

ANEXO XI. ESTUDIO DE RIESGO AMBIENTAL. NIVEL 0. DUCTOS TERRESTRES

Operación y Mantenimiento de línea de Gas Natural
de 6" para la empresa INDUSTRIALIZADORA DE
CÁRNICOS STRATTEGA S.A. DE C.V.

PROMOVENTE

INDUSTRIALIZADORA DE CÁRNICOS
STRATTEGA S.A. DE C.V.



GRUPO BAFAR.

RESPONSABLE TÉCNICO.

ENTORNO SOLUCIONES AMBIENTALES
INTEGRALES S.A. DE C.V.



ÍNDICE

I.	Escenario de los Riesgos Ambientales relacionados con el proyecto.....	1
I.1.	Descripción del sistema de transporte.....	1
I.2.	Bases del diseño.....	13
	SISTEMA DE TRANSPORTE DE GAS NATURAL POR MEDIO DE DUCTO, CAPACIDAD DE OPERACION.....	34
	ESPECIFICACIONES DEL MATERIAL DE LA TUBERIA Y DE LAS ESTACIONES DE REGULACION Y MEDICION.....	40
	ESTACIONES DE REGULACION Y MEDICIÓN.....	46
	Descripción de áreas identificadas como vulnerables.....	55
I.3.	Hojas de seguridad.....	61
I.4.	Condiciones de operación.....	61
	I.4.1. Operación.....	61
	I.4.2. Pruebas de verificación.....	62
I.5.	Procedimientos y medidas de seguridad.....	67
I.6.	Análisis y Evaluación de riesgos.....	72
	I.6.1. Antecedentes e incidentes.....	72
	I.6.2. Metodologías de identificación y jerarquización.....	85
II.	DESCRIPCIÓN DE LAS ZONAS DE PROTECCIÓN EN TORNADO A LAS INSTALACIONES.....	111
II.1.	Radio potenciales de afectación.....	112
II.2.	Interacciones de riesgo.....	136
II.3.	Efectos sobre el Sistema Ambiental.....	144
III.	Señalamiento de las medidas de seguridad y preventivas en materia ambiental.....	146
III.1.	Recomendaciones técnico-operativas.....	150
	III.1.1. Sistemas de seguridad.....	150
	III.1.2. Medidas preventivas.....	152
IV.	Resumen.....	161

IV.1. Resumen y Conclusión del proyecto.....	161
IV.3. Informe técnico.....	163
V. Identificación de los Instrumentos Metodológicos y Elementos Técnicos que sustentan la información señalada.....	164
V.1. Formatos de Presentación.....	164
Glosario de términos.....	165
ACRÓNIMOS.....	170
BIBLIOGRAFÍA.....	174

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Ubicación del proyecto.....	8
Ilustración 2. Primera sección del trazo del ducto.....	10
Ilustración 3. Segunda sección del trazo del ducto.....	11
Ilustración 4. Tercera sección del trazo del ducto.....	12
Ilustración 5.- Esquema de Perforación Guía.....	16
Ilustración 6.- Esquema de Ensanchado del Túnel.....	17
Ilustración 7.- Esquema de Instalación de Tubería.....	17
Ilustración 8.- Calculo del Diámetro.....	29
Ilustración 9.- Geología presente en la microcuenca como sistema ambiental.....	56
Ilustración 10.- Geomorfología del área de influencia del proyecto. (Elaboración ENTORNOSOAMIN).....	57
Ilustración 11.- Relieve del área de influencia del proyecto. (Elaboración ENTORNOSOAMIN)....	58
Ilustración 12.- Fallas y fracturas del área de influencia del proyecto. (Elaboración ENTORNOSOAMIN).....	59
Ilustración 13.- Susceptibilidad del área de influencia del proyecto.....	60
Ilustración 9. Radio de la explosión en el Antecedente 2.....	77
Ilustración 10. Vista aérea de la explosión.....	77
Ilustración 11. Parte del ducto eyectado a presión.....	78

Ilustración 12. Relación en porcentaje de fallas típicas en EE.UU. de transporte de gas natural. Fuente: Metodología para estimar umbrales de daño y periodos de inspección óptimos en los sistemas de ductos terrestres.....	82
Ilustración 13. DTI general del trazo del ducto.....	94
Ilustración 14. Radios de afectación por explosión (Interconexión y City Gate). Agujero de 20% del diámetro nominal del ducto.....	125
Ilustración 15. Radios de afectación por explosión (Charapuato, Inicio y cruce Río Lerma y RME). Agujero de 20% del diámetro nominal del ducto.....	126
Ilustración 16. Radios de afectación por Jet Fire (Libramiento). Agujero de 20% del diámetro nominal del ducto. Vista 1.....	127
Ilustración 17. Radios de afectación por Jet Fire (Libramiento). Agujero de 20% del diámetro nominal del ducto. Vista 2.....	128
Ilustración 18. Radios de afectación por Jet Fire (Charapuato, Inicio y cruce Río Lerma y ERM). Agujero de 20% del diámetro nominal del ducto.....	129
Ilustración 19. Radios de afectación por explosión (Interconexión y City Gate). Agujero de 100% del diámetro nominal del ducto.....	130
Ilustración 20. Radios de afectación por explosión (Charapuato). Agujero de 100% del diámetro nominal del ducto.....	131
Ilustración 21. Radios de afectación por explosión (Inicio. Final cruce Río Lerma y ERM). Agujero de 100% del diámetro nominal del ducto.....	132
Ilustración 22. Radios de afectación por Jet Fire(Interconexión y City Gate). Agujero de 100% del diámetro nominal del ducto.....	133
Ilustración 23. Radios de afectación por Jet Fire (Charapuato). Agujero de 100% del diámetro nominal del ducto.....	134
Ilustración 24. Radios de afectación por Jet Fire (Inicio y final cruce Río Lerma y ERM). Agujero de 100% del diámetro nominal del ducto.....	135

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas UTM del trazo del ducto.....	9
Tabla 2.- Cálculo de la caída de presión de acuerdo a la fórmula de Weymouth.....	28
Tabla 3.- Tipo de roca presente en la microcuenca.....	56
Tabla 4. Interacciones de riesgo con las simulaciones de los eventos descritos de manera complementaria.....	139

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Factibilidad de cruce por SCT.....	4
Anexo 2.- Planos de Trazo del Ducto.....	6
Anexo 3. Hoja de Datos de Seguridad Gas Natural.....	61
Anexo 4. Reportes de las Pruebas de Verificación.....	67
Anexo 5. Hojas de trabajo SCRI HAZOP.....	101
Anexo 6. Reportes de cálculo de tasas de emisión.....	112
Anexo 7. Reporte para Escenario 1.....	114
Anexo 8. Reporte para Escenario 2.....	115
Anexo 9. Reporte para Escenario 3.....	120
Anexo 10. Reporte para Escenario 4.....	123
Anexo 11. Reportes de las memorias de cálculo para las simulaciones generadas de manera complementaria.....	124
Anexo 12. Manual y Cronograma de Operación y Mantenimiento.....	158
Anexo 13. Resumen técnico.....	163

I. ESCENARIO DE LOS RIESGOS AMBIENTALES RELACIONADOS CON EL PROYECTO.

I.1. Descripción del sistema de transporte.

El presente proyecto consiste en la operación de un ramal de acero al carbón para transporte de gas natural de longitud de 7.271.44 Km y 6" de diámetro nominal, operando a 21 Kg/cm² para suministro de gas natural, en el cual se tendrán almacenados aproximadamente 2,048.34 Kg de Gas Natural, de los cuales 1,802.54 serán Metano, lo que rebasará la cantidad de reporte de acuerdo al 2do Listado de Actividades Altamente Riesgosas que reporta una cantidad de 500 Kg para el metano, por lo cual se presente el correspondiente estudio de riesgo.

La operación del ducto beneficiará, teniendo como empresa "ancla" a INDUSTRIALIZADORA DE CÁRNICOS STRATTEGA S.A. DE C.V., a empresas cercanas a la misma lo que conllevará a que exista una reducción importante en los impactos ecológicos generados por la utilización de procesos productivos energéticos no ecológicos y obviamente, el impacto ambiental que podría generarse si cada empresa decidiese construir su propio gasoducto de manera independiente.

El proyecto se ubica entre los estados de Jalisco y Michoacán. El punto inicial del ducto se localiza a 4.2 kilómetros al sureste de la ciudad de Degollado, Jalisco a la altura del ejido El Edén, del municipio de Degollado, en las coordenadas 20°25'32.85"N; 102° 5'58.16"O; tiene como inicio la interconexión (instalación de válvula troncal) a realizarse sobre el ducto de 36"D.N. con trayectoria Guadalajara, Jalisco-Valtierrilla, Guanajuato, perteneciente al Sistema Nacional de Gasoductos administrados por el Centro Nacional de Control del Gas Natural (CENAGAS).

El Proyecto se divide en siete tramos para su correspondiente descripción, la cual se presenta a continuación.

Tramo 1

El tramo 1 abarca del cadenamamiento 0+000 al 0+880; en el cadenamamiento 0+000 se ubica la Planta City-Gate, donde se realiza la conexión con el ducto de CENAGAS. La Planta City-Gate tiene una superficie de 120 m², la cual cuenta con un cuarto de control, transmisor de toma de temperatura, válvula de control de flujo y válvula de seguridad.

Posteriormente el ducto continúa en línea en dirección norte-sur por el margen derecho del camino vecinal Inter parcelario; en esta zona el ducto se instaló a una profundidad de 1.20 metros mediante la excavación a cielo abierto.

El ducto fue cubierto con el mismo material de la excavación por lo que a la fecha no se encuentra abierta ninguna zanja en el tramo.

En lo que corresponde a remoción de la vegetación en el Tramo 1, el ducto sigue el margen derecho del camino en dirección norte-sur; en este margen no hay presencia de árboles o arbustos, ya que el camino colinda con parcelas agrícolas; de manera que no se realizó remoción de vegetación en este tramo.

Tramo 2

El tramo 2 abarca del cadenamamiento 0+900 al 1+740; el cadenamamiento 0+900 inicia en el camino de terracería que conecta las comunidades de El Aniego al Este con Pozo Seco al Oeste. El Tramo 2 inicia por el margen derecho en dirección norte-sur hasta 370 metros en el cadenamamiento 1+260; después del cual el ducto hace una ligera curva para cambiar a dirección suroeste hasta el cadenamamiento 1+740.

El ducto se instaló a una profundidad de 1.20 metros mediante la excavación a cielo abierto. El ducto fue cubierto con el mismo material de la excavación por lo que a la fecha no se encuentra abierta ninguna zanja en el tramo.

Tramo 3

El tramo 3 abarca del cadenamiento 1+760 al 2+560; el Tramo 3 inicia por el margen derecho en dirección norte-sur hasta una longitud de 150 metros hasta llegar al cadenamiento 1+880; a partir del cadenamiento 1+920 hasta el 2+060 el ducto sigue una dirección Este-Oeste por la margen izquierda de la brecha de terracería; posteriormente del cadenamiento 2+080 al 2+240 se da un cambio de margen para continuar por la derecha, en la dirección Este-Oeste por una longitud de 170 metros. Finalmente, el tramo tiene una dirección Norte-sur por una longitud de 290 metros desde el cadenamiento 2+260 al 2+560. El ducto se instaló a una profundidad de 1.20 metros mediante la excavación a cielo abierto. El ducto fue cubierto con el mismo material de la excavación por lo que a la fecha no se encuentra abierta ninguna zanja en el tramo.

Tramo 4

El tramo 4 abarca del cadenamiento 2+580.00 al 3+860.00; el Tramo 4 inicia en dirección Este-Oeste por una longitud de 345 metros hasta el cadenamiento 2+900.00 y el ducto va por el margen izquierdo del tramo. Del cadenamiento 2+920.00 hasta el 3+700.00 el ducto tiene una dirección Norte-Sur por el margen izquierdo. Finalmente, del tramo 3+720.00 al 3+860.00 el ducto sigue una dirección Este-Oeste por el margen izquierdo. El ducto se instaló a una profundidad de 1.20 metros mediante la excavación a cielo abierto. El ducto fue cubierto con el mismo material de la excavación por lo que a la fecha no se encuentra abierta ninguna zanja en el tramo.

En este tramo es importante mencionar que cadenamiento 2+900.00 al 3+700.00 el ducto pasa por un camino en desuso del "Cerrito Colorado" que se ubica al Este del ducto; en este tramo también se abrió una zanja de 90 cm de ancho solamente, no se eliminaron árboles y a la fecha actual la zona presenta vegetación abundante.

Tramo 5

El tramo 5 abarca del cadenamamiento 3+880.00 al 5+660.00; el Tramo 5 inicia en dirección Norte-Sur por una longitud de 500 metros hasta el cadenamamiento 4+380.00 y el ducto va por el margen izquierdo del camino parcelario. Del cadenamamiento 4+400.00 el ducto toma una dirección Este-Oeste con una longitud de 510 metros hasta el cadenamamiento 4+900.00, el ducto sigue por el margen izquierdo.

El ducto continúa del cadenamamiento 4+920.00 hasta el cadenamamiento 5+540.00 por unos 640 metros en dirección Norte-Sur; en este punto el ducto sigue el margen izquierdo del camino parcelario. Cabe mencionar que en este Tramo, el ducto pasa por debajo del Libramiento Norte La Piedad a la altura del cadenamamiento 5+500.00 y 5+520.00; además, es importante mencionar que se cuenta con la factibilidad de cruce emitido por la Secretaria de Comunicaciones y Transporte, el cual se anexa al presente.

Anexo 1. Factibilidad de cruce por SCT.

Finalmente, del cadenamamiento 5+540.00 al 5+660.00 el ducto continúa por el margen izquierdo por otros 120 metros en dirección Norte-Sur hasta cruzar la carretera a Charapuato. Dentro de este trayecto, por el camino vecinal que se dirige a la comunidad de Charapuato, utilizando medios mecánicos y manuales con la excavación a cielo abierto, se colocó un registro número R-1 que cumple con las especificaciones de la norma que regula la instalación y construcción de los ductos de transporte para gas natural, NOM-007-SECRE-2010, el registro está ubicado en el cadenamamiento del Km. 5+600.00.

El ducto se instaló a una profundidad de 1.20 metros mediante la excavación a cielo abierto. El ducto fue cubierto con el mismo material de la excavación por lo que a la fecha no se encuentra abierta ninguna zanja en el tramo.

Tramo 6

El tramo 6 abarca del cadenamamiento 5+680.00 al 6+580.00; el Tramo 6 inicia en dirección Norte-Sur por una longitud de 570 metros hasta el cadenamamiento 6+240 y el ducto se ubica en el margen izquierdo del camino parcelario.

Del cadenamamiento 6+260.00 al 6+580.00 el ducto tiene una dirección de Este-Oeste de manera general; igualmente sigue por la margen izquierda y tiene una longitud aproximada de 330 metros. En este punto el ducto bordea una sección de Selva Baja Caducifolia la cual no se ve afectada por la presencia del ducto.

El ducto se instaló a una profundidad de 1.20 metros mediante la excavación a cielo abierto. El ducto fue cubierto con el mismo material de la excavación por lo que a la fecha no se encuentra abierta ninguna zanja en el tramo.

Tramo 7

El tramo 7 abarca del cadenamamiento 6+600.00 al 7+271. 44; el Tramo 7 inicia en dirección Norte-Sur por una longitud de 225 metros hasta el cadenamamiento 6+820.00; este punto corresponde al cruce del Río Lerma, el cual fue cruzado por el ducto mediante la Técnica de Perforación Horizontal Dirigida. Cabe mencionar que también cruza un canal de agua aledaño al margen sur del Río Lerma, igualmente mediante la técnica de Perforación dirigida.

Del cadenamamiento 6+820.00 al 6+960.00 el ducto tiene una dirección de Oeste-Este por una longitud de 150 metros; en este punto el ducto sigue un camino vecinal y se instaló mediante excavación a cielo abierto.

Posteriormente del cadenamamiento 6+980.00 al 7+030.00 el ducto toma una dirección Norte-Sur y sube una pendiente propia del terreno; en este punto se realizó una obra de mampostería para cubrir el ducto.

Finalmente, el ducto entra a la Empresa Cárnicos Strattega del Grupo Bafar hasta donde se encuentra la Estación de Regulación y Medición en el cadenamamiento 7+271. 44.

De manera particular, cabe presentar la descripción de la Perforación horizontal dirigida. Esta técnica se utilizó para cruzar el Río Lerma en dirección Norte-Sur. La "Perforación horizontal dirigida" se realizó con una maquina Ditch Witch.

De acuerdo con el Procedimiento de Ejecución de la Perforación Horizontal Dirigida (PHD) de la empresa PERFHORA, quienes publican un esquema de cómo es el procedimiento de la perforación

Cabe mencionar que el área de influencia de todos los tramos tiene vocación agrícola, salvo por el Tramo 7, que corresponde principalmente al Río Lerma y una zona de selva baja caducifolia presente en el margen norte del Río.

Se anexan los planos del trazo del ducto para los Tramos del Proyecto en el Anexo 2.

Anexo 2.- Planos de Trazo del Ducto.

Especificaciones de diseño.

- 21.00 kg/cm² Presión de operación normal
- 31.5 kg/cm² Presión de prueba hidrostática
- 7,271.44 m Longitud
- 6" Diámetro exterior
- Espesor de 0.280 in (7.11 mm).
- El ducto será de acero al carbón de 6" Ø nominal, de acuerdo con el estándar API 5L X-42.

