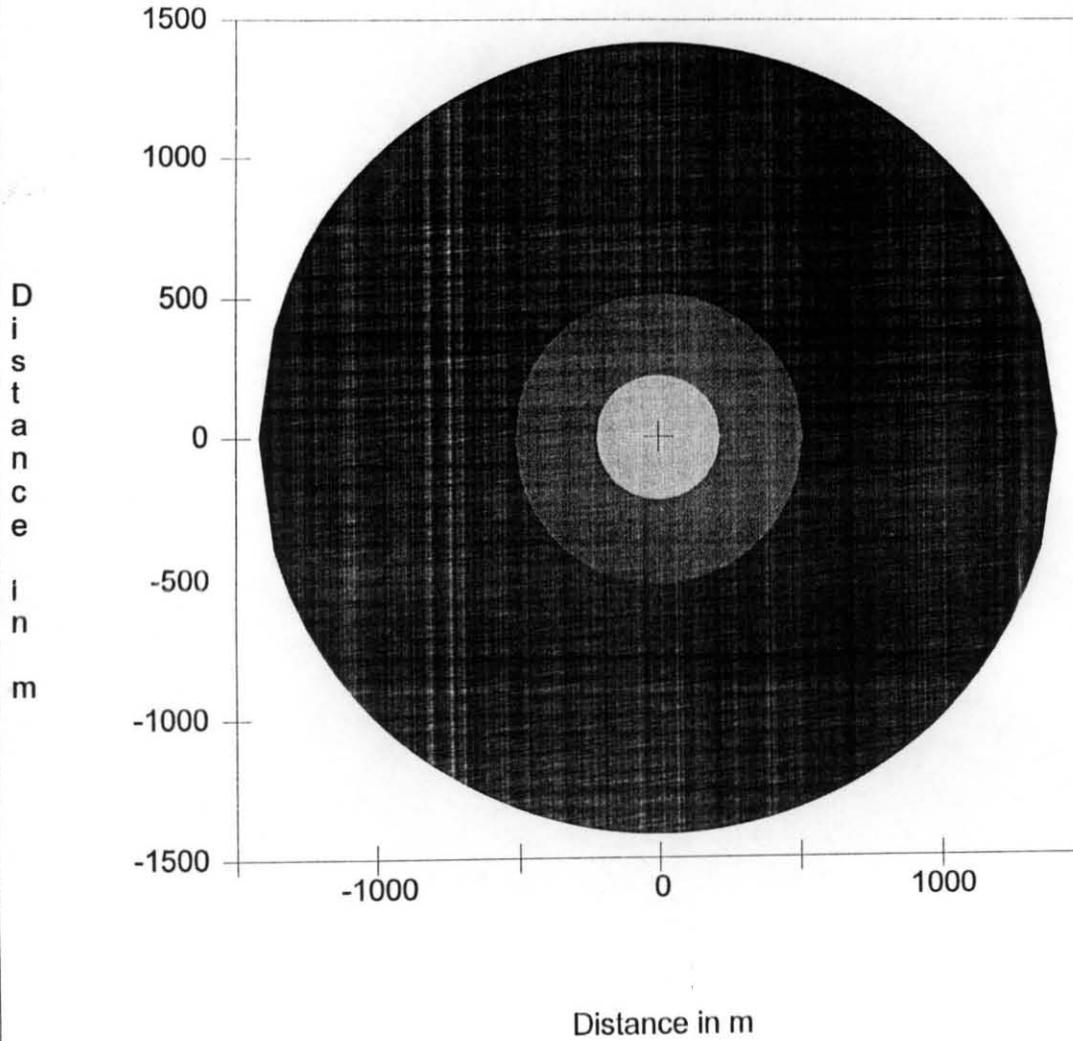
PHAST Professional Version 5.1

Study: POLI12VH

Material: POLI12

Case: Ruptura_TC_CARD

Weather: F 1.5 m/s



KEY

- 1.4000 kW/sq m
- 12.5000 kW/sq m
- 37.5000 kW/sq m
- + Release Point

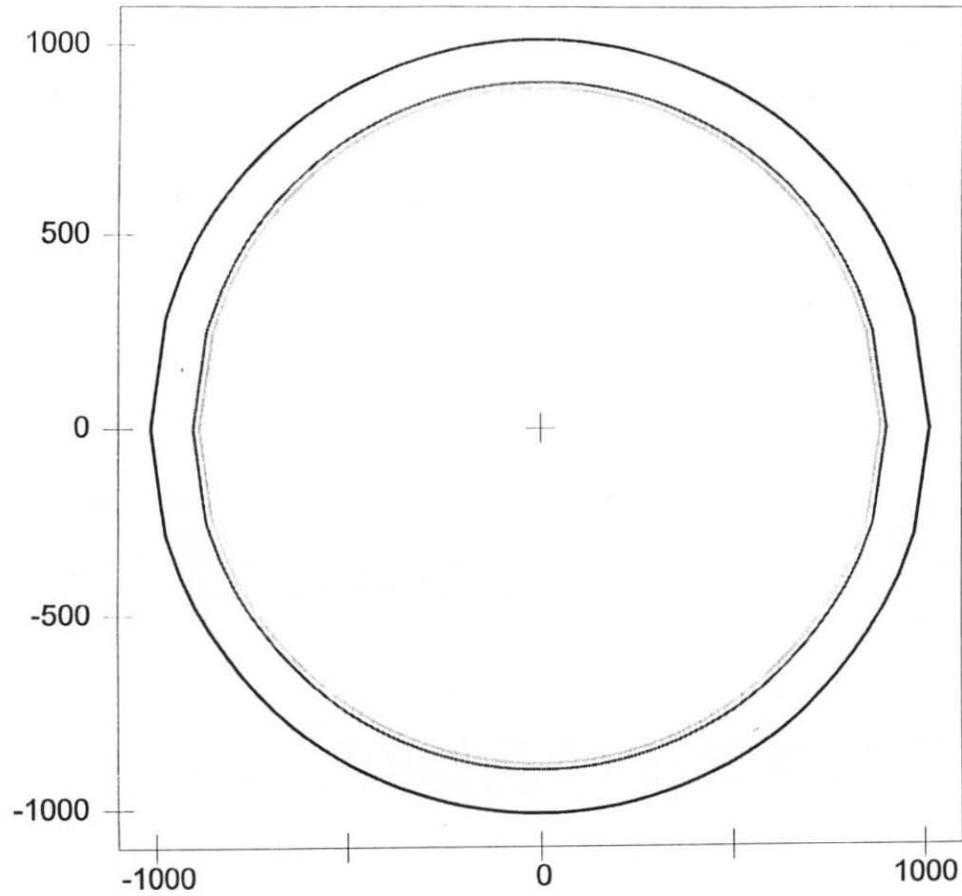
Late Ignition Explosion Overpressure

PHAST Professional Version 5.1
Study: POLI12VH
Material: POLI12
Case: Ruptura_TC_CARD
Weather: F 1.5 m/s