Para el caso del ducto, la obra civil que se requirió para la preparación del terreno consistió en marcar la trayectoria del ducto. La zanja tiene una profundidad promedio de 1.20 metros y el fondo de la misma es compactado y rellenada con una capa de arena de 10 cm para recibir el ducto, donde la superficie lo requirió. Una vez instalado el ducto, las zanjas se cubrieron con material de relleno, se compactó, y se instalaron las señales correspondientes.

El gasoducto va enterrado a todo lo largo del trayecto, salvo en los puntos de recepción y entrega. La excavación de la zanja permitió que el ducto quede a una profundidad mínima de 1.20 metros, para cumplir una profundidad de cubierta mínima de 1 metro.

Profundidad de zanja o cubierta mínima.

La profundidad de la zanja o cubierta mínima va referida en base a la NOM-007-SECRE-2010, por lo que a continuación se describe la superficie que deberá tener dicha zanja de acuerdo a la localización del ducto.

Localización	Suelo normal	Roca consolidada
	Centímetros (al lomo de tubo)	
Clase de localizaciones 1, 2	60	45
Clase de localizaciones 3 y 4	75	60
Cruzamiento con carretera y zanjales de drenaje en caminos públicos.	90	60
Cruces de ferrocarril	120	120

Cuando se encuentre una estructura subterránea que impida la instalación del ducto a la mínima profundidad especificada, éste se podrá instalar a una menor profundidad siempre y cuando se proporcione la protección adicional para resistir las cargas externas previstas.

En cuanto al ancho de la zanja, ésta es como máximo 60 cm más ancha que el diámetro de la tubería.

La tubería de transporte subterránea se instaló con una separación mínima de 30 cm de cualquier otra estructura enterrada ajena a la tubería de transporte. Cuando no sea posible tener la separación indicada, la línea se debe proteger contra daños que puedan resultar de la proximidad con la estructura vecina. Por seguridad, GNU Gas Natural colocó la tubería como mínimo de 0.50 a 0.60 metros de cualquier otra estructura subterránea.

El tubo de gas natural (en tramos de 12 metros aprox. cada uno) fue transportado por GNU desde la bodega de almacenamiento hasta el DDV del gasoducto, en tráiler o camiones plataforma equipados con aditamentos de sujeción para tubería. Los camiones se alinearon a lo largo del DDV para que una grúa móvil descargue los tubos en el sitio, uno detrás de otro, siguiendo la línea de la trinchera.

En este proyecto se empleó tubo y accesorios de importación o de fabricación nacional y recubierto mecánico contra la corrosión que pudiera generarse.

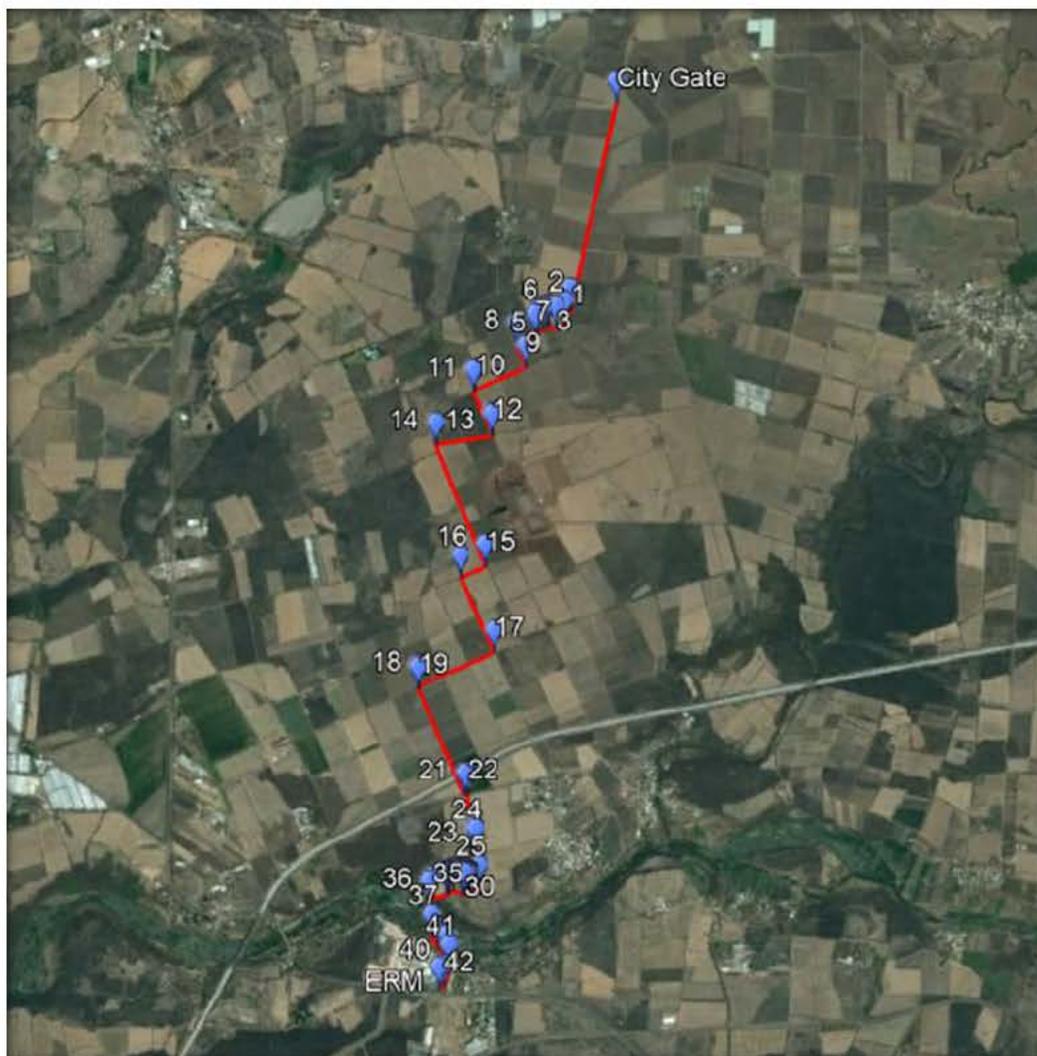


Ilustración 1. Ubicación del proyecto.

Tabla 1. Coordenadas UTM del trazo del ducto.

Puntos	Coordenada Este	Coordenada Norte
City Gate	802683.00 m E	2261276.00 m N
1	802424.00 m E	2259980.00 m N
2	802389.00 m E	2259901.00 m N
3	802336.00 m E	2259867.00 m N
4	802283.00 m E	2259875.00 m N
5	802255.00 m E	2259857.00 m N
6	802229.00 m E	2259849.00 m N
7	802209.00 m E	2259817.00 m N
8	802091.00 m E	2259760.00 m N
9	802150.00 m E	2259621.00 m N
10	801839.00 m E	2259476.00 m N
11	801833.00 m E	2259463.00 m N
12	801952.00 m E	2259204.00 m N
13	801951.00 m E	2259192.00 m N
14	801604.00 m E	2259133.00 m N
15	801917.00 m E	2258386.00 m N
16	801763.00 m E	2258315.00 m N
17	801975.00 m E	2257854.00 m N
18	801505.00 m E	2257631.00 m N
19	801504.00 m E	2257618.00 m N
20	801802.00 m E	2256970.00 m N
21	801812.00 m E	2256964.00 m N
22	801829.00 m E	2256966.00 m N
23	801873.00 m E	2256633.00 m N
24	801882.00 m E	2256617.00 m N
25	801909.00 m E	2256393.00 m N
26	801852.00 m E	2256359.00 m N
27	801844.00 m E	2256356.00 m N
28	801839.00 m E	2256351.00 m N
29	801830.00 m E	2256353.00 m N
30	801819.00 m E	2256347.00 m N
31	801805.00 m E	2256347.00 m N
32	801745.00 m E	2256371.00 m N
33	801716.00 m E	2256357.00 m N
34	801711.00 m E	2256348.00 m N
35	801597.00 m E	2256312.00 m N
36	801578.00 m E	2256290.00 m N
37	801618.00 m E	2256080.00 m N
38	801663.00 m E	2256007.00 m N
39	801700.00 m E	2255966.00 m N
40	801716.00 m E	2255956.00 m N
41	801732.00 m E	2255894.00 m N
42	801703.00 m E	2255771.00 m N
ERM	801673.00 m E	2255757.00 m N



Ilustración 2. Primera sección del trazo del ducto.



Ilustración 3. Segunda sección del trazo del ducto.



Ilustración 4. Tercera sección del trazo del ducto.

I.2. Bases del diseño.

El gasoducto fue diseñado de acuerdo con la versión más reciente de ASME B31.8, norma industrial norteamericana para "Sistemas de Ductos para Transporte y Distribución de Gas." Según el código para gasoducto ASME B31.8, el diseño de espesor de pared de ducto tiene por base la fórmula para esfuerzo tangencial y tres factores de seguridad.

Las condiciones con las que operará y fue diseñado el ducto, se describen en la siguiente tabla.

CONDICIONES DE OPERACIÓN	
Flujo	1860.45 Kg/hora
Temperatura de operación	293.15 K
Temperatura máxima de diseño	311.15 K
Temperatura mínima de diseño	283.15 K
Datos de línea de alta presión (Antes de regulación)	
Presión de diseño	7,845.30 KPa
Presión máxima de entrada	6,374.32 KPa
Presión mínima de entrada	2,647.80 KPa
Presión de Operación	2,059.40 KPa
Datos de línea de baja presión (Después de regulación)	
Presión máxima de entrada	3040.10 KPa
Presión mínima de entrada	2059.40 KPa
Presión de Operación	2,059.40 KPa

Factor F de Diseño.

Para cumplir con ASME B31.8 cada sección del gasoducto fue categorizada por ubicación, clase y tipo de construcción de gasoducto. La ubicación exacta, clase y tipo de construcción del gasoducto para cada sección específica se determinó durante la fase de diseño detallado del proyecto.

La base para evaluar la clasificación de ubicación está relacionada con el número de edificios dentro del área unitaria definida en la NOM-007-SECRE-2010, 400 m de ancho y 1600 m de largo, medido desde la línea central del derecho de vía del gasoducto. Se seleccionó la ruta para evitar cercanía a comunidades o poblaciones.

Las clasificaciones locales también están sujetas a modificación en función del tipo de construcción de ducto o instalación, por ejemplo, estaciones o los cruces con vías de comunicación. El Factor de Diseño se determinó a partir de las tabulaciones que se encuentran en la clase de localización de la NOM-007-SECRE-2010, y 841.114 de ASME B31.8. El valor de estos factores varía entre 0.8 y 0.4.

Diámetro del Ducto.

El dimensionamiento del ducto fue determinado por un análisis hidráulico a fondo del sistema. Los parámetros principales por ser tomados en consideración fueron: presión de operación máxima del sistema (presión de entrega y/o disponibilidad de compresión), composición del gas, temperaturas de líquido y ambiente, demandas hidráulicas máximas (por ejemplo, consumo de gas combustible), longitud del gasoducto, rugosidad de la pared interna del ducto, diferencias de elevaciones, presiones de entrega mínimas sobre el sistema (bien sea gas combustible para los compresores o por otros requerimientos de entrega del cliente) y espesor de pared de ducto.

Espesor de Pared de Ducto

El espesor nominal de pared de ducto se determinó de acuerdo con los requerimientos de NOM-007-SECRE-2010 y ASME B31.8, Cláusula 841.1. Por lo tanto, el espesor nominal de pared para una presión determinada será determinado según la fórmula siguiente de acuerdo con lo indicado en las normas de referencia.

Cruces del Gasoducto

A lo largo del recorrido del ducto, esta cuenta con tres cruces:

1. Libramiento Norte La Piedad. - En el Tramo 5 del cadenamiento altura del cadenamiento 5+500.00 y 5+520.00, el ducto pasa por debajo del Libramiento Norte La Piedad; recalando que se cuenta con los permisos necesarios ante la Secretaria de Comunicaciones y Transportes para el paso del ducto.
2. Camino a Charapuato. - En el Tramo 5 del cadenamiento altura del cadenamiento 5+540.00 al 5+660.00 el ducto continúa por el margen izquierdo por otros 120 metros en dirección Norte-Sur hasta cruzar el camino a Charapuato.
3. Río Lerma. - En el tramo 7 a partir del cadenamiento 6+600.00 en dirección Norte-Sur por una longitud de 225 metros hasta el cadenamiento 6+820.00; este punto corresponde al cruce del Río Lerma, el cual fue cruzado por el ducto mediante la Técnica de Perforación Horizontal Dirigida. Además, es de mencionarse que también cruza un canal de agua aledaño al margen sur del Río Lerma, igualmente mediante la técnica de Perforación dirigida.

El proceso de una Perforación Horizontal Dirigida (PHD) se basa en tres etapas principales: perforación guía, ensanchado e introducción de la tubería. La perforación horizontal dirigida se inicia con un taladro guía ejecutado con una plataforma perforadora que va empalmando y empujando y rotando varillaje de perforación.

Una vez finalizada la guía, se procede a la introducción de sucesivos conos ensanchadores para ampliar el túnel al diámetro necesario para introducir la tubería. Finalizado y estabilizado el túnel, se procede a la introducción de la tubería. En los siguientes puntos se describe de manera más específica el procedimiento que se realizó:

1. PERFORACIÓN PILOTO O GUÍA

La perforación piloto o guía correspondió a una perforación de pequeño diámetro (un poco mayor al varillaje de la perforadora empleada) que siguió fielmente la trayectoria teórica proyectada y diseñada. Para poder detectar la posición del cabezal perforador se empleó el sistema de guiado.



Ilustración 5.- Esquema de Perforación Guía.

2. ENSANCHADO DEL TÚNEL

Una vez realizada la perforación piloto, se desmontó el cabezal de perforación y en su lugar se montó un cono escariador para aumentar el diámetro del túnel de la perforación. Este proceso se realizó en sentido inverso, es decir, por tracción desde la máquina adicionalmente al giro continuo, con lo que se progresa en el ensanche la perforación anterior hasta alcanzar el diámetro deseado. La repetición sucesiva de estas operaciones de escariado, con diámetros crecientes, concluyó con la tunelación al diámetro deseado.

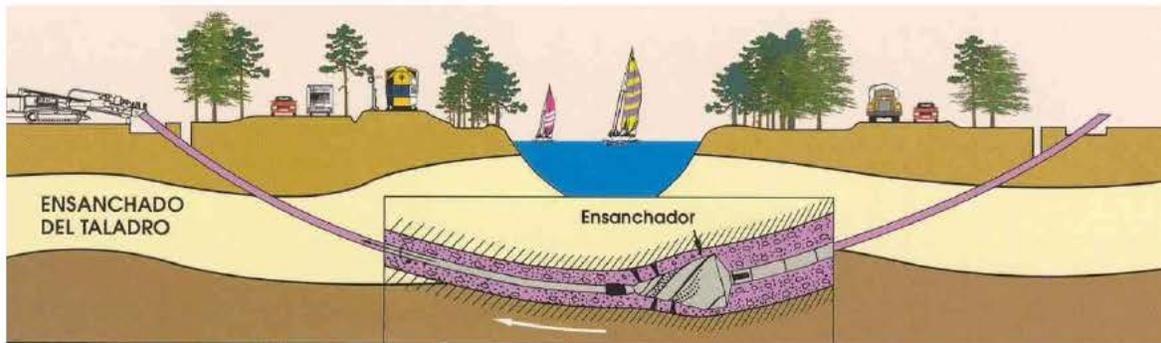


Ilustración 6.- Esquema de Ensanchado del Túnel.

3. INSTALACIÓN DE LA TUBERÍA

Una vez que se logró el diámetro del túnel deseado con la ayuda de los ensanchadores, se procedió a la introducción de la tubería. La tubería, previamente soldada en su longitud total, se alineó con la perforación y se conectó al varillaje de perforación, ya introducido en el túnel. En ese momento la perforadora tiró de ella a través del varillaje, introduciéndola en el túnel progresivamente.



Ilustración 7.- Esquema de Instalación de Tubería.

La perforación en el Río Lerma se realizó a una distancia de 5 metros de profundidad; se dio cumplimiento con la NOM-007-SECRE-2010 y el código ASME para la calidad del tubo, de cada soldadura necesaria se toman radiografías al 100% de las juntas y se inspecciona de manera visual.

La perforación horizontal dirigida es un método rápido, limpio y ecológico que permite la instalación de servicios como agua, gas, electricidad, comunicaciones, etc. Asimismo, permite la instalación de tuberías bajo el nivel freático.

Esta técnica es aplicada en la construcción de ductos o líneas de conducción e infraestructura de operación de sistemas de transporte de hidrocarburos.

Las ventajas que tiene este tipo de sistema en el área ambiental y de seguridad son las siguientes:

- Evita alteraciones de biotopos naturales y afectación a la vida superficial.
- Se minimizan ruidos y estrés.
- El impacto ambiental es mínimo.
- Se garantiza la seguridad de los trabajadores.

CÁLCULO DE LA PRESIÓN MÁXIMA DE OPERACIÓN DE ACUERDO A ASME B31.8.

A continuación se presentan los cálculos de la presión máxima de operación realizados mediante el software Código ASME B31.8.