D
i
s
t
a
n
c
e

i
n

m



Distance in m

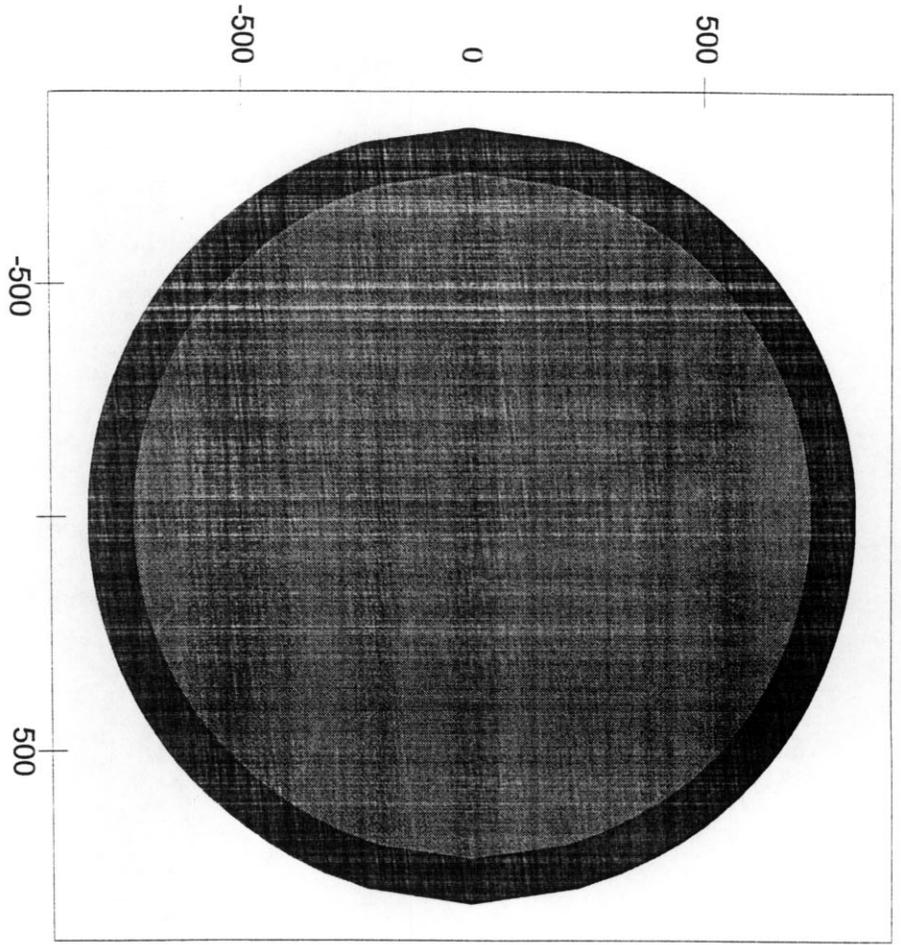
KEY

- 0.0345 bar(g)
- 0.14 bar(g)
- 0.21 bar(g)
- + Release Point

Flash Fire Flame Envelope

PHAST Professional Version 5.1
Study: POLI12VH
Material: POLI12
Case: Ruptura_TC_CARD
Weather: F 1.5 m/s

- 0.500 LFL 0.0077 mole frac
- LFL 0.0153 mole frac
- Release Point

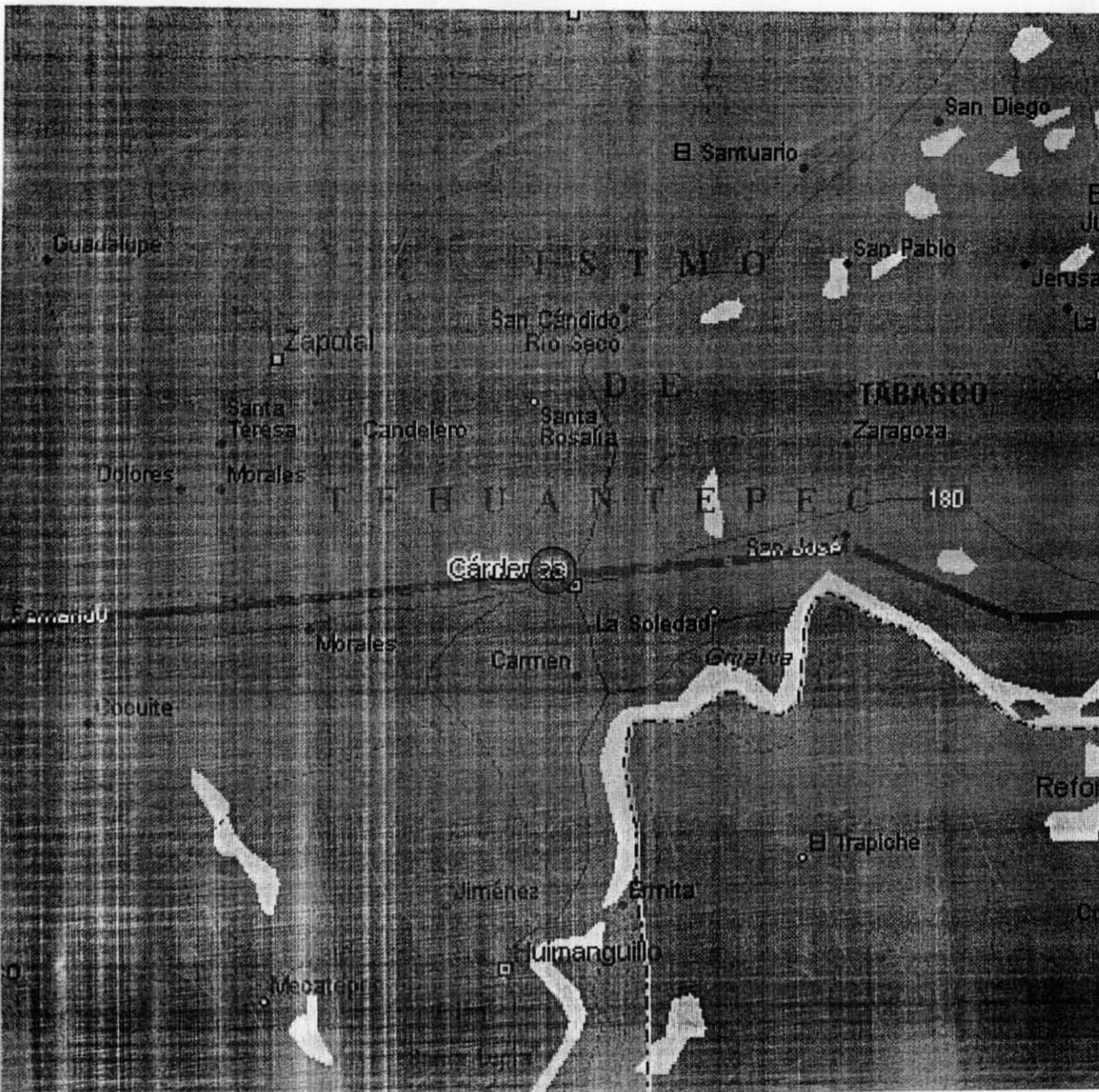


Distance in m

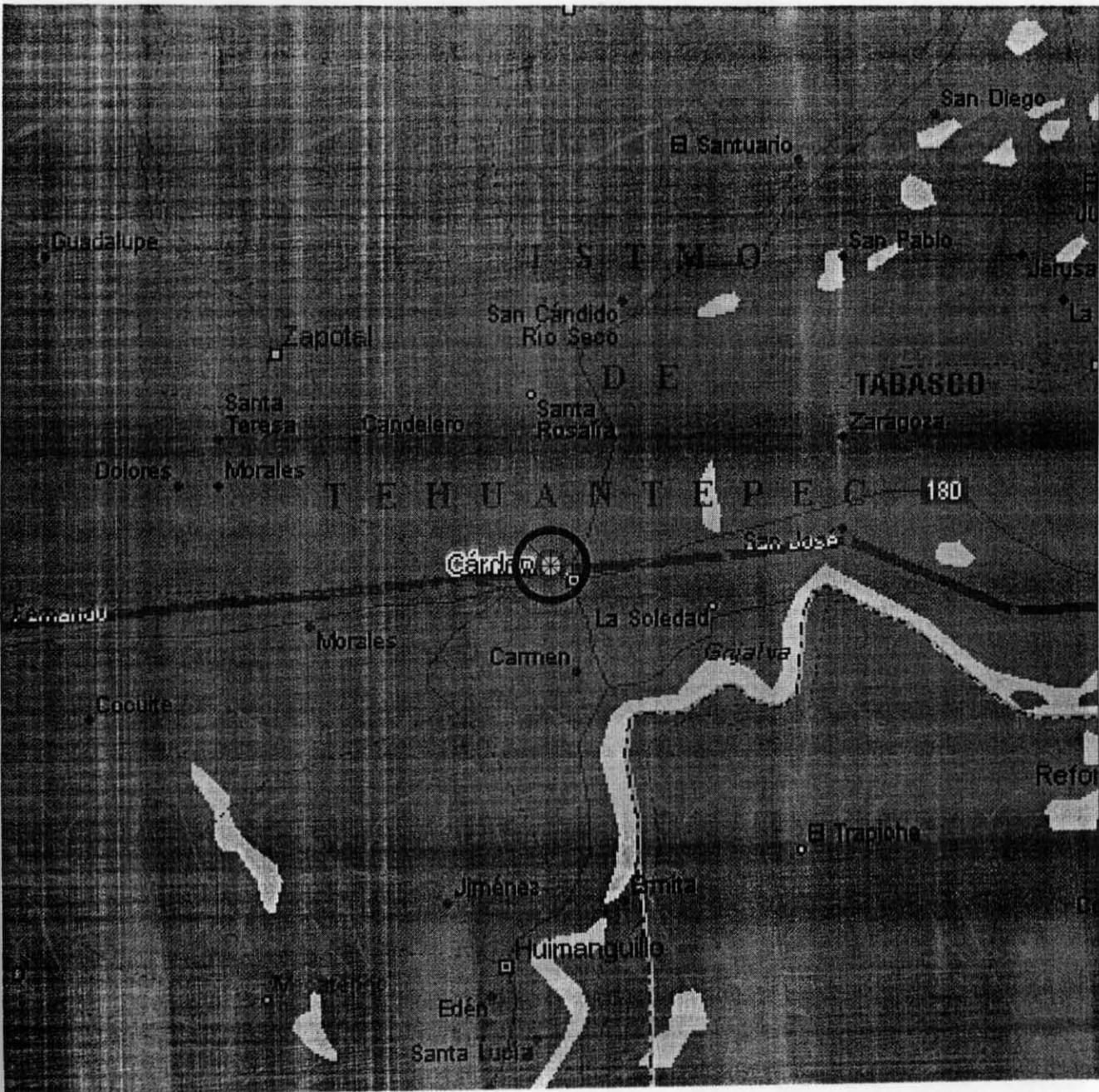
Distance in m

PHAST Professional Version 5.1
Study: POLI12VH
Material: POLI12
Case: Ruptura_TC_CARD
Weather: F 1.5 m/s

- 0.500 LFL 0.0077 mole frac
- - - LFL 0.0153 mole frac
- + Release Point
- × Map Origin



PHAST Professional Version 5.1
Study: POLI12VH
Material: POLI12
Case: Ruptura_TC_CARD
Weather: F 1.5 m/s



KEY

- 1.4000 kW/sq m
- - - 12.5000 kW/sq m
- +— 37.5000 kW/sq m
- + Release Point
- × Map Origin

PHAST Professional Version 5.1
Study: POLI12VH
Material: POLI12
Case: Ruptura_TC_CARD
Weather: F 1.5 m/s

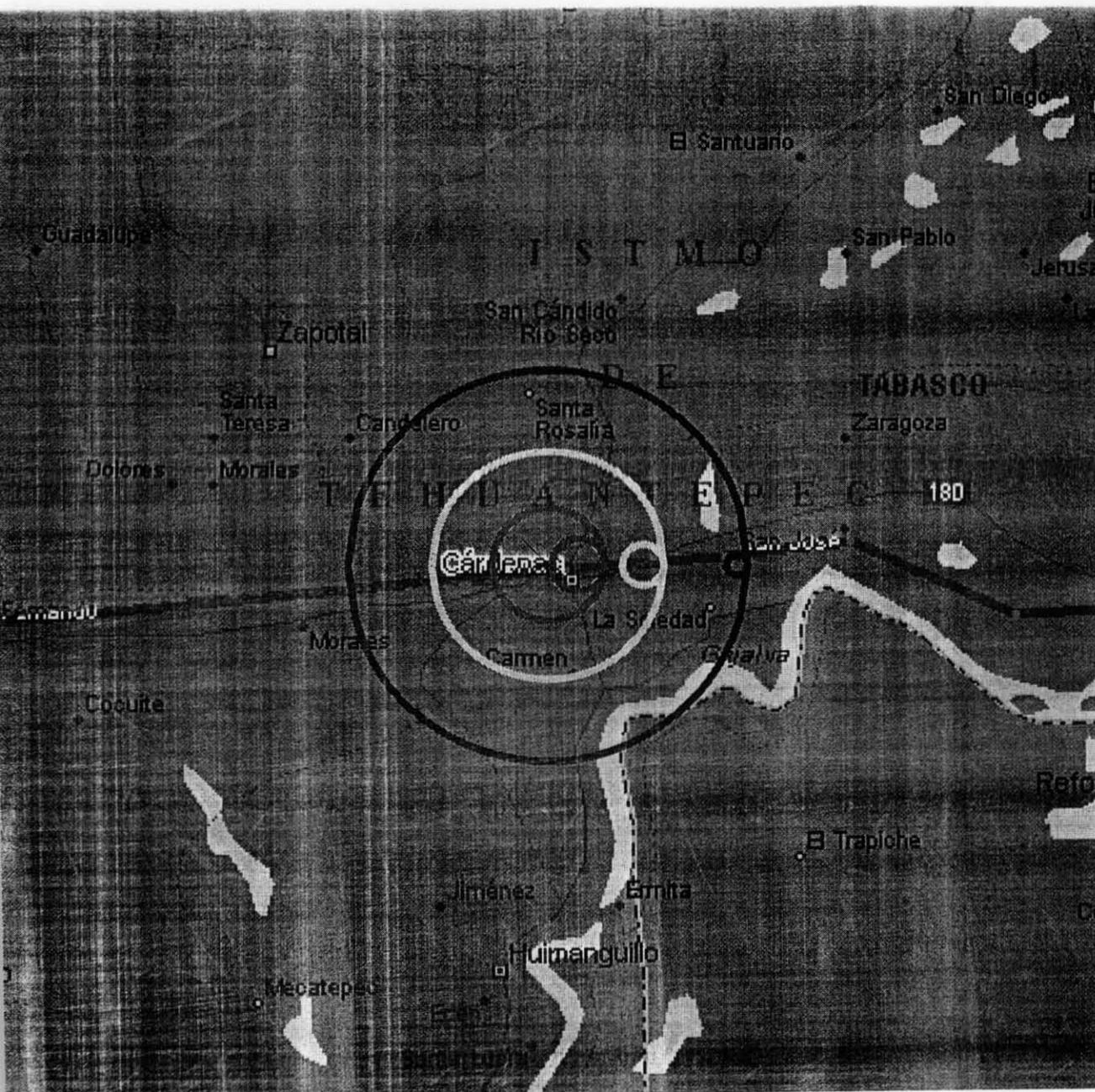
Instantaneous

Time (s)

— 0.1000 Area=3829.42 sq m
— 1556.00 Area=3.42E+06 sq m
— 3092.00 Area=2.10E+06 sq m
— 4731.00 Area=5.26E+05 sq m