ASME B31.8 Design Pressure Calculation

(MAOP based on actual minimum corroded thickness)

Plant ID: Plant
Equipment Number: 5
Equipment Name: BAFAR
Equipment Type: DUCTO DE TRANSPORTE
Date: 16/06/16

Piping Classification:**Piping Spec & Grade:** C4 API 5L X42 Smls**Pipe Schedule:** 6" SC 40**Nominal Thickness:** 0.280 in**Design Conditions:** 536.20 psig**Design Code:** ASME B.31.8**P&ID Dwg:****Calculation for MAOP**

Reference: ASME B31.8-2014, 841.1.1 (a)

Steel Pipe Design Formula:

$$P = \frac{2St}{D} FET$$

Where:

- D = nominal outside diameter of pipe, inches
- E = longitudinal joint factor obtained from Table 841.1.7-1
- F = design factor obtained from Table 841.1.6-1.
- P = design pressure, psig
- S = specified minimum yield strength, psi
- T = temperature derating factor obtained from Table 841.1.8-1
- t = nominal wall thickness, inches

Calculation for design pressure (Pi)

S = 42000 psig

t = 0.28 in Actual corroded wall thickness as determined by profile RT

D = 6.625 in

F = 0.4

E = 1

T = 1

P = 1420 psig MAOP

ASME B31.8 Design Pressure Calculation

(MAOP based on actual minimum corroded thickness)

Plant ID: CARNICOS STRATTEGA SA DE CV

Equipment Number: 5

Equipment Name: PIPE

Equipment Type: DUCTO DE TRANSPORTE

Date: 16/06/16

ASME B31.8-2012, Table 841.1.6-1 Basic Design Factor, F

Location Class Design Factor, F

Location Class 1, Division 1 0.8

Location Class 1, Division 2 0.72

Location Class 2 0.6

Location Class 3	0.5
Location Class 4	0.4

ASME B31.8-2012, Table 841.1.8-1 Temperature Derating Factor, T, for Steel Pipe

Temperature, °F (°C)	Temperature Derating Factor, T
250 (121) or lower	1
300 (149)	0.967
350 (177)	0.933
400 (204)	0.9
450 (232)	0.867

GENERAL NOTE: For intermediate temperatures, interpolate for derating factor.

CÁLCULO DEL ESPESOR A CONDICIONES DE DISEÑO

En el presente apartado se presentan los cálculos del espesor a condiciones de diseño realizados mediante el software Código ASME B31.8.

ASME B31.8 Minimum Allowable Wall Thickness Calculation (Design Conditions)

Plant ID CARNICOS STRATTEGA SA DE CV

Equipment Number: 5

Equipment Name: DUCTO DE TRANSPORTE

Equipment Type: PIPE

Date: 20 junio de 2016

Piping Classification

Piping Spec & Grade: C4 API 5L X 42 Smls

Pipe Schedule: 6 IN SC 40

Nominal Thickness: 0.280 in

Design Conditions: 536.20 psig, -20° F to 150° F

Design Code: ASME B.31.8

P&ID Dwg:

Pressure design wall thickness (t)

Reference: ASME B31.8-2012, 841.1.1 (a)

$$P = \frac{2St}{D} FET \longrightarrow t = \frac{PD}{2SFET}$$

where

- D = nominal outside diameter of pipe, inches
- E = longitudinal joint factor
- F = design factor (0.5 for gas riser)
- 3P = design pressure, psig
- S = specified minimum yield strength, psi
- T = temperature derating factor
- t = pressure design wall thickness, inches

$$S = 42000 \text{ psi}$$

$$D = 6.625 \text{ in}$$

$$F = 0.4$$

$$E = 1$$

$$T = 1$$

$$P = 536 \text{ psi}$$

$$t = 0.106 \text{ in} \quad 2.7 \text{ mm}$$

Minimum allowable wall thickness (tn)

$$t_n = t + A$$

where

- t_n = pressure design wall thickness + A, inches
- A = corrosión allowance

$$t = 0.106 \text{ in}$$

$$A = 0.05 \text{ in} \quad 1.3 \text{ mm}$$

$$t_n = 0.156 \text{ in} \quad 4.0 \text{ mm}$$

$$\text{Espesor propuesto} \quad 0.280 \text{ in} \quad 7.112 \text{ mm}$$

CÁLCULO DEL ESPESOR DEL DUCTO A CONDICIONES DE OPERACIÓN.

En el presente apartado se presentan los cálculos del espesor del ducto a condiciones de diseño realizados mediante el software Código ASME B31.8.

ASME B31.8 Minimum Allowable Wall Thickness Calculation (Operating Conditions)

Plant ID STRATTEGA SA DE CV
Equipment Number: 5
Equipment Name: DUCTO DE TRANSPORTE
Equipment Type: ALTA PRESION
Date: 20-06-16

Piping Classification

Piping Spec & Grade: API 5L X42 Smls
Pipe Schedule: 6 in SC 40
Nominal Thickness: 0.280 in
Operating Conditions: 536.20 psig
Design Code: ASME B.31.8
P&ID Dwg:

Pressure design wall thickness (t) for MAOP

Reference: ASME B31.8-2012, 841.1.1 (a)

$$P_o = \frac{2St}{D} FET \longrightarrow t = \frac{P_o D}{2SFET}$$

where

- D = nominal outside diameter of pipe, inches
- E = longitudinal joint factor
- F = design factor. Location Class 4.
- Po = maximum allowable operating pressure (MAOP), psig
- S = specified minimum yield strength, psi
- T = temperatura derating factor
- t = pressure design wall thickness, inches

S = 42000 psi

D = 4.026 in

F = 0.4

E = 1

T = 1

Po = 536.2 psi

t = 0.064 in 1.6 mm

Minimum allowable wall thickness (tn) for MAOP

$$t_n = t + A$$

where

- t_n = pressure design wall thickness + A, inches
- A = corrosion allowance

		Percentage wall thickness remaining	
t =	0.064 in	T-nominal	0.280 in
A =	0.05 in 1.27 mm	T-actual:	0.114 in
t_n =	0.114 in 2.9 mm	% T-Remaining:	41%

CÁLCULO DE DIÁMETRO DEL DUCTO.

Para la definición del diámetro estimado del ducto para el transporte de gas natural se determinó utilizando como herramienta el software "gas calculado", obteniendo los siguientes resultados:

Datos de cálculo e ingreso a la pantalla del software;

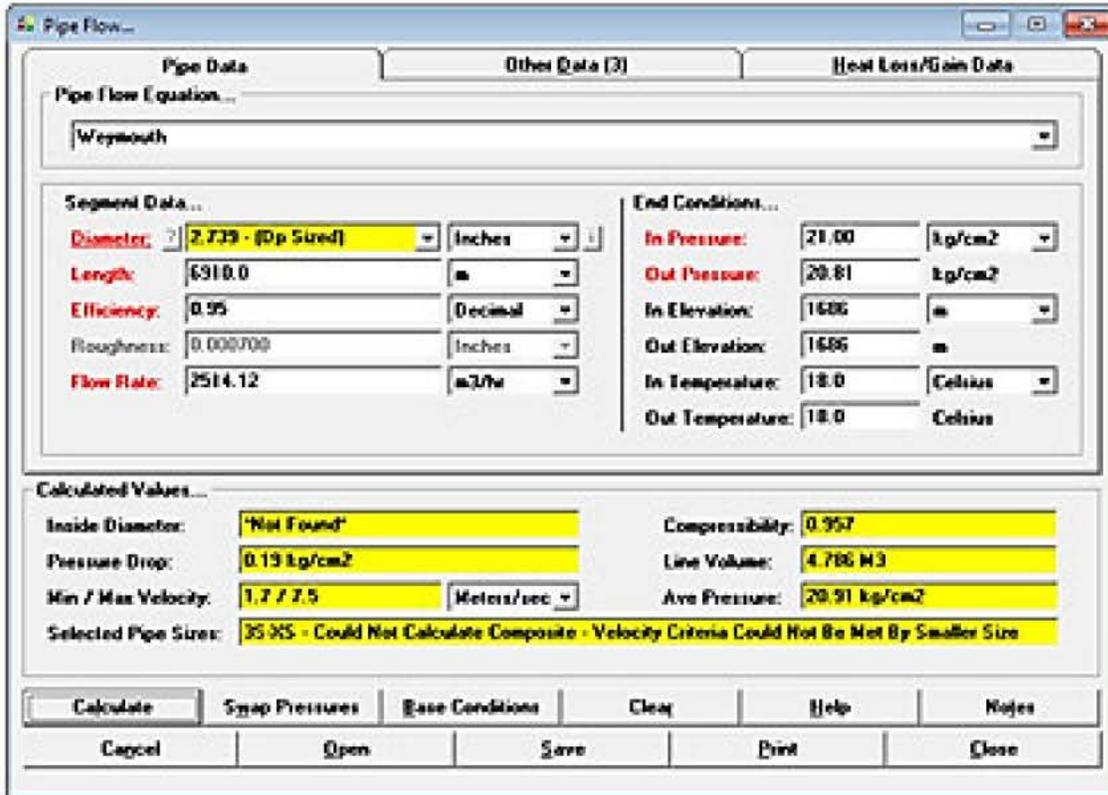
Tabla 2.- Cálculo de la caída de presión de acuerdo a la fórmula de Weymouth.

Densidad relativa del gas	0.6	
Diámetro interior de la tubería (mm)	154.6	Mm
Longitud en km	7.27144	Km
Caudal en m3/h	2500	M3/h
Presión inicial manométrica	21	Kg/cm2
Presión final en el extremo de la Tubería	20.81	Kg/cm2

Una vez Ingresados los datos, se obtienen los siguientes resultados:

Ubicación de estación		LA PIEDAD MICHOACAN		
Altura del lugar:		1,686	msnm	
Presión atmosférica		0.85	Kg/cm2	
Volumen máximo solicitado:		60,338.88	M3/día	
		2,514.12	NMCH	
Volumen mínimo solicitado		50,282.93	M3/día	
		2,464	NMCH	
PRESION	Kg/cm ²	Bar	KPa	PSI
P Diseño:	80	78.4	7,845.30	1,137.90
P Max entrada:	65	63.74	6,374.32	782.30
P min entrada:	27	26.48	2,647.80	536.20
P de operación:	21	20.6	2,059.40	298.70

Calculo del Diámetro



The screenshot shows the 'Pipe Flow...' software interface with the following data:

Category	Parameter	Value	Unit
Pipe Data	Pipe Flow Equation	Weymouth	
Segment Data	Diameter	2.739 (Dp Sized)	Inches
	Length	6318.0	m
	Efficiency	0.95	Decimal
	Roughness	0.000700	Inches
	Flow Rate	2514.12	m ³ /hr
End Conditions	In Pressure	21.00	kg/cm ²
	Out Pressure	20.81	kg/cm ²
	In Elevation	1606	m
	Out Elevation	1606	m
	In Temperature	18.0	Celsius
	Out Temperature	18.0	Celsius
Calculated Values	Inside Diameter	Not Found	
	Pressure Drop	0.19	kg/cm ²
	Min / Max Velocity	1.7 / 7.5	Meters/sec
	Selected Pipe Sizes	35 35S - Could Not Calculate Composite - Velocity Criteria Could Not Be Met By Smaller Size	
	Compressibility	0.957	
	Line Volume	4.786	M ³
	Ave Pressure	20.91	kg/cm ²

Buttons at the bottom: Calculate, Swap Pressures, Base Conditions, Clear, Help, Notes, Cancel, Open, Save, Print, Close.

Ilustración 8.- Calculo del Diámetro.

Additional Components.

- 1) F: 1 L-45 Thd Qty: 30
- 2) F: 1 V-Globe Qty: 3

Total Equivalent Length Of The Additional Components= 6097.9 m

Sizing Group: Group-10
Allowable Velocity: 0.000 Meters/sec

Heat Loss Or Gain Calculation Method: None

Linear Pressure Drop: 0.19 kg/cm²
Minimum/Maximum Velocity: 7.4 / 7.5 m/s
Line Volume At Average Pressure: 4.809 m³
Average Pressure: 20.91 kg/cm²
Velocity Limit: 200.0 m/s
Compressibility Factor (Base): 0.957
Average Compressibility: 0.957
Calculation Method: AGA8-92-Detailed

Selected Pipe Sizes: 3S-XS - Could Not Calculate Composite - Velocity Criteria Could Not Be Met By Smaller Size

Gas Properties.

Base Pressure:	14.500 Psi (Abs)
Base Temperature:	60.000 Fahrenheit
Specific Gravity:	0.58
Viscosity:	0.000007 Lbm/ft-sec
Assigned Gas Properties File:	GNU.prp
Atmospheric Pressure:	12.045 Psi (Abs)
Atmospheric Pressure Method:	American Gas Association (AGA)
Compressibility Factor:	1
Compressibility Factor Method:	AGA8-92-Detailed

Calculation Notes.

The Inside Diameter value was calculated. Comments:

These calculations are only valid within the applicable range of the selected flow equation.

GASCalc 5.0 Revision: 036 - April 09, 2015

Report: Continued.

The Minimum Velocity value is based on the larger of the inside diameter value of the larger Selected Pipe Size and any attached components, and the Inlet Pressure and Average Temperature values.

The Maximum Velocity value is based on the smaller of the inside diameter value of the Smaller Selected Pipe and any attached components, and the Outlet Pressure and Average Temperature values.

References:

- Flow Equation - Gas Processors Suppliers Association,
- Engineering Data Book, 1998. Compressibility - American Gas Association, Report No.8, 1992.
- Atmospheric Pressure - American Gas Association, GEOP Series, Measurement, Book M-1, 1993.

SISTEMA DE TRANSPORTE DE GAS NATURAL POR MEDIO DE DUCTO,
CAPACIDAD DE OPERACION.

RESULTADOS CONDICIONES DE DISEÑO.

Project Identification: PROYECTO BAFAR

Prepared by: GNU

Reviewed by:

Calculation Data/Results.

Filename: c:/program files (x86)/gascalc 5/files/bafar diseño.clc

Flow Equation: Weymouth

Diameter: 4.219 Inches Inside Wall Roughness: Not Entered Inches

Length: 7,271.44 m

Efficiency: 0.95 Decimal

Flow Rate: 11,700.000 m³/hr

	Inlet (Upstream) Values...	Outlet (Downstream) Values.
Pressure:	21.00 kg/cm ²	20.81 kg/cm ²
Elevation:	1686 m	1686 m
Temperature:	18.0 Celsius	18.0 Celsius

Additional Components.

- 1) F: 1 L-45 Thd Qty: 30
- 2) F: 1 V-Globe Qty: 3

Total Equivalent Length Of The Additional Components = 188658.8 m

Sizing Group:	Group-10
Allowable Velocity:	0.000 m/s
Heat Loss Or Gain Calculation Method:	None
Linear Pressure Drop:	0.19 kg/cm ²
Minimum/Maximum Velocity:	8.7 / 8.8 m/s
Line Volume At Average Pressure:	1.310 m ³
Average Pressure:	20.91 kg/cm ²
Velocity Limit:	200.0 m/s
Compressibility Factor (Base):	0.957
Average Compressibility:	0.957
Calculation Method:	AGA8-92-Detailed

Selected Pipe Sizes: 6S-XS - Could Not Calculate Composite - Velocity Criteria Could Not Be Met By Smaller Size

Gas Properties.

Base Pressure:	14.500 Psi (Abs)
Base Temperature:	60.000 Fahrenheit
Specific Gravity:	0.58
Viscosity:	0.000007 Lbm/ft-sec
Assigned Gas Properties File:	GNU.prp
Atmospheric Pressure:	12.045 Psi (Abs)
Atmospheric Pressure Method:	American Gas Association (AGA)
Compressibility Factor:	1
Compressibility Factor Method:	AGA8-92-Detailed

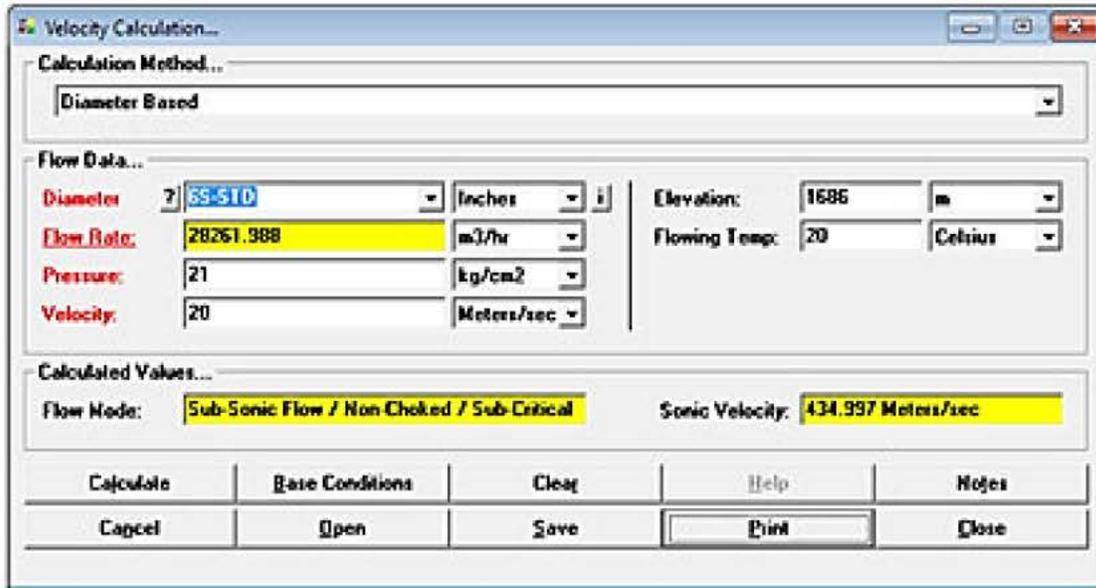
Calculation Notes.

- The Inside Diameter value was calculated. Comments:
- These calculations are only valid within the applicable range of the selected flow equation.

GASCalc 5.0 Revision: 036 - April 09, 2015

DATOS DE ENTRADA

Diámetro del ducto:	6.065 in
Velocidad máxima permitida en el sistema:	20 m/s
Temperatura de transporte:	20 ° C
Presión:	21 Kg/cm ²



Velocity Calculation...

Calculation Method...
Diameter Based

Flow Data...

Diameter: 6.065 Inches
Flow Rate: 28261.988 m³/hr
Pressure: 21 kg/cm²
Velocity: 20 Meters/sec

Elevation: 1586 m
Flowing Temp: 20 Celsius

Calculated Values...

Flow Mode: Sub-Sonic Flow / Non-Choked / Sub-Critical
Sonic Velocity: 434.957 Meters/sec

Calculate Base Conditions Clear Help Notes
Cancel Open Save Print Close

Velocity Calculation:**DUCTO DE TRANSPORTE 6 IN**

Project Identification: CARNICOS STRATTEGA SA DE CV

Prepared By: GNU

Calculation Data/Results...

Calculation Method:	Diameter Based
Flow Diameter:	6S-STD Inside Diameter: 6.065 Inches
Volumetric Flow Rate:	28261.988 m ³ /hr
Static Pressure:	21 kg/cm ²
Elevation:	1686 m
Flowing Temperature:	20 Celsius
Flow Velocity:	20 m/s
Compressibility Factor (Base):	0.9978912
Compressibility Factor (Flowing):	1
Compressibility Factor Method:	AGA8-92-Detailed
Flow Mode:	Sub-Sonic Flow / Non-Choked / Sub-Critical
Sonic Velocity:	434.997 m/s

Gas Properties.

Base Pressure:	14.500 Psi (Abs)
Base Temperature:	60.000 Fahrenheit
Viscosity:	0.000007 Lbm/ft-sec Assigned Gas
Properties File:	GNU.prp
Atmospheric Pressure:	12.045 Psi (Abs)
Atmospheric Pressure Method:	American Gas Association (AGA)
Compressibility Factor:	1
Compressibility Factor Method:	AGA8-92-Detailed.

Calculation Notes.

The Flow Rate value was calculated. References:

- Velocity Calculation - Gas Processors Suppliers Association, Engineering Data Book, 1998.
- Compressibility Factor Method - American Gas Association, Report No.8, 1992.
- Atmospheric Pressure Calculation - American Gas Association, GEOP Series, Measurement, Book M-1, 1993.

Notes: CAPACIDAD MAXIMA DEL DUCTO A VELOCIDAD MAXIMA.

ESPECIFICACIONES DEL MATERIAL DE LA TUBERIA Y DE LAS ESTACIONES DE REGULACION Y MEDICION.

El material para este proyecto cumplirá con las especificaciones adecuadas de acuerdo a la naturaleza del mismo

Secciones de ducto: API 5L, con los siguientes requerimientos:

- El fabricante deberá tener acreditación según ISO 9002.
- El proceso de manufactura de ducto deberá ser ERW y soldado bien sea longitudinalmente.
- El acero deberá ser de grado X-42.
- Propiedades de impacto especificadas:
- Las especificadas, probadas por la prueba de acuerdo a los estándares de la normatividad aplicable a temperaturas apropiadas.
- Los valores de prueba de dureza se definen de acuerdo con la especificación de la norma de fabricación.
- La soldadura longitudinal de ducto será probada ultrasónicamente de acuerdo con la información de calidad del proveedor.
- Ductería de Estación API 5L o ASTM A53
- Válvulas de Línea Principal API 6D, clase 300#.
- Bridas y Herrajes ASME B16.5 y B16.9

SISTEMA DE PROTECCIÓN ANTICORROSIVA.

La protección anticorrosiva de Tuberías subterráneas es un conjunto de sistemas complementarios entre sí. En el sistema de transporte se usaron dos sistemas, una protección pasiva o revestimientos y otra activa o protección catódica.

Ambos tipos de protección son complementarios, formando un sistema integral de protección anticorrosiva.

Una tubería revestida no garantiza una protección anticorrosiva efectiva y si se pretendiera proteger catódicamente una tubería desnuda, se necesitaría una gran cantidad de corriente provocando el empleo de equipos de capacidades considerablemente altas, lo que resultaría con un costo muy elevado.

Recubrimiento Externo.

Para prevenir y controlar los efectos de la corrosión en la tubería (parte externa) subterránea del sistema de transporte de gas natural, así como incrementar la seguridad y vida útil de los ductos, es de vital importancia aplicar una protección a base de recubrimientos anticorrosivos, de acuerdo con los requisitos de calidad y propiedades, exigidos por la normatividad nacional e internacional, incluyendo aspectos de seguridad, salud y protección al medio ambiente.

Para el sistema de Protección mecánica de los ductos subterráneos se eligió el sistema de bicapa de la marca Poliken, el cual consta de tres elementos, recubrimiento primario, cinta de protección anticorrosiva y cinta de protección.

- **Primera capa: recubrimiento primario.**

Se utilizó el recubrimiento primario Poliken 1027 de aplicación en campo está hecho a base de hule butílico elastómeros combinados y resinas poliméricas, dando excelente adhesión a la cinta y evitando al ducto la corrosión catódica.

En la bodega de acopio de tubería se aplicó el recubrimiento, para la aplicación del primario se eliminaron impurezas, grasas y suciedad en general de la tubería por medio de un pulido de la superficie con cepillos metálicos o cardas, posteriormente se limpia la superficie con un paño con solvente y se aplica el primerio con una brocha.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	PRIMER 1027
Base	Hule Butílico y Resinas Sintéticas.
Solvente	Nafta
Total sólidos	30%
Peso por litro	0.83 Kg
Viscosidad	Mediana
Punto de inflamación	+10 °C
Color	Negro
Durabilidad	Excelente
Temperatura	(-34°C a 85°C)

- **Segunda capa: cinta anticorrosiva.**

Posterior a la aplicación del recubrimiento Primario, se aplicó la cinta de protección anticorrosiva (Cinta Anticorrosiva 980) la cual está formada por polietilenos de adhesivo de hule butílico y resinas sintéticas. La aplicación se realizó en el almacén de acopio de materiales encintando el tubo manualmente.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	PRIMER 1027
Base	Polietileno de Alta y Baja Densidad, Hule Butílico y Resinas Sintéticas.
Solvente	Nafta
Total sólidos	30%
Peso por litro	0.83 Kg
Viscosidad	Mediana
Punto de inflamación	+10 °C
Color	Negro
Durabilidad	Excelente
Temperatura	(-34°C a 85°C)

- **Tercera capa: Cinta Mecánica.**

Una vez aplicada la cinta de protección catódica se aplica a Cinta Mecánica (Poliken 955) en campo, la cual protege a la cinta interior anticorrosiva contra cualquier golpe o daño.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	PRIMER 1027
Base	Polietileno de Baja Densidad, Hule Butílico y Resinas Sintéticas.
Solvente	Nafta
Total sólidos	30%
Peso por litro	0.83 Kg
Viscosidad	Mediana
Punto de inflamación	+10 °C
Color	Blanco
Durabilidad	Excelente
Temperatura	(-34°C a 85°C)

- **Recubrimiento mecánico en uniones de tubería.**

Una vez que se ha aplicado la soldadura para unión de cada tubería y habiendo sido satisfactoria la prueba no destructiva a la unión (radiografiado) se aplica el recubrimiento mecánico; los extremos de la tubería se dejan descubiertos para evitar que la temperatura propia de la soldadura de unión dañe o altere las propiedades de las cintas y del recubrimiento primario, es estas secciones se aplica este tipo de recubrimiento.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	PRIMER 1027
Base	Poliétileno de Baja Densidad, Hule Butílico y Resinas Sintéticas.
Solvente	Nafta
Total sólidos	30%
Peso por litro	0.83 Kg
Viscosidad	Mediana
Punto de inflamación	+10 °C
Color	Negro
Durabilidad	Excelente
Temperatura	(-34°C a 85°C)

- **Pruebas no destructivas**

Terminada la instalación de la tubería, habiéndose aplicado la soldadura de cada unión y siendo satisfactoria la prueba no destructiva de la unión (radiografiado), se aplicó el recubrimiento mecánico en los extremos de la tubería terminada y aprobada.

Para hacer pruebas de calidad en la instalación de la protección catódica se efectuarán pruebas con el detector de porosidad (holiday) en todo el trayecto del ducto, marcando las fallas para su posterior reparación, este procedimiento se realizará solo una vez, de hacer el procedimiento más de una vez en un tramo corre el riesgo de desprender las cintas del primario.

Protección anticorrosiva por inducción de corriente.

Tal como lo indica la norma oficial NOM-007-SECRE-2010 en su apéndice I "control de la corrosión externa en tuberías de acero enterradas y/o sumergidas"; el sistema de protección catódica debe proporcionar una corriente eléctrica suficiente y una distribución uniforme al sistema de tubería a proteger, evitando interferencias, corto circuito con encamisados metálicos y daños en los aislamientos eléctricos, así como en el recubrimiento anticorrosivo.

Para asegurar que el sistema de protección catódica cumpla con los requerimientos reales de la tubería que integra el sistema de transporte de gas natural, el diseño se realizó una vez iniciado las operaciones del sistema de transporte y antes del año de operación del sistema de transporte, entregándose las memorias de cálculo y procedimientos a la UV integrados con la información surgida en el primer año de operación.

ESTACIONES DE REGULACION Y MEDICIÓN

ESTACIÓN DE REGULACIÓN Y MEDICIÓN.

El límite de responsabilidad del sistema de transporte de gas natural, tiene como inicio la brida que se encuentra aguas arriba de la válvula troncal o de interconexión a la tubería que integra la red nacional de ductos propiedad de CENAGAS y Petroquímica Básica (PGPB), la tubería que se conectará a esta red tendrá la misma presión de diseño que la tubería de PGPB.

El punto de límite o de transferencia de custodia del gas es el elemento de medición de flujo, pero este punto es solo para efectos de facturación y como lo mencionamos en el párrafo anterior el ducto que interconecta a la estación con los ductos de PGPB es parte del sistema de transporte.

DESCRIPCIÓN DE ESTACIONES DE REGULACIÓN Y MEDICIÓN (ERM).

La tubería y los elementos de la ERM que se encuentran antes de los equipos de regulación se han diseñado para operar bajo las condiciones de presión de la compañía que suministrará el gas natural, que para nuestro fin es PGPB.

La tubería de alimentación a la estación es subterránea y para su protección contra corrosión, además de la protección mecánica se instaló un sistema de protección catódica para evitar pérdidas de la energía inducida en el ducto, además se instaló una junta aislante monoblock que unirá a la estación con el ducto de suministro, de igual forma a la salida de la ERM se instaló una junta monoblock para aislarla de la corriente inducida al ducto aguas debajo de la estación.

Después de la junta monoblock al inicio de la ERM se colocó una te para realizar una derivación, teniendo de esta forma dos líneas de filtrado y regulación, para monitorear en forma visual la presión de llegada a la estación, se instaló un árbol de válvulas (de ½" d.n.), en donde se colocó un manómetro con la capacidad de 0 a 100 Kg/cm², además de un transmisor de presión para monitoreo vía remota.

De la te a la llegada de la estación se derivan dos líneas de Filtrado y Regulación, las cuales están diseñadas para trabajar en forma independiente, teniendo la estación la opción de operar con una sola de las líneas, en cada una de estas líneas de filtrado y regulación después de la regulación se tiene un árbol de válvulas (de ½" d.n.) para alojar un manómetro con capacidad de 0 a 40 Kg/cm², los tubos que integran esta parte de la ERM están fabricados de acuerdo a la norma API 5L X 52 ced 80 y los accesorios bajo la norma ANSI 600.

A la salida (aguas abajo) de las líneas de filtrado y regulación se interconectan a través de un cabezal, cambiando el diámetro de la tubería y los materiales de composición, la tubería cumplirá con la norma API 5L X 42 ced 40 y los accesorios con la norma ANSI 300, teniendo en cuenta que en este punto la presión de operación está controlada a 21 kg/cm², de este cabezal se derivan dos líneas que tienen como objetivo la medición, en una de ellas se instaló el elemento de medición de flujo de acuerdo a las características de diseño de la ERM; la otra línea derivada de la regulación es utilizada posteriormente para medición o by pass de la medición en caso de fallas en el elemento de medición, por lo que permanece bloqueada durante la operación de la ERM.

DESCRIPCIÓN DE COMPONENTES DE LA ERM

Filtración.

El filtro es del tipo coalescente vertical, bridado en ambos extremos (4" D.N, ANSI 600), el cual tiene un elemento filtrante con capacidad para 16,200 NMCH y retención de partículas suspendidas mayores a 3 micras (en cada línea), para monitorear el estado del elemento filtrante se cuenta con un manómetro diferencial, si el manómetro diferencial presenta un lectura de 0.6 Kg/cm² o más entre las presiones de entrada y salida del filtro, indicará que este elemento filtrante se encuentra saturado y está obstruyendo el flujo de gas por partículas captadas, siendo necesario cambiar el elemento filtrante.

Se cuenta con una válvula de descarga a la salida del cuerpo del filtro, instalada en la parte inferior del mismo tanque y una mirilla óptica para visualizar el nivel de líquidos captados en el tanque del filtro.

Válvula reguladora de presión con corte integrado por alta o baja presión.

Una vez filtrado el gas pasa al proceso de regulación, el cual está constituido en cada línea por una válvula reguladora de presión de la marca Emerson del modelo EZHOSX. El sistema de regulación de la estación está integrado por dos líneas independientes, así una de las líneas se encuentra en operación, mientras que la otra línea de regulación se encuentra en monitoreo de la presión, teniendo la opción de dar mantenimiento a cualquiera de las dos líneas sin problemas en el suministra de gas al sistema de transporte. Cada una de las líneas de regulación está diseñada para recibir la presión de trabajo del ducto de PGPB (hasta 75 Kg/cm²) y regularla a 21 Kg/cm², teniendo la opción de que ambas puedan operar como línea principal y/o by pass, manteniendo el flujo en cualquier momento de operación de la estación.

Cada una de las líneas de regulación puede recibir la presión de trabajo del ducto de CENAGAS de hasta 66.58 Kg/cm² que es la presión máxima de la línea del sistema de transporte del CENAGAS, y reducirla a 21 Kg/cm², teniendo la opción de que ambas puedan operar como línea principal y/o by pass manteniendo el flujo en cualquier momento de operación de la estación.

La línea en operación está regulada a 21 Kg/cm² y el corte de suministro por alta presión estará a 23.1 Kg/cm², y el corte por baja presión lo estará a por debajo del valor de presión mínima de salida que en este caso será de 18 Kg/cm². La línea que opera como monitor y/o by pass estará ajustada 20 kg/cm² y el corte por alta presión se calibrará a 24 Kg/cm², y el corte por baja presión lo estará por debajo del valor de la presión mínima de operación que en este caso es de 18 Kg/cm². En esta dinámica si el regulador que se encuentra en operación falla y se eleva la presión al llegar a los 23.1 Kg/cm² se activara el corte, quedando en operación el monitor, controlando la presión a 21 Kg/cm². Si por el contrario la presión baja y llega a 17.5 Kg/cm² se cortará el suministro y tomará el control el regulador que esta como monitor, si la presión baja a menos de 18 Kg/cm² este regulador también cortará el flujo.

Los DTI's de la City Gate y ERM se ubican en los anexos 7.1 Y 10.1, respectivamente.

Medición de flujo.

La estación cuenta con dos tubos de medición, uno de los cuales es una instalación para una medición stand by y quedará cerrado para que su operación sea de forma emergente, después de las válvulas (esfera paso completo, bridas, 6", ANSI 300) colocadas a la entrada y salida de este tubo de medición, quedando en operación solo un tubo de medición para contabilizar el consumo registrado en la estación, en caso de alguna contingencia con el medidor principal, se deberá poner en operación el medidor de respaldo. El medidor de flujo seleccionado es de las siguientes características:

Dimensión	6" D.N.
Extremos	Bridas, ANSI 300#
Pulsos	Alta y baja frecuencia
Rango	1:20
Flujo máximo	1,000 NMCH
Flujo mínimo	50 NMCH

El computador monitorea, registra y calcula simultáneamente las condiciones que afectan la medición del caudal de gas, para estos cálculos y registros el computador recibe señales eléctricas con la información de cada variable:

- **Flujo:** el medidor de flujo (turbina de medición) cuenta con un contador mecánico de flujo y un emisor de pulsos de alta frecuencia, el cual registra el flujo de gas sin corregir.
- **Temperatura:** después de la medición de flujo (a muy corta distancia) se instala un termo pozo sobre la línea de medición y sobre este termo pozo se instala un transmisor de temperatura el cual enviará los datos en forma eléctrica de la temperatura.
- **Presión:** sobre la misma línea de medición (cerca del transmisor de temperatura) se instala una derivación para la toma de presión a través de un transmisor de flujo.

Válvula de venteo.

La válvula de venteo o alivio se colocó en la línea de salida de la estación, se instaló una válvula reguladora de presión, que opera como válvula de venteo o desfogue, para operar de forma correcta se colocó directamente sobre la línea de tubería que descarga de la estación, la operación puede ser monitoreada mediante el árbol de válvulas (de 1/2" d.n.) el cual aloja un manómetro con rango de 0 – 40 Kg/cm², el monitoreo de la presión a la salida de los tubos de medición, evitara daños a los equipos y se intentará mantener las condiciones de operación antes de que actúen los sistemas de corte (slam shut) de la línea de Regulación, presión de ajuste 10% de sobre presión a la operación de la línea de salida de la estación. (23.1 Kg/cm²).