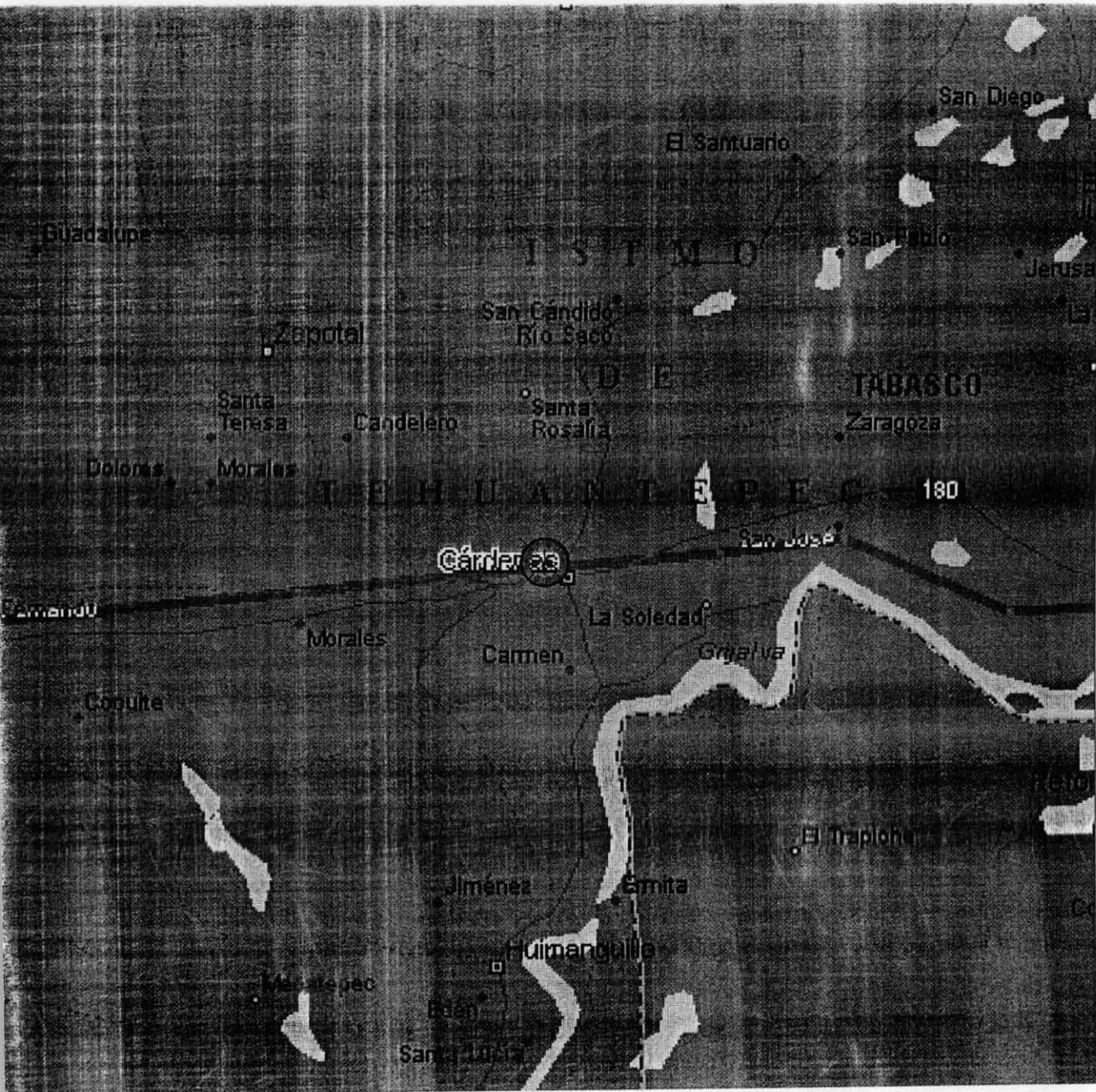
Concentration (ppm) 270.00
Averaging time 10.00 s

Map Origin



PHAST Professional Version 5.1
Study: POLI12VH
Material: POLI12
Case: Ruptura_TC_CARD
Weather: F 1.5 m/s

- 0.500 LFL 0.0077 mole frac
- LFL 0.0153 mole frac
- + Release Point
- × Map Origin



INFORMACION REQUERIDA POR EL SIMULADOR PHAST			
Estudio:	Estudio de Magnitud de Consecuencias en el Ducto.		
Caso: No I Villahermosa	Ruptura Catastrófica por Toma Clandestina Descontrolada.		
DESCRIPCIÓN	VALOR		
Sitio de fuga:	Km 170+000. Próximo a zona urbana Villahermosa.		
Material :	Gasolina Premium		
Inventario (Kg)	649,491.072		
Distancia de interés	50 m	100m	500 m
Fuente de ignición en (m)	Inmediata		
Temperatura de operación	35 °C		
Presión de operación	60 Psi		
Diámetro de tubería	12 "		
Tiempo de fuga (min)	30		
Diámetro de la fuga	12"		
Tipo de superficie	Suelo seco		
Altura de la fuga	0 m		
Dirección de la fuga			
Parámetro de rugosidad superficial (zona urbana)	0.17		
Temperatura ambiente	33.6 °C		
Temperatura del suelo	35 °C		
Humedad relativa	90%		
Presión atmosférica	760 mm Hg		
Categoría de clima Pasquill y velocidad del viento	1.5 m/s F	17.4 m/s; D	20.2 m/s F
REFERENCIAS:			
1.-NORMALES CLIMATOLOGICAS, DEL SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL			

PHAST Professional

Study: POLI12VH

03-SEP-2004 17:01

Case 2: Ruptura_TC_VH

Processed by version: 5.1

Outdoor release of 649500.0 kg of POLI12 from Saturated Liquid Vessel

Distances of interest (m) : 100.00 500.00 1000.0
Concentration of interest (mol ppm) : 270.
Derive results for IDLH averaging time : 1800.

SCENARIO: Catastrophic Rupture

Initial temperature (K) : 417.
Initial pressure (bar(g)) : 20.0
Dike or containment area (sq m) : No Dike
Surface type : Dry Soil

Final state of release

Discharge velocity (m/s) : 0.000
Final liquid fraction : 0.507
Drop size (mm) : 0.182

+++++
 + CONSEQUENCE RESULTS +
 +++++

 POOL EVAPORATION RESULTS

Liquid Pool Results	20.2m/s;F	17.4m/s;D	1.5m/s;F
Liquid rainout (%)	50.73	50.73	50.73
Initial vapour cloud (kg)	320000.00	320000.00	320000.00
Pool evaporation rate (kg/s)	No evap	No evap	No evap
Maximum pool diameter (m)	No evap	No evap	No evap

 DISTANCE - CONCENTRATION RESULTS

POLII12 (mol ppm)	Av. time (s)	Distance (m)			
		20.2m/s;F	17.4m/s;D	1.5m/s;F	
Conc. of interest	270.00	10.0	19740.00	7265.00	11650.00
ERPG 1 (mol ppm)	42.74	.360E+4	31950.00	10570.00	22060.00
ERPG 2 (mol ppm)	12820.90	.360E+4	1427.00	1552.00	894.90
ERPG 3 (mol ppm)	42736.40	.360E+4	754.30	839.70	638.20

 Conc. at distances of interest for an averaging time of 10.00 s

Distance (m)	POLII12 (mol ppm)		
	20.2m/s;F	17.4m/s;D	1.5m/s;F
Distance 1 : 100.00	693516.00	658773.00	583530.00
Distance 2 : 500.00	99696.10	114432.00	90075.90
Distance 3 : 1000.00	24891.10	30465.00	7166.81

 Conc. at distances of interest for an averaging time of 1800. s

Distance (m)	POLII12 (mol ppm)		
	20.2m/s;F	17.4m/s;D	1.5m/s;F

Distance	1 :	100.00	693516.00	658773.00	583530.00
Distance	2 :	500.00	99696.10	114432.00	90075.90
Distance	3 :	1000.00	24891.10	30465.00	3814.52

Distances to conc. of interest of 270.00 (mol ppm) for each av. time

Averaging time (s)	Distance (m)		
	20.2m/s;F	17.4m/s;D	1.5m/s;F
IDLH : 1800.00	10060.00	4568.00	4602.00

RADIATION EFFECTS: BLEVE/Fireball

Radiation levels (kW/sq m)	Distance (m)		
	20.2m/s;F	17.4m/s;D	1.5m/s;F
Level : 1.4000	1662.00	1662.00	1662.00
Level : 12.5000	601.30	601.30	601.30
Level : 37.5000	272.50	272.50	272.50

Distance (m)	Radiation levels (kW/sq m)		
	20.2m/s;F	17.4m/s;D	1.5m/s;F
100.00	Engulfed	Engulfed	Engulfed
500.00	19.12	19.12	19.12
1000.00	4.63	4.63	4.63

RADIATION EFFECTS: Jet Flame

No results present in this record

RADIATION EFFECTS: Pool Fire

Pool Fire Distances are radius to radiation level plus distance from source to point of rainout

Radiation levels (kW/sq m)		Distance (m)		
		20.2m/s;F	17.4m/s;D	1.5m/s;F
Level	: 1.4000	213.60	214.60	241.00
Level	: 12.5000	157.10	157.10	157.10
Level	: 37.5000	157.10	157.10	157.10

Distance (m)	Radiation levels (kW/sq m)		
	20.2m/s;F	17.4m/s;D	1.5m/s;F
100.00	Engulfed	Engulfed	Engulfed
500.00	0.06	0.06	0.13
1000.00	0.01	0.01	0.02

FLASH FIRE

Furthest extent (m)	20.2m/s;F	17.4m/s;D	1.5m/s;F
		2002.00	1947.00

EXPLOSION EFFECTS

Weather Class	20.2m/s;F	17.4m/s;D	1.5m/s;F
Early ignition : mass (kg)	649500.00	649500.00	649500.00
Early ignition : location (m)	0.00	0.00	0.00
Late ignition : mass (kg)	1318.00	413.10	7336.00
Late ignition : location (m)	2002.00	1947.00	982.40