Esta válvula desfogará o ventera el gas de sobre presión intentando mantener las condiciones de presión necesarias para la operación del sistema de transporte, la capacidad de flujo debe ser menor a la de los reguladores reductores de presión que operan sobre la línea, ya que no es la idea desfogar la línea en su totalidad, manteniendo las condiciones de operación ante una falla de sobrepresión, si la falla es una sobrepresión mayor se cortará el flujo una vez que se llegue a la presión a la que fueron ajustados los sistemas de corte por alta presión de la línea de monitoreo.

Los ajustes programados para esta válvula se indicarán en el punto referente a filosofía de operación del sistema de corte por alta o baja presión.

Operación del sistema de corte por fuga.

La finalidad del sistema de corte por alta o baja presión (slam shut) es la de cortar el flujo de gas a la red de distribución en caso de alguna eventualidad o contingencia que provoquen la salida del rango de control (valores del set), provocada por una falla en la regulación que resulte en una sobre presión o una ruptura del gasoducto que lleve a una caída considerable de la misma. Los reguladores están diseñados para mantener la presión de salida deseada al flujo máximo de consumo, si el flujo máximo del regulador es rebasado (ya sea por un sobre consumo o alguna fuga de consideración) la presión corriente aguas abajo de la estación de medición disminuirá, ocasionando que la presión quede fuera del set point del equipo de corte, activando el mecanismo de cierre de flujo.

La línea en operación está regulada a 21 Kg/cm² y los cortes por seguridad estarán ajustados a 18 kg/cm² por baja presión y 24 Kg/cm² por alta presión, mientras que la línea de by pass estará a 20 kg/cm², y los cortes (slam shut) estarán a 18 kg/cm² para baja presión y 25 Kg/cm² para alta presión.

Los sistemas integrados en la válvula de regulación de corte por alta o baja presión (slam shot) tienen integrado un micro switch, el cual está integrado al computador electrónico de flujo y a través de la comunicación con el C.E.F. (Computador Electrónico de Flujo) en caso de activarse los bloqueos de flujo se nos activara una señal alarma puntual, estos bloqueos (slam shot) solo se pueden reactivar (desbloquear) por el operario en forma manual.

Corte por baja presión.

Sugiere una fuga considerable aguas abajo de la estación de transferencia de custodia, al momento de presentarse una fuga de gran tamaño la presión tendera a bajar, por lo que los reguladores trataran de mantener la presión abriendo al máximo su diafragma para compensar el flujo, al rebasar el flujo la capacidad de los reguladores, a no poder mantener las condiciones de operación por la fuga o sobre flujo, la presión aguas abajo de la estación caerá hasta llegar al set point del sistema de corte (18 Kg/cm^2) provocando el corte de flujo de gas a la red de transporte. Por seguridad de la red de transporte el set point del sistema de corte (slam shut) integrado la válvula reguladora de presión se ajusta al 85% de la presión de trabajo, es importante mencionar que la fuga debe ser de grandes proporciones para que se presente la caída de presión y rebase la capacidad de flujo de los reguladores de presión, ocasionando el corte (SS) detecte las condiciones para activarse, el tiempo de cierre del sistema estará determinado por la distancia de la fuga con respecto a la ERM.

Las fugas de bajo volumen, como las que pudieran existir en la unión de bridas, elementos roscados, etc., no son detectadas por el sistema de corte, ya que el flujo de esta fuga queda dentro del rango de operación de los reguladores y no es detectada por el sistema de corte (slam shut), de ahí la programación de monitoreo y detección de fugas en la estación y en ducto de transporte.

Corte por Alta presión.

Sugiere un aumento de presión principalmente por falla de los equipos de regulación censando aguas arriba de la medición. El sistema realizará el corte por alta al detectar un aumento mayor al 15% de la presión de trabajo designada. Lo anterior obedece al interés en proteger los equipos y su entorno por una falla en los reguladores que provoquen que queden abiertos, es decir dejando pasar más presión de la ajustada para trabajo.

Los sistemas de corte también tienen un disparo de emergencia, el cual se puede activar en forma manual, si se llegase a presentar una contingencia en el sistema o alrededor de él, que requiera un paro de suministro de forma rápida para mantener la integridad de la estación o del gasoducto. El mecanismo de corte para desbloquearse requiere de realizarse en forma manual.

El sistema de corte (slam shut) cuenta con un microswitch que envía una señal eléctrica al computador de flujo el cual a su vez enviara una señal de alarma si se activa este mecanismo, también el computador de flujo tiene la capacidad de configurarse para que envíe una señal de alarma si se sobre pasa el flujo determinado dentro de los rangos normales de operación del sistema de transporte de gas natural, o también de presión (baja o alta).

Descripción de áreas identificadas como vulnerables.

GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA.

Características Litológicas del Área

El 56.7% de la microcuenca como sistema ambiental y el 30% del área de influencia por donde pasara la línea de gas natural corresponden a un tipo de roca ígnea extrusiva básica.

El 27.7% no tiene un tipo de roca definida, el 9% es un tipo de roca ígnea extrusiva ácida y solo el 1.2% es conglomerado.

Las rocas ígneas (del latín ignis, fuego) también nombradas magmáticas, son todas aquellas que se han formado por solidificación de un de material rocoso, caliente y móvil denominado magma; este proceso, llamado cristalización, resulta del enfriamiento de los minerales y del entrelazamiento de sus partículas. Este tipo de rocas también son formadas por la acumulación y consolidación de lava, palabra que se utiliza para un magma que se enfría en la superficie al ser expulsado por los volcanes.

Cuando la solidificación del magma se produce en la superficie o a escasa profundidad, la roca resultante se denomina volcánica o extrusiva. (Economía, s.f.)

Un conglomerado es una roca sedimentaria formada por cantos redondeados de gran tamaño (> 2mm), unidos por un cemento o una matriz.

En la composición de los conglomerados intervienen fundamentalmente tres factores: la litología de la zona de alimentación de la cuenca sedimentaria, clima y relieve de la zona sometida a erosión. El clima y la litología determinan que minerales terminarán formando parte del conglomerado, sea por alteración química o disgregación física de las rocas preexistentes.

El relieve determina con qué rapidez se producirá el proceso de erosión, transporte y sedimentación, ya que dependiendo de lo abrupto del terreno así existirá mayor o menor tiempo para que la alteración química de los minerales tenga lugar.

Están constituyen de una cantidad mayor de 50% de componentes de un diámetro mayor de 2mm, son redondeados. Los tipos de los fragmentos pueden variar mucho según cual fuese la composición de la zona de erosión suministradora.

El cementante o matriz, igualmente puede variar, puede constituirse de componentes clásticos, pelíticos y arenosos (matriz) y de material de enlace carbónico o silícico (cemento) que es sustituido posteriormente por la roca al solidificares. Los componentes de los conglomerados son transportados por ríos y/o por el mar.

Tabla 3.- Tipo de roca presente en la microcuenca

TIPO DE ROCA	SUPERFICIE	%
Ígnea extrusiva básica	14592.9	56.7
N/A	7133.1	27.7
Ígnea extrusiva ácida	2318.3	9.0
Ígnea intrusiva ácida	1393.8	5.4
Conglomerado	316.9	1.2
TOTAL	25754.9	100.0

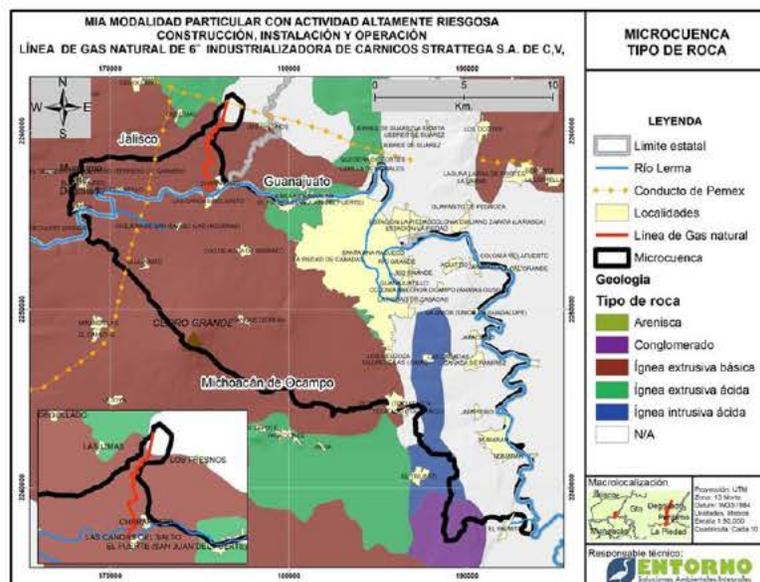


Ilustración 9.- Geología presente en la microcuenca como sistema ambiental

Dentro de la microcuenca destaca como característica geomorfológica principal el denominado "Cerro Grande", ubicado en la parte Oeste de la microcuenca. El pie de monte y valle que forma este cerro, forma el 50% de la microcuenca limitándolo solamente por el río Lerma.

En particular en el área por donde se instalará la línea de gas; se puede mencionar que al norte se ubica el Cerrito de Villaseñor con 1770 msnm y el Cerrito Colorado con 1760 msnm; el paisaje generalizado del área corresponde a un área plana con algunas elevaciones. La depresión principal es el lecho del río Lerma el cual se ubica en la zona sur del área de influencia.

Características Geomorfológicas

Dentro de las características más importantes y relevantes del área de influencia, cabe mencionar que al norte se ubica el Cerrito de Villaseñor con 1770 msnm; dentro del área de influencia se ubica el Cerrito Colorado con 1760 msnm; el paisaje generalizado del área estudio corresponde a un área plana con algunas elevaciones. La depresión principal es el lecho del río Lerma el cual se ubica en la zona sur del área de influencia.

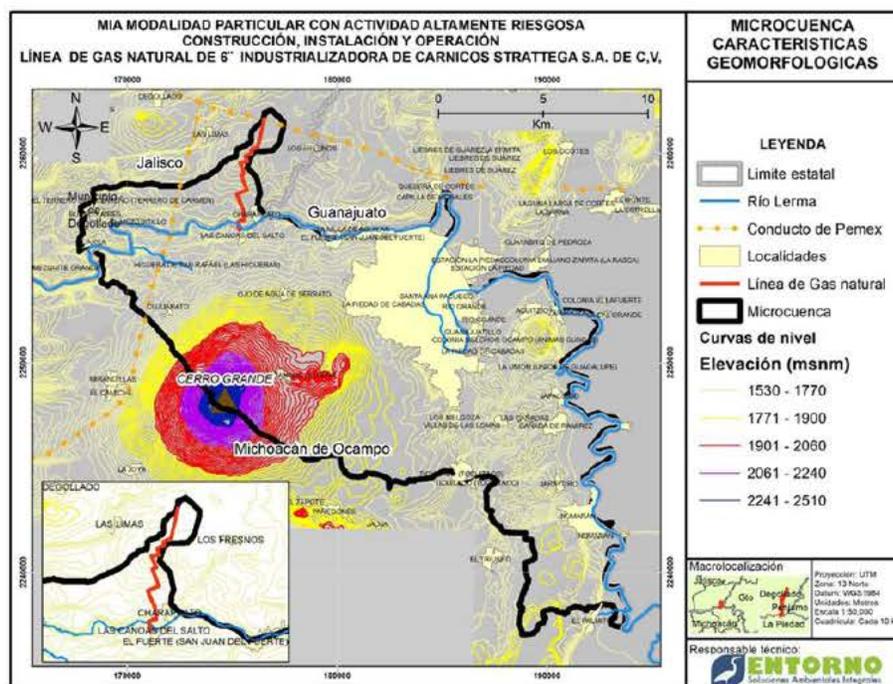


Ilustración 10.- Geomorfología del área de influencia del proyecto. (Elaboración ENTORNOSOAMIN)

Características del Relieve

El sistema ambiental (microcuenca) del proyecto tiene un rango de elevaciones que va de los 1560 metros sobre el nivel del mar en su zona norte y oeste hasta los 2510 msnm en su zona oeste y que corresponden principalmente al Cerro Grande.

Sobre la zona de influencia (área de la línea de gas) la elevación principal es el Cerrito Colorado con una altitud máxima de 1760 msnm. Las altitudes más bajas corresponden al lecho del río Lerma derivado de las depresiones que forma el mismo Río.

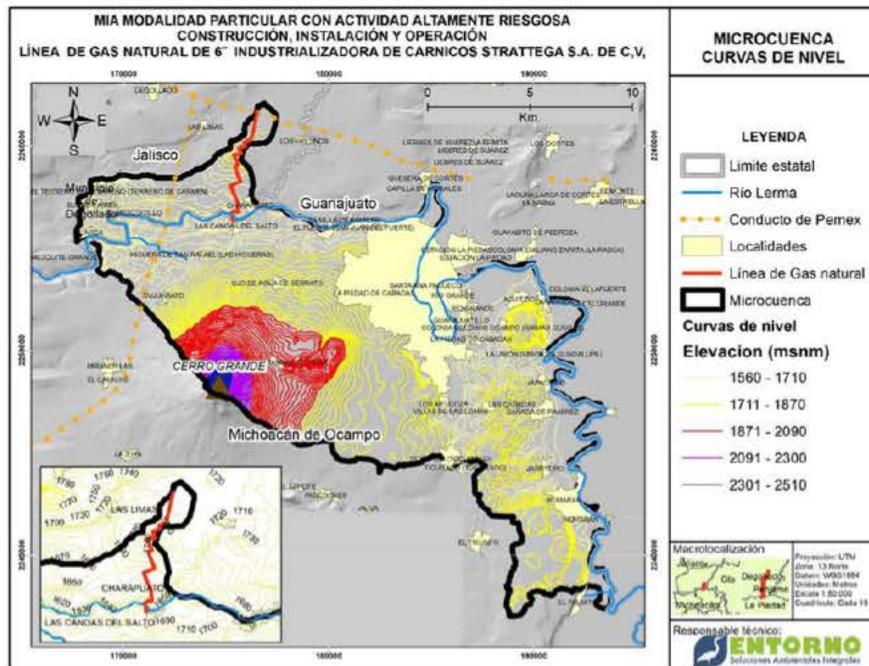


Ilustración 11.- Relieve del área de influencia del proyecto. (Elaboración ENTORNOSOAMIN)

Presencia de Fallas y Fracturamientos

Una falla es una traza del plano de ruptura de la roca, a lo largo del cual se produce un desplazamiento relativo entre los bloques que separa. Una Fractura es una traza del plano de ruptura de la roca sin desplazamiento de los bloques que separa.

Dentro de la microcuenca se encuentra una fractura en el lado Sur de la misma, esta se ubica a 22.6 kilómetros de distancia hacia el sureste de la línea de gas. La falla más cercana se ubica a 6.5 km de distancia hacia el suroeste de la línea de gas, aunque esta falla no se encuentra dentro de la microcuenca.

La fractura dentro de la microcuenca tiene una dirección norte-Sur y una longitud de 24259.62 metros. Tiene su punto de inicio en la comunidad de Numarán, sigue hacia el sur pasando a 1 km de El Palmito, pasa junto a la comunidad de Penjamillo de Degollado y termina a 7.2 km hacia el sur de esta comunidad.

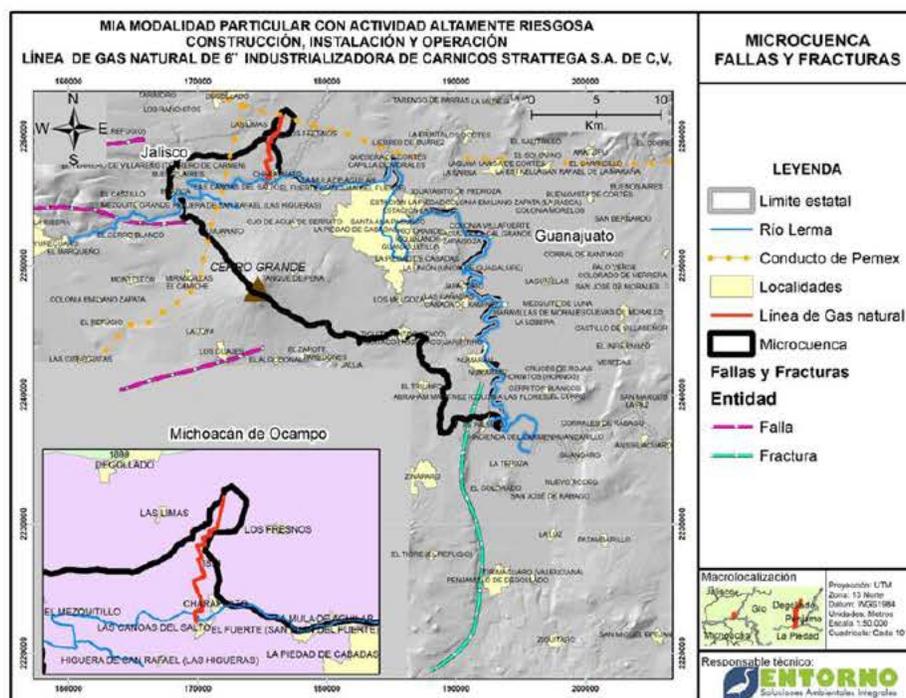


Ilustración 12.- Fallas y fracturas del área de influencia del proyecto. (Elaboración ENTORNOSOAMIN)

Susceptibilidad

De acuerdo con el Inventario nacional de fenómenos geológicos, el área de influencia presenta una susceptibilidad a aparatos volcánicos. Un aparato volcánico es una estructura geológica superficial originada por la emisión de material ígneo que desarrolla diversas formas de acuerdo a las características físicas, composición química y temperatura del material que lo conforma.