EXPLOSION EFFECTS: Early Ignition

Overpressures (bar(g))		Distance (m)		
		20.2m/s;F	17.4m/s;D	1.5m/s;F
Level	: 0.0345	1908.00	1908.00	1908.00
Level	: 0.1379	732.10	732.10	732.10

Level	:	0.2068	566.40	566.40	566.40
-------	---	--------	--------	--------	--------

Distance (m)	Overpressures (bar(g))		
	20.2m/s;F	17.4m/s;D	1.5m/s;F
100.00	1.00	1.00	1.00
500.00	0.25	0.25	0.25
1000.00	0.09	0.09	0.09

EXPLOSION EFFECTS: Late Ignition

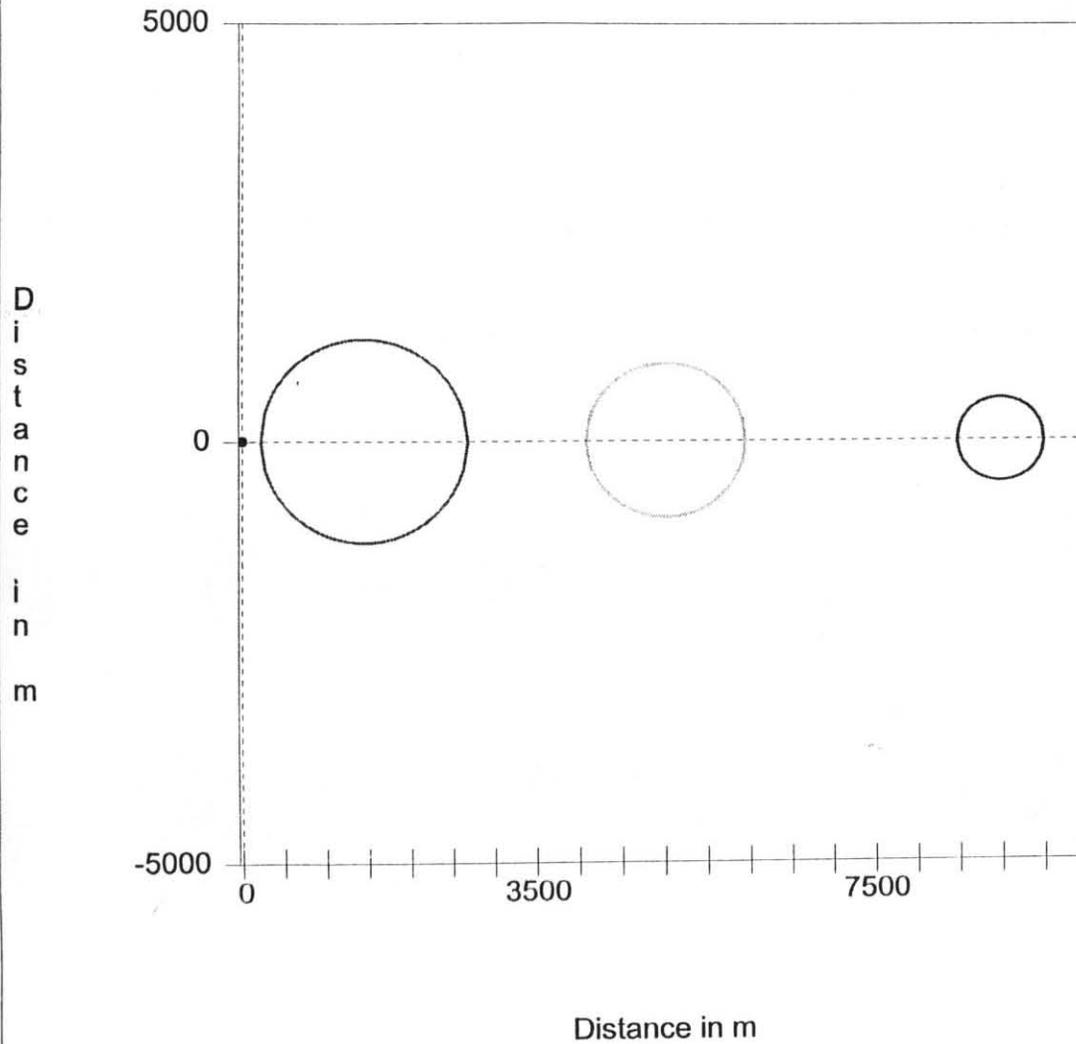
Overpressures (bar(g))	Distance (m)				
	20.2m/s;F	17.4m/s;D	1.5m/s;F		
Level	:	0.0345	2244.00	2111.00	1411.00
Level	:	0.1379	2095.00	2010.00	1147.00
Level	:	0.2068	2074.00	1996.00	1110.00

Distance (m)	Overpressures (bar(g))		
	20.2m/s;F	17.4m/s;D	1.5m/s;F
100.00	1.00	1.00	1.00
500.00	1.00	1.00	1.00
1000.00	1.00	1.00	1.00

Ambient Conditions

Weather Class	20.2m/s;F	17.4m/s;D	1.5m/s;F
	Surface roughness parameter	0.17	0.17
Atmospheric temperature (K)	306.60	306.60	306.60
Surface temperature (K)	308.00	308.00	308.00
Relative humidity	0.90	0.90	0.90
Atmospheric pressure (N/m2)	101300.00	101300.00	101300.00

Cloud Footprint



PHAST Professional Version 5.1
Study: POLI12VH
Material: POLI12
Case: Ruptura_TC_VH
Weather: F 1.5 m/s

Instantaneous

Time (s)

0.1000 Area=5146.00 sq m
1804.00 Area=4.76E+06 sq m
3750.00 Area=2.75E+06 sq m
5388.00 Area=8.14E+05 sq m

Concentration (ppm) 270.00
Averaging time 10.00 s

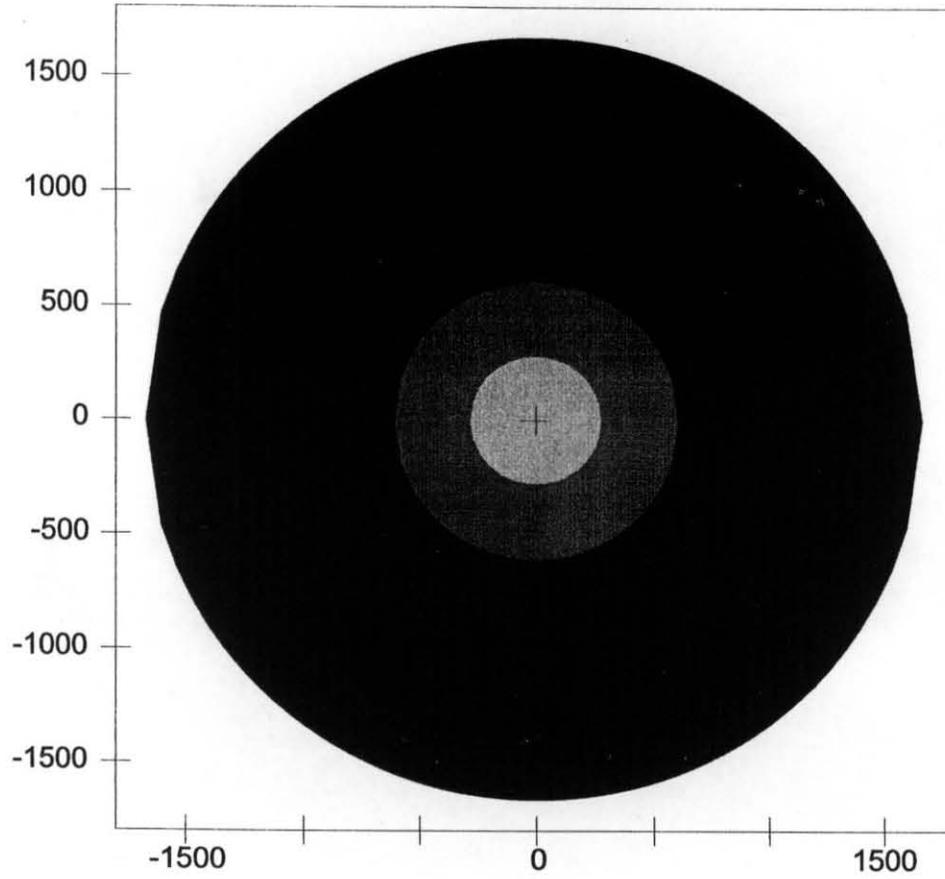
Radiation radii for BLEVE

PHAST Professional Version 5.1
Study: POLI12VH
Material: POLI12
Case: Ruptura_TC_VH
Weather: F 1.5 m/s