Dentro de la microcuenca como sistema ambiental hay dos aparatos volcánicos que le dan susceptibilidad. El primero corresponde al Cerro Grande, el cual es un volcán en escudo y se ubica a 8 km al sur del final de la línea de gas.

También se encuentra El Cerrito Colorado, aparato volcánico de tipo domo de lava, el cual es una estructura volcánica de poca altura, formado por emisiones de lava viscosas que no fluyen por grandes distancias, apilándose sobre y alrededor del centro eruptivo. Este se ubica a 300 m al Este de la línea de gas. Un volcán en escudo es un volcán de grandes dimensiones y está formado a partir de las capas de sucesivas erupciones basálticas fluidas, por este motivo tienen una pendiente suave; los volcanes en escudo tienen erupciones recurrentes que pueden durar millones de años y ciclos.

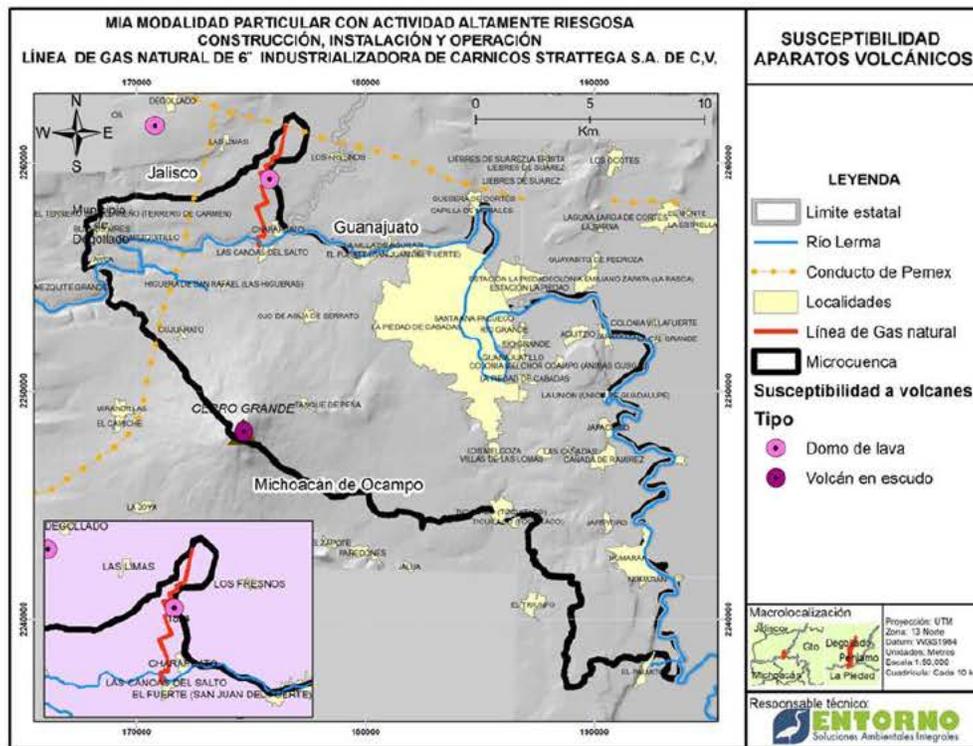


Ilustración 13.- Susceptibilidad del área de influencia del proyecto.

I.3. Hojas de seguridad.

Se anexa hoja de seguridad del Gas Natural.

Anexo 3. Hoja de Datos de Seguridad Gas Natural.

I.4. Condiciones de operación.

I.4.1. Operación.

El proyecto se ubica entre los estados de Jalisco y Michoacán. El punto inicial del ducto se localiza a 4.2 kilómetros al sureste de la ciudad de Degollado, Jalisco a la altura del ejido El Edén, del municipio de Degollado, en las coordenadas 20°25'32.85"N; 102° 5'58.16"O; tiene como inicio la interconexión (instalación de válvula troncal) a realizarse sobre el ducto de 36"D.N. con trayectoria Guadalajara, Jalisco-Valtierrilla, Guanajuato, perteneciente al sistema nacional de gasoductos administrados por el Centro Nacional de Control del Gas Natural (CENAGAS). De la válvula troncal instalada se suministra gas natural a la estación de transferencia de custodia (City Gate); de donde parte la línea del gasoducto de norte a sur, por el derecho de vía de caminos municipales, de la Secretaría de Comunicaciones y Transporte (SCT), de Comisión Nacional del Agua (CNA) y por algunas propiedades privadas, hasta llegar al punto final del gasoducto en el Gabinete de regulación y medición GRM, como punto final del ducto, en la Planta de Industrializadora de Cárnicos Strattega, S. A. De C. V. en adelante, ubicada en las coordenadas 20°22'36.43"N; 102° 6'38.18"O.

El gasoducto comienza en la red del Centro Nacional de Control de Gas Natural (CENAGAS) con coordenadas 20°25'32.85"N; 102° 5'58.16"O (City Gate) y finaliza en las coordenadas 20°22'34.12"N, 102° 6'36.31"O (ERM).

Esta formado por tubería de acero al carbón API 5L X-42 de 6" de diámetro nominal y un espesor de pared de 9/32" enterrado a 1.20 metros de profundidad, y contará con una longitud de 7.27144 Km, conformado por un solo ramal.

A continuación, se dan las especificaciones de diseño con las cuales el ducto operará antes, durante y después de la regulación.

CONDICIONES DE OPERACIÓN	
Flujo	1860.45 Kg/hora
Temperatura de operación	293.15 K
Temperatura máxima de diseño	311.15 K
Temperatura mínima de diseño	283.15 K
Datos de línea de alta presión (Antes de regulación)	
Presión de diseño	7,845.30 KPa
Presión máxima de entrada	6,374.32 KPa
Presión mínima de entrada	2,647.80 KPa
Presión de Operación	2,059.40 KPa
Datos de línea de baja presión (Después de regulación)	
Presión máxima de entrada	3040.10 KPa
Presión mínima de entrada	2059.40 KPa
Presión de Operación	2,059.40 KPa

Los DTI's de la City Gate y ERM se presentan en el apartado Análisis de Riesgo, en los anexos 7.1 y 10.1.

I.4.2. Pruebas de verificación.

Las pruebas que se realizaron durante la operación del ducto son:

- Verificación de funcionamientos de dispositivos de seguridad (protección catódica, recubrimientos, señalamientos, estaciones de regulación y medición y distribución y válvulas de alivio o seguridad, entre otros).
- Pruebas hidrostáticas de gasoducto para verificar hermetismo del sistema.
- Verificación de válvulas de seccionamiento (funcionalidad y fugas).
- Pruebas de funcionalidad (condiciones de operación: presiones, temperaturas, flujos, entre otras)

Prueba Hidrostática: La prueba hidrostática permite comprobar la integridad de los materiales e identificar cualquier fuga. Asimismo, se provee una tolerancia para cambios de presión durante el ensayo a fin de asimilar las variaciones en la temperatura del medio ambiente. Esta prueba consiste en presurizar la tubería en tramos. La prueba neumática se realizará a una presión de 1,500 psig por al menos 24 horas. Se tomarán las medidas necesarias para prevenir la entrada de material extraño a la tubería.

El equipo para la prueba incluyó un registrador de presión y temperatura, se debió mostrar evidencia documental a la empresa promovente, de que el equipo registrador fue debidamente calibrado. Los métodos y requerimientos para las pruebas de presión hidrostática cumplirán como mínimo con lo establecido en la NOM-007-SECRE-2010.

Prueba Radiográfica: En cumplimiento a la NOM-007-SECRE-2010 y parte 192.241 y 243 de los Estándares mínimos de seguridad del U.S. Department of Transportation, y ASME B31.8 826, se realizaron las siguientes pruebas radiográficas:

- 100% de las soldaduras de campo.
- 100% de las soldaduras en los cuadros de medición/regulación.
- 100% de las soldaduras en las estaciones de bombeo.
- 100% en la interconexión con las Terminales.

Ya efectuadas estas pruebas, que determinan la adecuada construcción del ducto, conforme a las especificaciones de diseño y en apego a la normatividad de PEMEX, CRE y Secretaría de Economía, se continúa con un procedimiento para el mantenimiento y operación normal del gasoducto.

Se cuenta con los procedimientos para el manejo del ducto del responsable de la operación y mantenimiento (PGPB), que tiene como objeto que la operación del ducto se realice de manera segura y funcional, estos consideran como mínimo, lo siguiente:

- La operación, mantenimiento y reparación de tuberías, válvulas y accesorios en forma periódica, considerando:
 - a) Establecer, implementar y cumplir programas de vigilancia, inspección y mantenimiento periódico.
 - b) Establecer planes e instrucciones por escrito para los trabajadores que cubran los procedimientos de inspección, mantenimiento y reparación del sistema de tuberías.
 - c) Establecer un plan para el control de la corrosión interior y exterior en los sistemas de tuberías, conforme a lo estipulado en el punto 8 de este manual.
 - d) Tener por escrito un plan de emergencia, con el propósito de ponerlo en marcha en caso de fallas del sistema, accidentes y otras emergencias, así como familiarizar a los trabajadores con las secciones aplicables del plan.
 - e) Revisar periódicamente los planes de inspección, mantenimiento y reparación de acuerdo al conocimiento de las condiciones topográficas, ambientales, sociales y de operación de los sistemas de ductos, con la finalidad de realizar los cambios oportunos a dichos planes para preservar la integridad y la seguridad del sistema de ductos.
 - f) Establecer una vigilancia periódica (celaje) que cumpla con la normatividad señalada en el punto 5 del presente manual y que incluya la presentación de informes escritos sobre actividades, especialmente en áreas industriales, comerciales, residenciales y en cruces con ríos, ferrocarriles y carreteras, a fin de dar protección adicional a la población y evitar daños al ducto. Se deberá contar con los recursos y medios de comunicación necesarios para garantizar una operación segura del sistema de ductos, ya sea en condiciones normales o en emergencia. Estos medios deben estar ligados a la autoridad local, con el fin de coordinarse y atacar conjuntamente una emergencia y conocer los proyectos de construcción que afecten a los ductos.

- El control de la corrosión de tuberías de acero para el transporte de gas natural, tal y como se describen en el manual.
- Las especificaciones de construcción, planos y datos históricos de las operaciones deben ponerse a disposición del personal operativo responsable del mantenimiento.
- Documentación histórica de cada ducto. Se debe mantener un historial de los reportes de cada inspección de fugas, vigilancia de la línea, fuga descubierta, reparación realizada y consecuencias de la ruptura, por el tiempo que el tramo de la tubería de transporte involucrada permanezca en servicio, así como la documentación relativa al diseño, construcción, operación y mantenimiento.

La documentación que comprenda la recolección de datos para el reporte de incidentes debe realizarse conforme a los procedimientos de evaluación de incidentes/accidentes establecidos como Procedimientos de emergencia y que se enlistan a continuación:

- a) El establecimiento del alcance de aplicación de los procedimientos de emergencia.
- b) La descripción detallada de las instalaciones a las cuales aplica el procedimiento, que incluya:
 - La localización y los medios de acceso a las instalaciones, y
 - La cantidad, longitud y diámetro de las tuberías involucradas.
- c) La descripción de la presión, rango de flujo y otras condiciones de operación de la tubería.
- d) Los procedimientos y documentación necesaria para las emergencias.
- e) Instructivos descriptivos que se facilitan a las personas que reportan las emergencias.
- f) La acción inicial a tomar ante la aparición de una emergencia.
- g) Los nombres y teléfonos del personal de los departamentos con los cuales se debe contactar en caso de una emergencia y las responsabilidades que les competen.
- h) Los nombres y teléfonos de los servicios públicos y de otros sectores involucrados en la Dirección de Protección Civil, o de ayuda mutua a los que se podrían contactar en caso de una emergencia.

- i) La descripción de los equipos de emergencia disponibles y su localización.
- j) Los procedimientos que se utilizarán en el sitio de la emergencia.
- k) Las medidas de seguridad que se toman durante la emergencia, que incluyen:
 - Acciones tomadas sobre el producto que fuga y que se transporta por tuberías;
 - Aislamiento y procedimientos de paro de las estaciones de compresión, yLos métodos para monitorear el nivel de riesgo en el sitio.
- l) La lista de las áreas ambientalmente sensibles que requieran atención especial durante la emergencia.
- m) Los planes de contingencias para la protección inmediata del ambiente, y
- n) Los procedimientos de evacuación.

Para mayor seguridad y eficiencia, a continuación, se enlistan los planes y procedimientos que se deberán actualizar anualmente en cumplimiento a la norma, considerando su vinculación con las autoridades competentes.

- El arranque y paro de cualquier parte del sistema de transporte.
- El mantenimiento de las estaciones de compresión, regulación y medición.
- El arranque, operación y paro de las unidades de compresión, regulación y medición de gas natural.
- La revisión periódica del trabajo realizado por el personal para determinar la efectividad y aplicabilidad de los procedimientos utilizados en la operación y mantenimiento normales. Cuando se encuentren deficiencias en su aplicación, deben modificarse los procedimientos.
- Las precauciones que deben tomarse en las zanjas excavadas para proteger al personal del riesgo en caso de presencia de gas o de acumulación de vapores y poner a su disposición el equipo de rescate de emergencia.
- Inspección y pruebas periódicas del equipo de limitación de presión para determinar que se encuentre en condiciones seguras de operación y con la capacidad adecuada.

Se presentan los reportes de las pruebas de verificación correspondientes para el ducto (hidrostáticas, catódicas y no destructivas) en el anexo 4.

Anexo 4. Reportes de las Pruebas de Verificación.

I.5. Procedimientos y medidas de seguridad.

Los procedimientos y medidas de seguridad que se aplicarán durante las etapas de operación del consisten en la adopción de las siguientes bases de diseño y procedimientos para el manejo del combustible identificado como gas natural condensado, que es la única sustancia o material peligroso que se transporta por este ducto.

- Sistema de Seguridad y Monitoreo

Como parte del sistema de seguridad, tanto el cuerpo del ducto, como la City Gate de interconexión y la ERM, son monitoreadas con el Sistema Automático de Supervisión, Control y Monitoreo de Condiciones Operativas (Supervisory, Control and Data Acquisition, SCADA) y de telecomunicaciones, y son diseñados para abarcar las entregas de gas natural; su diseño permite cumplir con los requisitos de flujo máximo diario del sistema.

Un SCADA es un sistema basado en computadores que permite supervisar y controlar a distancia una instalación de cualquier tipo. Este ducto cuenta con un sistema de monitoreo y control SCADA y un sistema de accionamiento automático de válvulas para interrumpir el flujo en cualquier tipo de emergencia. Este sistema detecta y ubica automáticamente fugas mínimas del flujo total operativo del ducto en el menor tiempo posible, supervisa y coordina las operaciones del ducto de manera integral y segura, por lo que es posible verificar las condiciones de operación (presión y temperatura) del equipo instalado.

- Sistema de protección contra la corrosión.

La tubería de acero que conduce gas natural, está expuesta a los efectos de la corrosión externa (destrucción del metal por la acción electroquímica de ciertas sustancias) como consecuencia del proceso electroquímico que ocasiona el flujo de iones del metal de la tubería al electrolito que la rodea.

Para reducir este efecto, es necesario ejercer un control de los factores que influyen en el proceso de corrosión, donde la adecuada selección del material de la tubería y la aplicación de los recubrimientos son los primeros medios utilizados para evitar dicho daño. La función del recubrimiento es aislar la superficie metálica de la tubería de los agentes agresivos que estén presentes en el medio que la rodea.

La protección que se instaló para evitar la corrosión de las tuberías y de las casetas de medición y regulación fueron de dos tipos: mecánica y catódica.

Protección mecánica: Para el control de corrosión externa, la tubería cuenta con un recubrimiento epóxico, cumpliendo con las especificaciones de la Asociación Nacional de Aplicadores de Recubrimientos de Tubería (National Association of Pipe Coating Applicators, NAPCA) y será realizado en planta del fabricante (página Web: <http://www.napca.com>), sólo se cubrirán en el sitio los accesorios y las soldaduras de campo.

Toda la tubería de acero requiere protección contra la corrosión, por lo que requiere protección mecánica y protección catódica. En el caso de la tubería aérea de las casetas de medición y regulación están protegidas con protección primaria y acabados adecuados para el ambiente de la zona. Las casetas son prefabricadas y están pintadas en la planta del fabricante.

La protección que se instaló para evitar la corrosión de las tuberías expuestas en el área de casetas de medición y regulación será mecánica.

Protección catódica: La protección catódica es el procedimiento electroquímico para proteger las estructuras metálicas enterradas o sumergidas contra la corrosión exterior, el cual consiste en establecer una diferencia de potencial para que convierta a las estructuras metálicas en cátodo mediante el paso de corriente directa proveniente del sistema seleccionado.

Existen dos tipos de sistemas de protección catódica, los cuales pueden emplearse en forma individual o combinada:

- a) Ánodos galvánicos o de sacrificio.
- b) Corriente impresa.

El sistema de protección es a base de **corriente impresa** y las fuentes de energía están telemedidas y/o telecontroladas por lo que su inspección será por lo menos 6 veces cada año calendario, pero a intervalos que no excedan 2 ½ meses; para el caso de fuentes convencionales o no monitoreadas la inspección se realizará semanalmente.

Para tal efecto, se registrarán las condiciones de operación, así como cualquier ajuste operacional en el voltaje y/o corriente de salida. En caso de que una fuente falle y esto resulte en una condición insegura, se deben llevar a cabo las medidas correctivas cumpliendo con los códigos, reglamentos y normas.

- Inspección de soldadura.