D
i
s
t
a
n
c
e

i
n

m



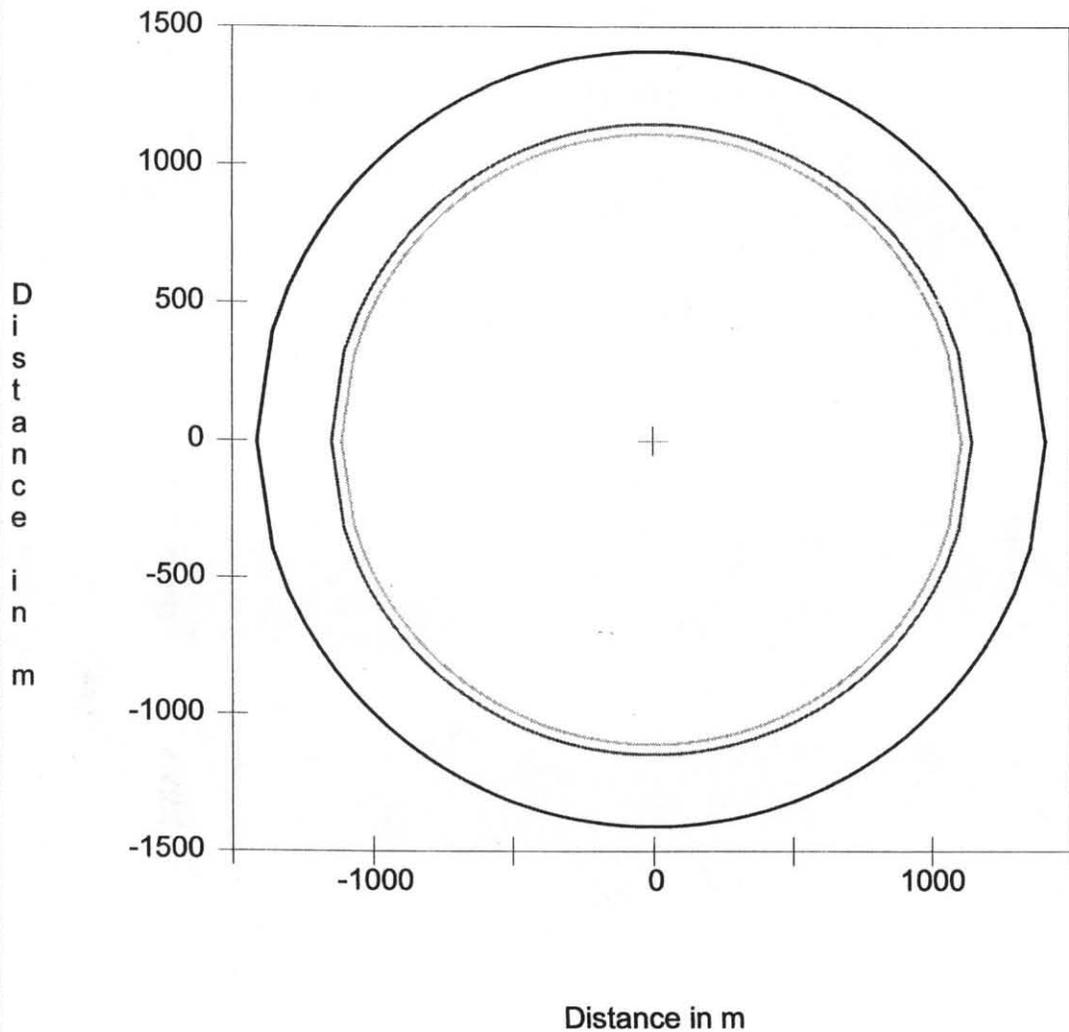
KEY

- 1.4000 kW/sq m
- 12.5000 kW/sq m
- 37.5000 kW/sq m
- + Release Point

Distance in m

Late Ignition Explosion Overpressure

PHAST Professional Version 5.1
Study: POLI12VH
Material: POLI12
Case: Ruptura_TC_VH
Weather: F 1.5 m/s



KEY

- 0.0345 bar(g)
- 0.14 bar(g)
- 0.21 bar(g)
- + Release Point

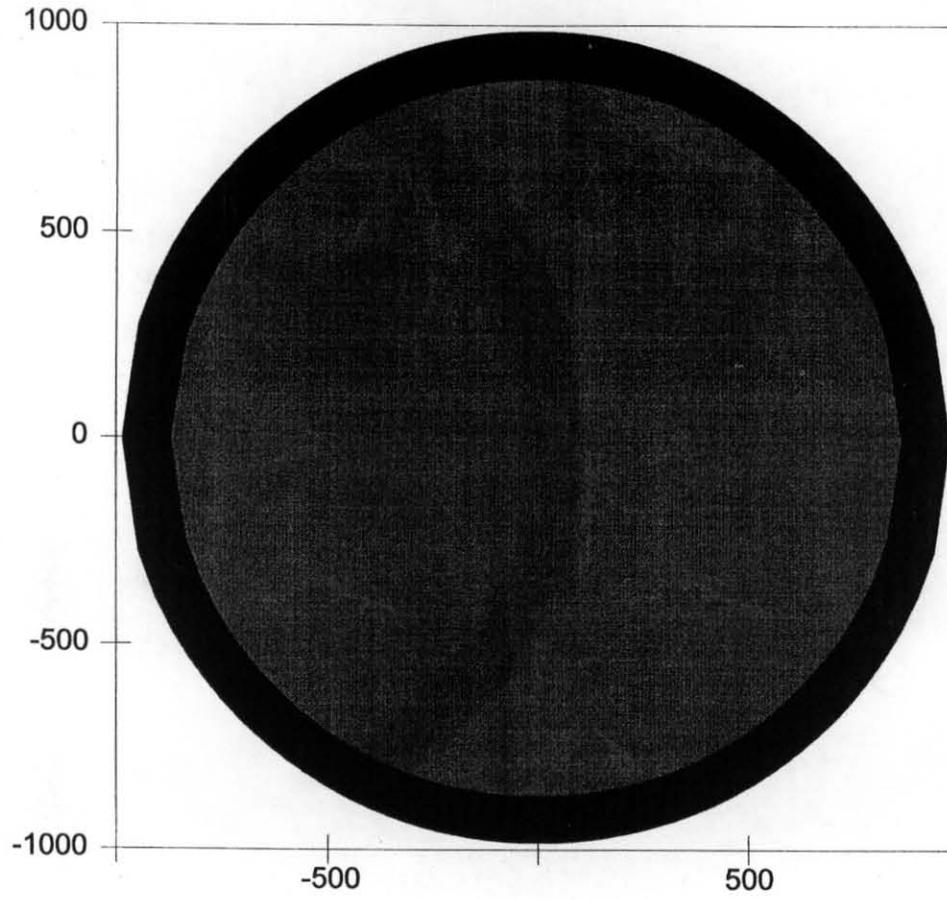
Flash Fire Flame Envelope

PHAST Professional Version 5.1
Study: POLI12VH
Material: POLI12
Case: Ruptura_TC_VH
Weather: F 1.5 m/s

D
i
s
t
a
n
c
e

i
n

m



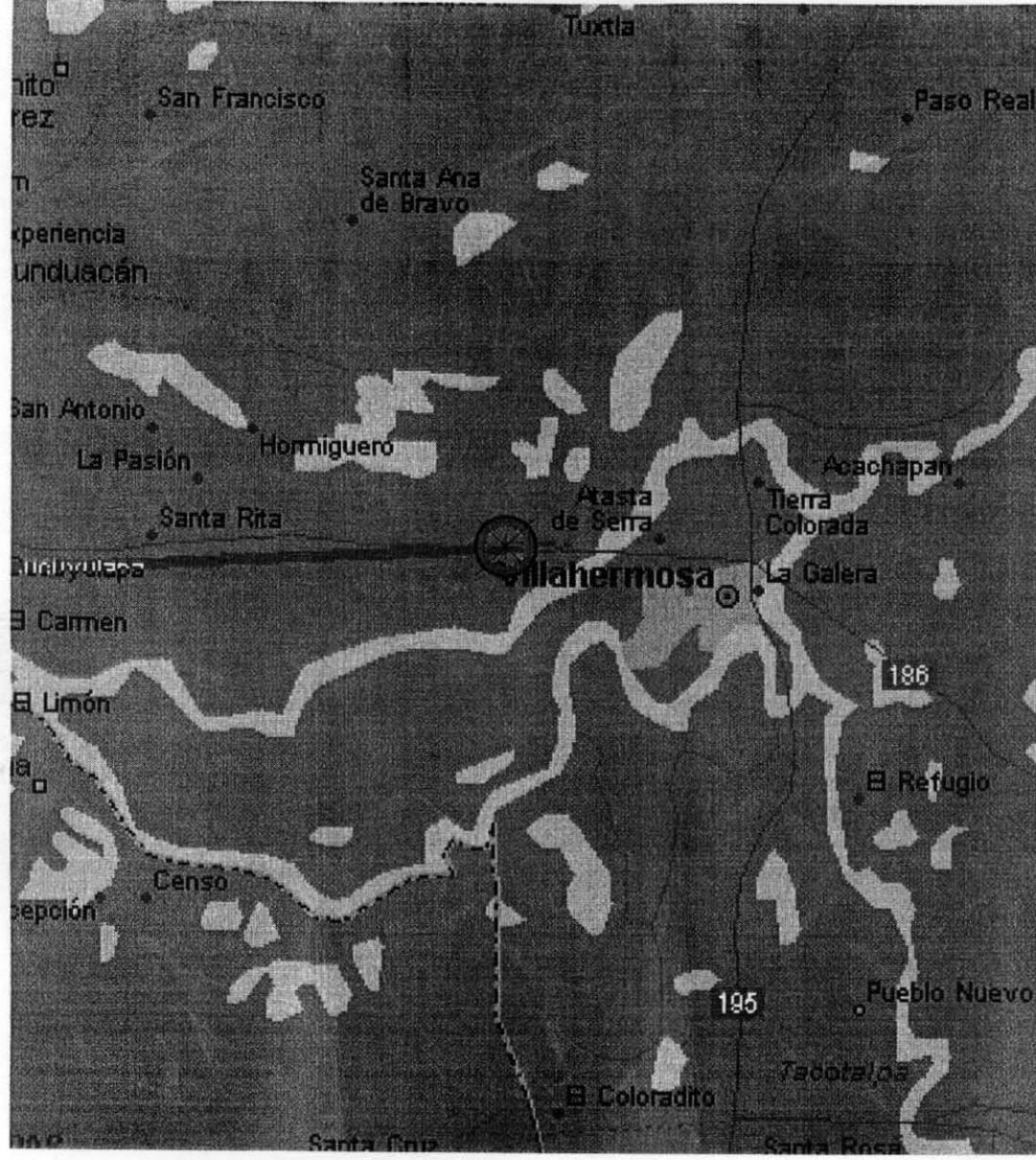
Distance in m

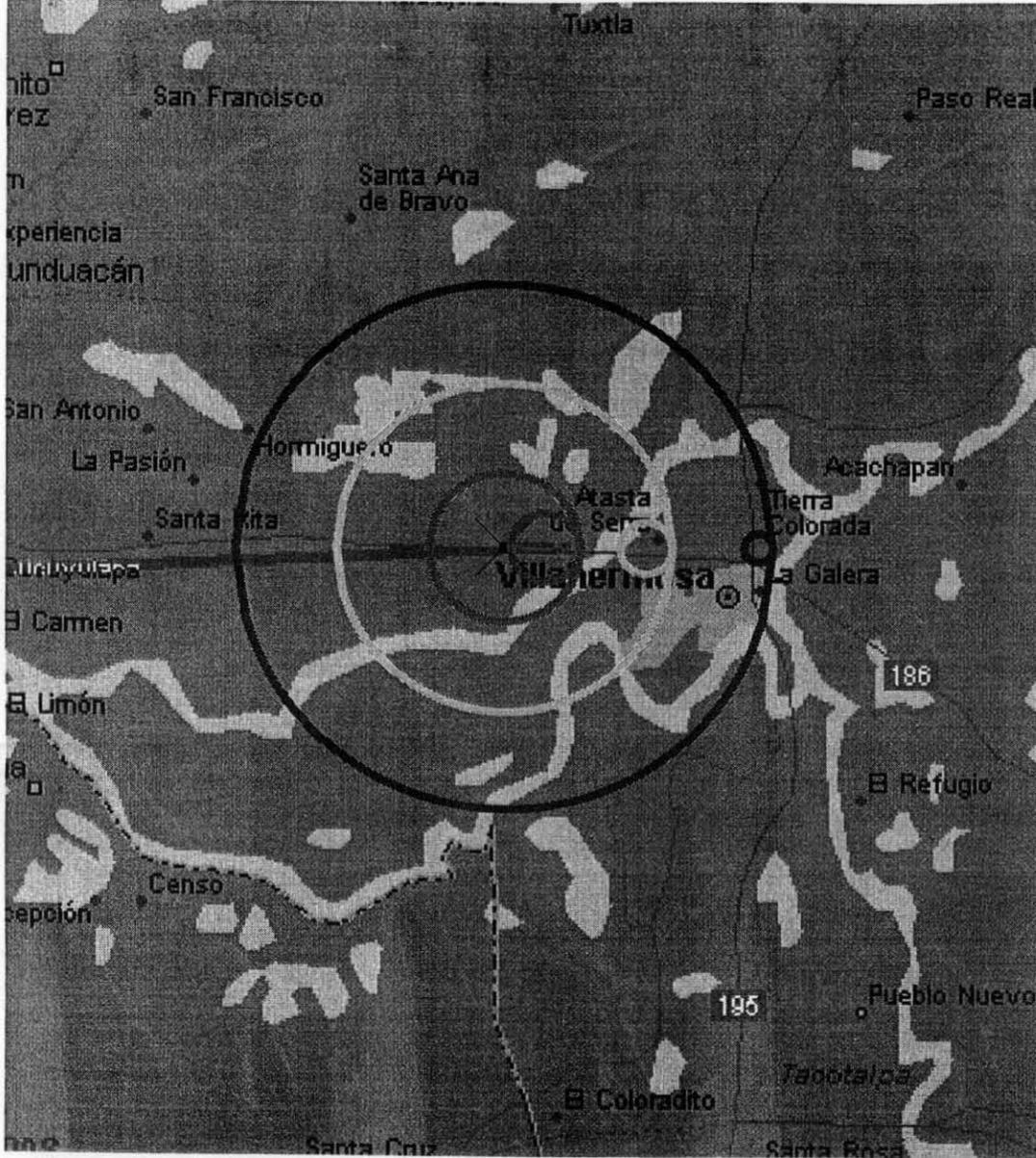
- 0.500 LFL 0.0077 mole frac
- LFL 0.0153 mole frac
- + Release Point

PHAST Professional Version 5.1
Study: POLI12VH
Material: POLI12
Case: Ruptura_TC_VH
Weather: F 1.5 m/s

— 0.500 LFL 0.0077 mole frac
— LFL 0.0153 mole frac
+ Release Point

× Map Origin





PHAST Professional Version 5.1
 Study: POLI12VH
 Material: POLI12
 Case: Ruptura_TC_VH
 Weather: F 1.5 m/s