Una vez finalizada la soldadura, se realiza una radiografía de cada una de las uniones con un equipo especial que permite detectar la existencia de posibles defectos y repararlos antes de enterrar la tubería. GNU Gas Natural ejercerá un control continuo del trabajo de soldadura e inspeccionará visualmente la calidad de todas las soldaduras. Por tratarse de tubería de acero será necesario realizar pruebas hidrostáticas. Asimismo, efectuarán las pruebas radiográficas (con 100% de radiografiado) a la tubería, como se especifica a continuación.

- a) Pruebas destructivas: GNU Gas Natural efectuará pruebas destructivas para la calificación del procedimiento de soldadura de la tubería de acero. Las pruebas destructivas se efectuarán con el uso de una máquina de pruebas de tensión para aplicar tensión y dobléz a probetas en el sitio de pruebas. En caso necesario se solicitará a un laboratorio la prueba de calidad de una soldadura de prueba. Las probetas serán tomadas en el área de pruebas por el contratista.

Cada prueba incluirá algunas de las siguientes, de acuerdo a los requerimientos de las normas:

- ~ Pruebas de tensión.
 - ~ Pruebas de ruptura por penetración.
 - ~ Pruebas de dobléz de la raíz para el espesor de pared de los tubos de ½ pulgada o menos.
 - ~ Prueba de dobléz de cara para el espesor de pared de los tubos de ½ pulgada o menos.
- b) Pruebas no destructivas: Los soldadores fueron calificados por medio de pruebas no destructivas (radiografiado) de acuerdo a lo establecido en la especificación API Standard 1104. En el caso del punto de interconexión con el Ducto Propiedad de PGPB, las soldaduras serán 100% radiografiadas. Con base en el Título 49 Parte 192.243 y la NOM-007-SECRE-2010, en toda la tubería de acero se llevó a cabo 100% de radiografiado con Localización de Clase 3. En el caso de la caseta del usuario se llevó a cabo 100% de radiografiado.

Las pruebas no destructivas en soldaduras se realizaron de acuerdo con procedimientos escritos, y por personas capacitadas y calificadas en la aplicación de los procedimientos, así como en el manejo del equipo utilizado en las pruebas.

- Recubrimientos.

La tubería suministrada cuenta con recubrimiento a base de esmalte. Todos los recubrimientos de protección externos deberán estar de acuerdo con las especificaciones NAPCA (National Association of Pipe Coating Applicators).

Para el control de corrosión externa, la tubería está recubierta con un recubrimiento mecánico a base de Cintas Polyken de acuerdo a lo establecido en los estándares de la Asociación Nacional de Aplicadores de Recubrimientos de Tubería (National Associated of Pipe Coating Applicators) y será realizado en campo.

El tubo recubierto sobre la zanja fue limpiado con un cepillo de alambre, se aplicó un primario y se recubrió con cinta plástica anticorrosiva (Polyken). Se requirió de una capa de primario y una cubierta de cinta en cada unión por soldadura, así como en puntos de la tubería donde se hubiese dañado el recubrimiento.

La protección mecánica se aplicó en un sistema de cintas anticorrosivas marca POLYKEN, consistente en la aplicación de un primer 1027 por medios manuales con brocha de pelo, a razón de 0.300 L/m, para iniciar la aplicación de la cinta Polyken el recubrimiento debe estar seco, pegajoso al toque, enseguida, se aplicará manualmente o con equipo una cinta de polietileno de alta densidad anticorrosiva 980-15 color negro de 6" de ancho embobinada con un traslape del 20%, como protección final, se aplicará una cinta de polietileno de mediana densidad 955-15 de 6" de ancho color blanca usando los mismos métodos y traslape de la anterior. Ambas con un espesor de 15 mm cada una, resultando un espesor final de 30 mm, la vuelta final de cinta debe aplicarse a mano sin tensión. El ángulo espiral de aplicación debe ser uniforme, sin giros o torsión. La vuelta de esta envoltura exterior nunca debe ser aplicada directamente sobre el tope de la vuelta interna.

Los procedimientos de inspección de campo serán auditados para asegurar el cumplimiento de la norma ANSI/ASME B31.8, auditando los siguientes puntos:

- Utilización de procedimientos aprobados de radiografía.
- Utilización de procedimientos aprobados para ultrasonido.
- Personal calificado para todos los ensayos no destructivos.
- Identificación de todas las fallas y requerimientos de reparación de soldaduras y confirmación de los procedimientos aprobados.

Los sistemas de seguridad para la City Gate y la ERM, se encuentran en los anexos 7.6 y 10.6, respectivamente.

I.6. Análisis y Evaluación de riesgos.

I.6.1. Antecedentes e incidentes.

Para establecer de forma metodológica y técnica los riesgos por la distribución y la operación de los ductos y de la estación de distribución de gas natural, es considerado muy importante basarse en datos estadísticos de eventos pasados. La visualización de eventos catastróficos pasados puede ser tomada como referencia para la prevención de eventos que puedan dañar a las personas, infraestructura cercana y el ambiente. Se investigaron accidentes en diferentes bases de datos para realizar un análisis integral.

Es una base de datos que tiene compilados más de 25,700 accidentes industriales que involucran materiales peligrosos o bienes peligrosos que han ocurrido alrededor del mundo en los últimos 90 años. El principal objetivo de esta base de datos es aprender de los eventos ocurridos en el pasado para poder tomar medidas preventivas contra accidentes.

De los 25,700 accidentes contenidos contienen un resumen haciendo la base de datos existente adecuada para el análisis de riesgo, manejo del riesgo, prevención del daño y estadísticas. Los resúmenes son muy accesibles, para que hasta los más complejos accidentes sean entendibles.

A continuación, se presenta un caso de la base de datos que se asemeja al del presente proyecto:

ANTECEDENTE 1.

Año	1994
Resumen	Debido a fallas en la operación, una línea de operación de gas tuvo una fuga, causando ignición seguido de una explosión, fuego y al menos 66 casualidades.
País	Estados Unidos de América
Actividad	Distribución de gas natural
Localización	Estación de distribución
Causa	Falla en la operación
Fatalidades/ Heridos	1/65-66

Sucesos o acontecimientos: Bloqueo de sistema, colisión, dispersión/propagación, emisión de polvo, evacuación, explosión, fuego, combate del fuego por parte de los bomberos, respuesta de emergencia, trabajo preparatorio, operaciones humanas, falla en la operación, sobrellenado/sobrecarga, penetración/punción, liberación, remoción, medidas de seguridad, emisión de olor, acción errónea.

Sucedió en los Estados Unidos de América en el año de 1994. En un ducto de distribución de gas, debajo de las instalaciones de una casa de retiro. El accidente se debe a una excavación inadecuada, no había una persona competente que inspeccione las actividades que se estaban realizando en el sitio, y una protección inadecuada del ducto. Se excavó el suelo contaminado con una retroexcavadora, cuando la pared del suelo colapsó.

En los errores de diseño no se contaba con una válvula de exceso de flujo y una válvula de detección de gas.

El evento constó que a las 18:45 horas, un ducto de 51 mm de diámetro fue expuesto durante una excavación. A unos 1.5 m del muro norte de una casa de retiro. El ducto liberó gas a 379 KPa. Este flujo estuvo abriéndose paso en los cimientos de la casa de retiro hasta llenar los espacios del cuarto de maquinaria. Luego migró hasta pisos superiores por las rendijas dispuestas para instalación eléctrica, la tolva para la basura y tubos de escape. Al mismo tiempo una retroexcavadora se encontraba removiendo suelo contaminado con combustible, y detectó la fuga del edificio. Una señora gritó al operador de la retro que existía un olor penetrante a gas, lo que hizo a los trabajadores revisar el cuarto de máquinas que rápidamente se dieron cuenta del olor penetrante a gas que quitaba el aliento.

Inmediatamente apagaron la máquina y marcaron a la compañía de gas y a los encargados, también al 911 sin mucho éxito. (18:49). A las 18:52 la compañía de gas recibió una segunda llamada, dado que el encargado no dijo que había una amenaza eminente la compañía de gas no notificó al servicio de bomberos o protección civil. Llamaron al encargado de mantenimiento de la casa de retiro para que se encargara de encontrar la parte trasera del ducto y así poder cerrar la válvula, la encontraron en la parte norte del estacionamiento, pero no pudieron cerrarla, porque no tenían las herramientas necesarias para operar la válvula que se encontraba debajo del suelo.

A las 18:58 el gas dentro del edificio fue prendido debido a una de las diferentes fuentes comunes de un apartamento, como podrían ser arco eléctrico que se crean cuando un equipo electrónico es prendido/apagado. Los trabajadores mencionan que después de 5 minutos de la primera explosión hubo una segunda, que se observó fuego en el edificio.

Un trabajador del ducto estaba a 2 cuadras del accidente escuchó el accidente y vio la nube de polvo levantarse por los aires. El trabajador llegó a las 19:03 al área del accidente. Un minuto después y en coordinación con la agencia de bomberos junto con los trabajadores se aprobó que se cerrara el ducto de gas.

Los trabajadores se abrieron paso por los escombros hasta la parte trasera del edificio, donde una fuga de gas alimentaba al fuego en el cuarto de maquinaria. Fueron capaces de encontrar la válvula de apagado y se cerró a las 19:45.

Como medida precautoria se cerraron las líneas de servicio de gas, el fuego en el cuarto de maquinaria se extinguió debido a falta de alimentación.

La compañía tuvo que pagar una multa debido a la infracción de 3 violaciones:

1. Los trabajadores fueron expuestos a peligro debido a que estaban en la pala de una retroexcavadora para entrar a una excavación con una profundidad de 3-3.5m
2. No se tenía una persona competente en el sitio para la adecuada inspección de materiales, equipos, y no se estaban tomando medidas para reducir los riesgos.
3. La compañía no protegió de manera adecuada el ducto.

Conclusiones:

- La fatiga no fue un factor influyente
- Las drogas o alcohol no fueron analizados en los trabajadores
- Por la presión que estaba ejerciendo la retroexcavadora en el suelo, causo el movimiento del ducto lo que ocasionó que se separa en una junta de compresión.
- La respuesta conjunta fue efectiva y rápida
- El accidente pudo haber sido evitado mediante la revisión adecuada del sitio.
- La empresa de gas perdió credibilidad dado que dentro de sus procedimientos no está el revisar las excavaciones inusuales, aunque signifiquen una amenaza para el ducto.
- Las consecuencias se redujeron dado que el operario llamó a los bomberos y al 911
- Durante la explosión los operarios no evacuaron a los residentes de la casa de huéspedes dado que no estaban capacitados para este tipo de acciones.
- Las consecuencias hubieran sido menos si el detector de gas dentro de la casa hubiese funcionado.

ANTECEDENTE 2.

El 10 de diciembre del 2012 a las 12:41 pm hora este estándar, un ducto interestatal de 20 pulgadas, de la compañía "Columbia gas Transmission Company", se rompió cerca de un área con una densidad de población importante, a 106 pies al oeste de la interestatal 77.

Alrededor de unos 20 pies del ducto fue separado y lanzado desde el subsuelo aterrizando a unos 40 pies de su ubicación original, según el propietario de la tubería la presión máxima con la que se manejaba era de 1000 psi y a la hora del suceso era de 929 psi.

El ducto fue instalado en 1967 y se aplicó en un área 2, esto es decir que 200 metros alrededor de cada lado del centro de la tubería estaban programados 10-46 edificios destinados a la ocupación habitacional. El ducto estaba protegido con polímeros contra la corrosión y tenía protección mediante una resistencia eléctrica.

La fractura fue localizada en la base del metal. La superficie exterior del ducto estaba altamente corroída cerca del punto medio de la ruptura y a lo largo de la fractura longitudinal. El área corroída tenía una longitud de 6 pies de largo y 2 pies de ancho en dirección de la circunferencia. La medida mínima del ancho de la pared del tubo era de 0.078 in, lo que indica que había perdido un 70% del ancho inicial.

El gas natural a presión fue prendido. Los daños del fuego se extendieron 1,100 pies a lo largo de la extensión del ducto y 820 pies a lo ancho. 3 casas fueron completamente destruidas y muchas otras dañadas. No hubo fatalidades, sin embargo, la interestatal 77 fue cerrada por 19 horas hasta que 800 pies de carretera fueran reemplazados. En la siguiente imagen se muestra la foto de las consecuencias causadas por la explosión del ducto. Se muestra el flujo del gas en el suelo y los daños que alcanzaron a la carretera.



Ilustración 14. Radio de la explosión en el Antecedente 2.

En la siguiente imagen se mostrará la vista aérea y los daños que causo a las carreteras cercanas a la explosión del ducto.

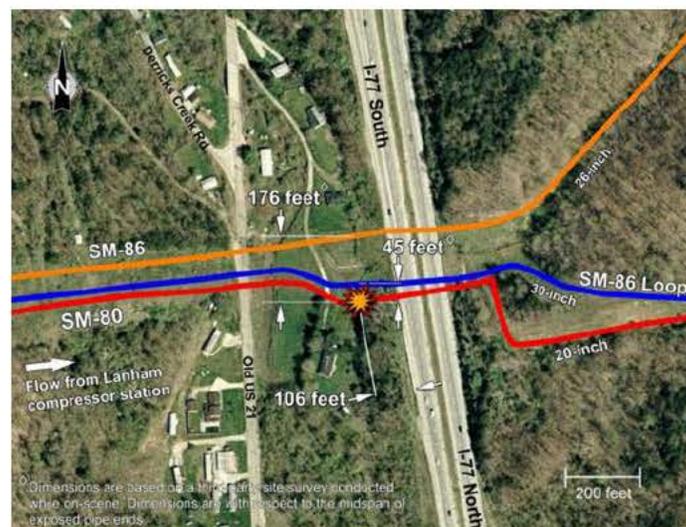


Ilustración 15. Vista aérea de la explosión.

Se muestra la sección eyectada del ducto, se muestra el flujo del aire la escala y las dimensiones de las grietas en el tubo a lo largo y a lo ancho. Se muestra el flujo del gas a lo largo de la sección.



Ilustración 16. Parte del ducto eyectado a presión.

En la siguiente imagen se muestra la corrosión a lo largo del tubo, esto viéndose reflejado en la reducción del ancho de la pared del tubo.



La diferencia de corrosiones a lo largo del tubo se debe a que ni el revestimiento no se hizo de manera adecuada ni la protección catódica.

El comité de transporte seguro de los estados unidos determino las probables causas de la ruptura del ducto:

- Corrosión externa de la pared del ducto debido a mal revestimiento y una protección catódica inefectiva.
- El ducto no era probado desde 1988. Sumado a la superficie rocosa alrededor del revestimiento del ducto.
- Mal control de alertas, sumado a que no se tenía un cierre automático o remoto de válvulas.

ANTECEDENTES ALREDEDOR DEL MUNDO.

Se presenta una tabla con los accidentes que involucran algunos derivados del petróleo y fueron registrados por el UNEP desde el año de 1977 al 2000.

Fecha	País y situación	Origen del accidente	Productos involucrados	Número de			
				Muertos	Lesionados	Evacuados	
1970	8.04	Japón, Osaka	Explosión en un subterráneo	Gas	79	425	
	05.12	EUA, Linden, NJ	Explosión de nube de vapor	C ₁₀ HC	-	40	
	17.12	Irán, Agha Jari	Explosión	Gas natural	34	>1	
1972	22.01	EUA, San. Luis	Explosión (transporte ferroviario)	Propileno	-	230	>100
	30.03	Brasil, Duque de Caxias	Falla en el proceso	Gas LP	39	51	--
	1.07	México, Chihuahua	Explosión (transporte ferroviario)	Butano	>8	800	--
1973	10.02	EUA, State Island	Explosión	Gas	40	2	--
	-	Checoslovaquia	Explosión	Gas	47	-	-
1974	29.04	EUA, Eagle Pass	Transporte ferroviario	Gas LP	17	34	-
	19.07	EUA, Decatur	Transporte ferroviario	Isobutano	7	349	-
	21.09	EUA, Houston	Explosión (transporte ferroviario)	Butadieno	1	235	1 700
1977	03.04	Umm Said, Qatar	Incendio	Gas LP	7	13	
1978	2.03	Canadá, Ontario	Tubería	Gas LP	-	-	20 000
	11.07	España, San Carlos	Transporte carretero	Propileno	216	200	-
	15.07	México, Xilatopec	Explosión (Transporte carretero)	Gas	100	200	-
	2.11	México, Sanch. Maqal	Explosión en tubería	Gas	41	32	--
1979	8.01	Irlanda, Bahía Bantry	Explosión (transporte marino)	Acetileno, gas	50	--	--
	02	Polonia, Warsaw	Fuga, explosión	Gas	49	77	--
	1.10	Grecia, Bahía Suda	Explosión (transbordador)	Propano	7	140	-
	11.11	Canadá, Mississauga	Explosión (transporte ferroviario)	Cloro, Gas LP	-	-	226 000
1980	18.08	Japón, Shizuoka	Explosión	Metano	15	222	-
	24.11	Turquía, Danaciobasi	Uso / aplicaciones	Butano	107	--	--
	29.11	España, Ortuella	Explosión	Propano	51	90	-
1982	5.03	Australia, Melbourne	Transporte	Butadieno	-	>1 000	-
	25.04	Italia, Todi	Explosión (uso / aplicación)	Gas	34	140	--
1983	05	Egipto, Rio Nilo	Explosión (transporte)	Gas LP	317	44	-