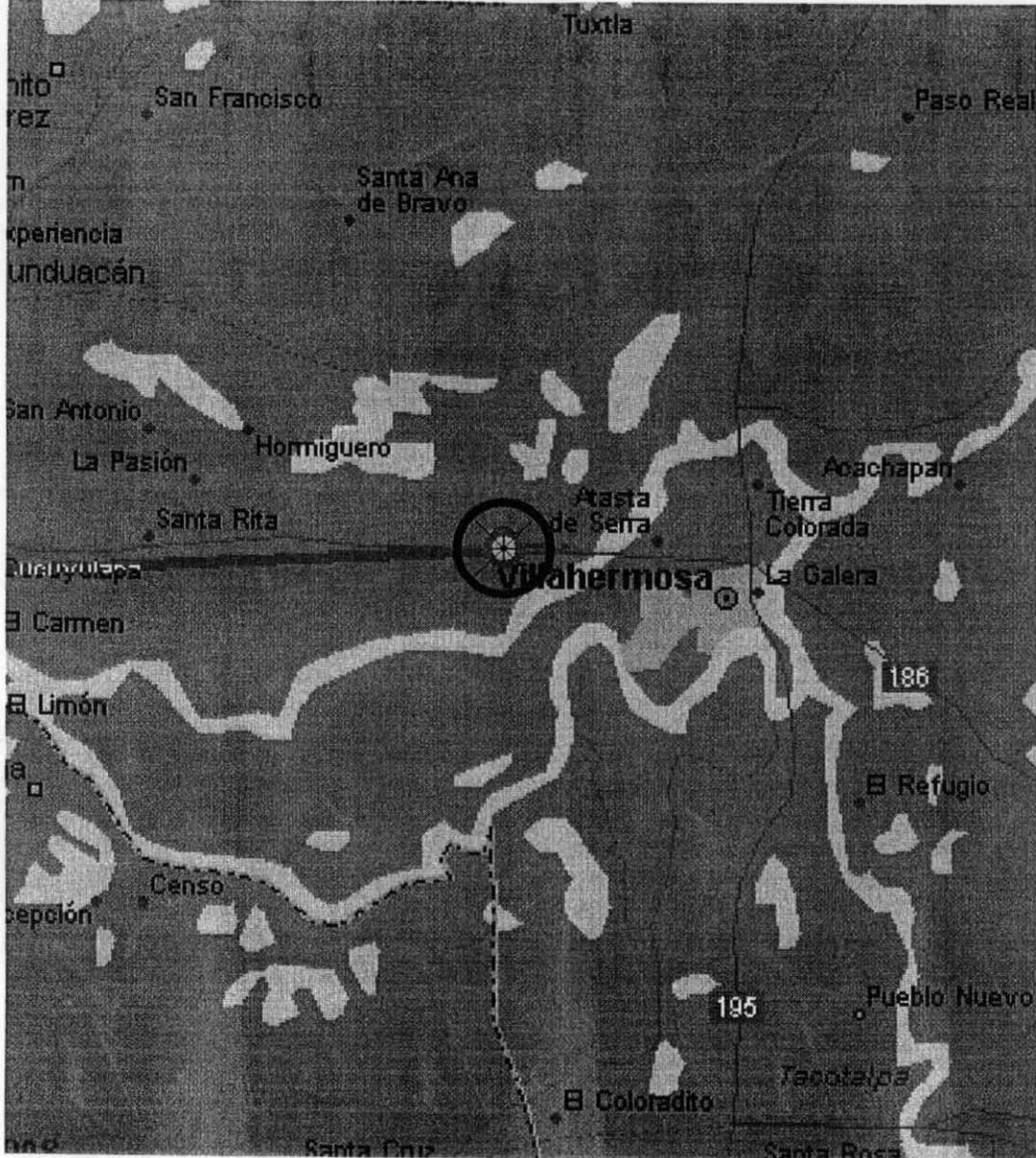
Instantaneous

Time (s)

- 0.1000 Area=5146.26 sq m
- 1804.00 Area=4.76E+06 sq m
- 3750.00 Area=2.75E+06 sq m
- 5388.00 Area=8.14E+05 sq m

Concentration (ppm) 270.00
 Averaging time 10.00 s

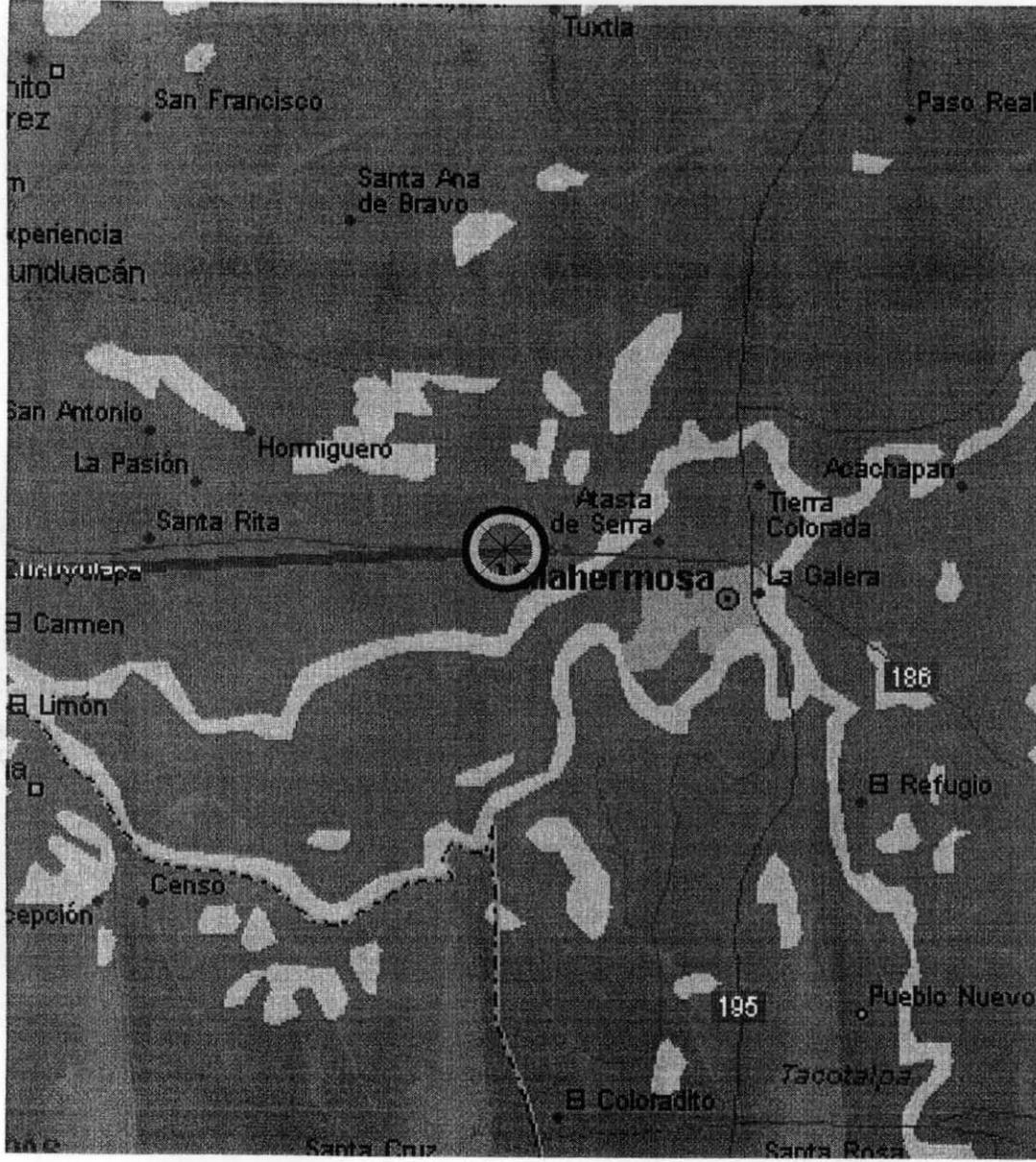
× Map Origin



PHAST Professional Version 5.1
 Study: POLI12VH
 Material: POLI12
 Case: Ruptura_TC_VH
 Weather: F 1.5 m/s

KEY

- 1.4000 kW/sq m
- 12.5000 kW/sq m
- 37.5000 kW/sq m
- + Release Point
- × Map Origin



PHAST Professional Version 5.1
Study: POLI12VH
Material: POLI12
Case: Ruptura_TC_VH
Weather: F 1.5 m/s

KEY

- 0.0345 bar(g)
- - 0.14 bar(g)
- - 0.21 bar(g)
- + Release Point

- × Map Origin