Fecha	País y situación	Origen del accidente	Productos involucrados	Número de			
				Muertos	Lesionados	Evacuados	
1984	16.08	Brasil, Rio de Janeiro	Fuga y fuego en plataforma	Gas	36	19	--
	19.11	México, San J. Ixhuatlepec	Explosión (esferas de almacenamiento)	Gas LP	>500	2500	>200 000
	12	Paquistán, Gahri Dhoda	Explosión en tubería	Gas	60	--	-
1985	25.12	México, Cárdenas	Fuga (tubería)	Gas	-	2	>20 000
1988	6.07	RU, Mar del Norte	Explosión, fuego (plataforma)	Aceite, gas	167	-	-
	22.10	China, Shanghai	Explosión en refinería	Petroquímicos	25	17	--
	31.11	Bangladesh, Chittagong	Explosión	Vapores inflamables	33	--	--
	1.12	China	Explosión	Gas	45	23	--
1989	4.06	URSS, Acha Ufa	Explosión en tubería	Gas	575	623	--
	23.10	EUA, Pasadena	Explosión	Etileno	23	125	1 300
1990	9.04	*EUA, Warren	Explosión y fuego	Butano			
	16.04	India, cerca de Patna	Fuga, accidente en transporte	Gas	100	100	
1990	9.04	*EUA, Warren	Explosión y fuego	Butano			
	16.04	India, cerca de Patna	Fuga, accidente en transporte	Gas	100	100	
	22.07	Corea, Ulsan	Explosión	Butano			>10 000
	25.09	Tailandia, Bangkok	Accidente en el transporte	Gas LP	>51	>54	
	3.11	*EUA, Chalmette	Explosión en una refinería	Nube de gas inflamable			
	5.11	*India, Naqothane	Fuga	Etileno y propano	32	22	
	25.11	*EUA, Denver	Fuego (almacén de combustible en el aeropuerto)	Keroseno			
	30.11	*Arabia Saudita, Ras Tan.	Fuego en una refinería	Keroseno y benceno	1	2	
1991	30.05	*Francia, Berre-L'Etang	Fuga (planta química)	Etileno		4	
	24.09	Tailandia, Bangkok	Explosión	Gas	>63		
	3.11	*EUA, Beaumont	Fuego en una refinería	Hidrocarburos			
	.11	India, Medran	Accidente en el transporte (fuga)	Líquido inflamable	93	25	
	29.12	México, San Luis Potosí	Fuga	Butano		40	
1992	23.02	Corea, Kwangju	Explosión en un almacén de gas	Gas LP		16	20 000
	22.04	*México, Guadalupe	Explosión en drenaje de la ciudad	Hidrocarburos, gas	>206	>1500	6500
	8.08	Turquía, Corlu	Explosión	Metano	32	64	
	8.10	*EUA, Wilmington	Fuga (refinería)	Hidrocarburos, hidrógeno		16	
	9.11	*Francia, Chateaufeuf.L.	Fuga (refinería)	Propano, butano, nafta	6	1	

Fecha	País y situación	Origen del accidente	Productos involucrados	Número de			
				Muertos	Lesionados	Evacuados	
1993	7.01	Corea del Sur, Chongju	Fuego	Gas LP	27	50	
	6.08	China, Shenzhen	Explosión en una bodega	Sustancias químicas, gas	>12	168	
	28.09	Venezuela, Tejerías	Explosión del alcantarillado	Gas	53	35	
	11.10	China, Baohe	Explosión	Gas natural	70		
1994	30.03	*Francia, Courbevoie	Fuga	Gas	1	59	
	7.12	Corea, Seoul	Explosión en el centro de la ciudad	Gas natural	7	50	>10 000
	14.12	Mozambique, Palmeira	Accidente en el transporte	Gas	36		
	28.12	Venezuela	Explosión en una tubería		50	10	
1995	28.04	Corea, Taegu	Construcción en transporte subterráneo	Gas LP	101	140	>10 000
	24.10	*Indonesia, Cilapcap	Fuego, explosión en una refinería	Gas			
1997	26.01	*EUA, Martinez	Fuego y explosión	Hidrocarburos	1	60	
	22.06	*EUA, Deer Park	Explosión de una nube de vapor	Hidrocarburos		1	
1998	14.02	Camerún, Yaoundi	Accidente en el transporte	Productos petróleo del	220	130	
	00.00	Nigeria*, Jesse	Explosión en oleoducto (por ordeña)	Productos petróleo del	700		
2000	07.07	Rusia***, Omsk, Siberia	Incendio (estación de gas) y explosión	Gas, petróleo	3	85	
	07.11	Nigeria*, Abuja	Explosión en oleoducto (por ordeña)	Productos petróleo del	250		

A continuación, se presentan una gráfica con la relación de las fallas típicas encontradas en la industria de transporte de gas natural dentro de la EE.UU.

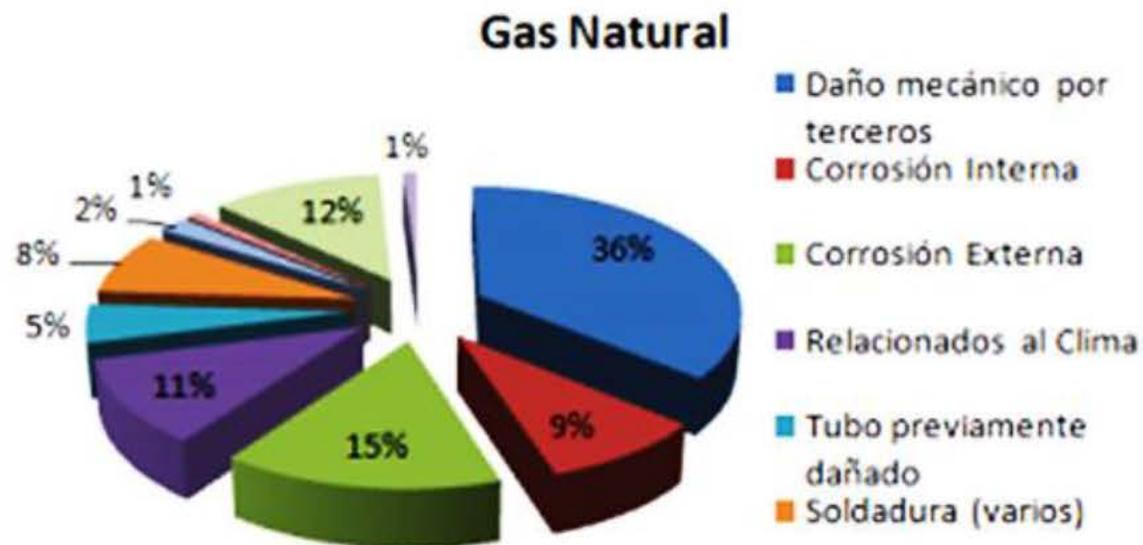


Ilustración 17. Relación en porcentaje de fallas típicas en EE.UU. de transporte de gas natural. Fuente: Metodología para estimar umbrales de daño y periodos de inspección óptimos en los sistemas de ductos terrestres.

Como se puede apreciar los daños mecánicos por terceros son la principal razón de fallas en los ductos de gas natural, la segunda causa es la corrosión externa.

A continuación, se presenta una tabla resumen de accidentes ocurridos entre el 2000 y 2018.

Año	Ciudad/País	Instalación	Sustancia Involucrada	Evento	Causa	Nivel de Afectación	Acciones realizadas para su atención.
2000	Nuevo México, EUA	Sistema de transmisión de gas natural	Gas natural	Explosión en tubería de transmisión de gas natural originada por corrosión interna	Sobrepresión	Alto	Se atendió mediante llamada a bombero y protección civil
2016	Veracruz, México	Ducto de PEMEX	Gasolina	Explosión de ducto	Toma clandestina	Bajo	Se atendió por protección civil y bomberos para controlar el siniestro.
2017	Tamaulipas, México	Ducto de PEMEX	Gasolina	Explosión de ducto	Sobrepresión	Alto	Fue atendido por la central de bomberos de PEMEX
2018	Toluca, México	Ducto de PEMEX	Gasolina	Explosión de ducto	Toma clandestina	Medio	Se habló a protección civil y bomberos para controlar el siniestro.
	Estado de México, México	Ducto de PEMEX	Gasolina	Incendio de ducto	Toma clandestina	Medio	Se habló a los bomberos para detener el evento.

El gas natural que se transporta a través de gasoducto ha demostrado ser el medio más seguro. La experiencia en México que se tiene en antecedentes de accidentes es la siguiente:

- Accidente gasoducto de gas natural de PEMEX en el estado de Guanajuato, no hubo daños personales. (Fuente: El Norte 19 de septiembre de 1991).
- Accidente en gasoducto de gas amargo de PEMEX (21 de septiembre de 1991) en Cunduacán, Tabasco al estallar un ducto de 16" de diámetro, fallecieron 6 obreros de PEMEX. Este percance sucedió cuando los trabajadores realizaban actividades de corte en la línea que transporta gas crudo, debido a que las líneas no fueron desfogadas antes de los trabajos de corte (Fuente: El Opciones).
- Fuga en gasoducto de gas natural de PEMEX (15 de junio de 1992) en Xalostoc, debido a la ruptura de una válvula de alivio. No se reportó daños ni víctimas.
- Accidente en un gasoducto de 24" de gas amargo de PEMEX (6 de febrero de 1994) en Cunduacán, Tabasco que causó daños materiales a 300 metros cuadrados, por lo menos 15 personas con quemaduras de segundo grado y una persona murió en el percance (Fuente: La Jornada)
- Accidente de gasoducto de gas natural PEMEX en Guadalajara (4 de septiembre de 1995) debido a que personas golpearon el ducto por error, al confundirlo con una tubería de agua, no hubo daños materiales ni humanos (Fuente: El Norte).
- Accidente en gasoducto de 48" de gas natural en Cd. Pemex-Cactus (17 de febrero) que provocó daños materiales, muertos y heridos, se desconoce las causas del siniestro (Fuente: El Norte).
- Accidente en gasoducto de gas natural de PEMEX en Boca-Cárdenas (23 enero de 1996) que provocó un muerto y cuatro heridos al momento que trabajadores cambiaban una válvula.
- Fuga de gas natural en Atasta-Cd PEMEX (08 de septiembre de 1996), el accidente ocurrió cuando se interconectaban un bypass, un trabajador resultó herido. (Fuente: La Jornada)

No se cuenta en México con un centro de información que concentre los datos de accidentes ocurridos en los gasoductos, así como la investigación realizada a los mismos para determinar las causas.

1.6.2. Metodologías de identificación y jerarquización.

Tras la descripción del proceso del transporte y distribución de gas natural en el ducto, la City Gate y la estación de regulación y medición, se identifica que se requiere un Análisis de Riesgos en los procesos (AR); la metodología que se utilizará será la de HAZOP.

En la metodología HAZOP se lleva a cabo la jerarquización del riesgo por medio del establecimiento de parámetros de severidad y frecuencia dando como resultado la magnitud del riesgo.

Los criterios para la selección de la metodología HAZOP, son que es una metodología predictiva que permite analizar cualquier desviación de los parámetros dentro del proceso su causa y posible consecuencia.

Al analizar su causa se puede hacer un análisis retrospectivo acerca de cuál fue el motivo de la desviación para establecer medidas correctivas o preventivas. Además, al establecer o predecir las consecuencias de las desviaciones se establecen la magnitud de los eventos que se puedan generar para establecer medidas de protección y planes de emergencia efectivos en caso de accidentes.

Para aplicar la metodología de identificación de riesgos es importante definir las desviaciones, posibles causas y consecuencias por lo que es importante definir conceptos básicos como lo son los siguientes:

- **Propósito:** Describe la forma en que se espera funcione el elemento analizado.
- **Desviaciones:** Son los cambios que se presentan en el propósito y son puestas al descubierto por la aplicación sistemática de las palabras claves.
- **Causas:** Estos son los motivos por los que se pueden presentar las desviaciones. Cuando se demuestra que una desviación tiene una causa real, se considera como una desviación significativa.
- **Consecuencias:** Son los resultados que se obtendrían en caso de que se presentaran algunas desviaciones.
- **Riesgo:** Son las consecuencias de la liberación de una fuente de energía que puede causar daños, lastimaduras o pérdidas.
- **Palabras Clave:** Son palabras sencillas que se usan para calificar el propósito, guían y estimulan el proceso del pensamiento creativo para descubrir las posibles desviaciones. Las palabras claves se aplican a la intención de diseños que indica lo que el equipo y/o sistema debe realizar.

También es importante, dentro de la definición de desviaciones, comprender lo que significan las **palabras clave** en la metodología que se está desarrollando:

Palabras Clave	Significado	Comentarios
No	La negación completa de las intenciones de diseño	Ninguna de las intenciones de diseño se cumple pero no pasa otra cosa.
Más	Incremento cuantitativo de la intención	Se refiere a cantidades y propiedades como flujo, gradientes, temperatura, presión y actividades como calentamiento y reacción.
Menos	Decremento cuantitativo de la intención	Idéntico que el anterior
Tanto como	Un incremento cualitativo	Todas las intenciones de diseño y operación se realizan en conjunto con alguna actividad adicional
Parte de	Un decremento cualitativo	Se realiza solamente una parte de las intenciones de diseño y otra parte no.
Contrario a	El opuesto lógico de la intención de diseño	En general se aplica a actividades, por ejemplo, flujo inverso o reacción química. Se aplica también a sustancias.
Diferente a	Sustitución completa de la intención de diseño	No se realiza ninguna parte de la intención original de diseño. Sucede una cosa totalmente diferente.

METODOLOGÍA HAZOP.

Los pasos que se realizaron en esta metodología son los siguientes:

1. Descripción del sistema: en este punto se describen los elementos de la instalación.
2. Definición del objetivo y alcance: en este punto se delimitan las áreas del sistema a las cuales se les aplicará la técnica.
3. Definición de los elementos críticos o nodos del estudio: en cada área se identificarán una serie de nodos donde la técnica es aplicada. Cada uno de los nodos tiene valores determinados de las variables del proceso (presión, caudal, temperatura, nivel, viscosidad, etc.).
4. Se definen las desviaciones para cada una de las variables del proceso, a partir de las palabras guías (no, si, además de, parte de, más, menos, inverso, en vez de)
5. Se identifican las posibles causas de la desviación.
6. Se establecen las consecuencias posibles de la desviación y se analizan cuáles de las alternativas son aplicables a cada caso.
7. Se establecen medidas correctivas que eviten o mitiguen las causas de las desviaciones.

A continuación, se presenta el desarrollo de la metodología HAZOP:

1. Descripción del sistema.

El proyecto se ubica entre los estados de Jalisco y Michoacán. El punto inicial del ducto se localiza a 4.2 kilómetros al sureste de la ciudad de Degollado, Jalisco a la altura del ejido El Edén, del municipio de Degollado, en las coordenadas 20°25'32.85"N; 102° 5'58.16"O; tiene como inicio la interconexión (instalación de válvula troncal) a realizarse sobre el ducto de 36"D.N. con trayectoria Guadalajara, Jalisco-Valtierrilla, Guanajuato, perteneciente al sistema nacional de gasoductos administrados por el Centro Nacional de Control del Gas Natural (CENAGAS).

El Proyecto se dividirá en siete tramos para su correspondiente descripción, la cual se presenta a continuación.

Tramo 1

El tramo 1 abarca del cadenamamiento 0+000 al 0+880; en el cadenamamiento 0+000 se ubicala Planta City-Gate, donde se realiza la conexión con el ducto de CENAGAS. La Planta City-Gate tiene una superficie de 120 m², la cual cuenta con un cuarto de control, transmisor de toma de temperatura, válvula de control de flujo y válvula de seguridad.

Posteriormente el ducto continúa en línea en dirección norte-sur por el margen derecho del camino vecinal Inter parcelario; en esta zona el ducto se instaló a una profundidad de 1.20 metros mediante la excavación a cielo abierto.

El ducto fue cubierto con el mismo material de la excavación por lo que a la fecha no se encuentra abierta ninguna zanja en el tramo.

En lo que corresponde a remoción de la vegetación en el Tramo 1, el ducto sigue el margen derecho del camino en dirección norte-sur; en este margen no hay presencia de árboles o arbustos, ya que el camino colinda con parcelas agrícolas; de manera que no se realizó remoción de vegetación en este tramo.

Tramo 2

El tramo 2 abarca del cadenamiento 0+900 al 1+740; el cadenamiento 0+900 inicia en el camino de terracería que conecta las comunidades de El Aniego al Este con Pozo Seco al Oeste. El Tramo 2 inicia por el margen derecho en dirección norte-sur hasta 370 metros en el cadenamiento 1+260; después del cual el ducto hace una ligera curva para cambiar a dirección suroeste hasta el cadenamiento 1+740.

El ducto se instaló a una profundidad de 1.20 metros mediante la excavación a cielo abierto. El ducto fue cubierto con el mismo material de la excavación por lo que a la fecha no se encuentra abierta ninguna zanja en el tramo.

Tramo 3

El tramo 3 abarca del cadenamiento 1+760 al 2+560; el Tramo 3 inicia por el margen derecho en dirección norte-sur hasta una longitud de 150 metros hasta llegar al cadenamiento 1+880; a partir del cadenamiento 1+920 hasta el 2+060 el ducto sigue una dirección Este-Oeste por la margen izquierda de la brecha de terracería; posteriormente del cadenamiento 2+080 al 2+240 se da un cambio de margen para continuar por la derecha, en la dirección Este-Oeste por una longitud de 170 metros. Finalmente, el tramo tiene una dirección Norte-sur por una longitud de 290 metros desde el cadenamiento 2+260 al 2+560. El ducto se instaló a una profundidad de 1.20 metros mediante la excavación a cielo abierto. El ducto fue cubierto con el mismo material de la excavación por lo que a la fecha no se encuentra abierta ninguna zanja en el tramo.

Tramo 4

El tramo 4 abarca del cadenamiento 2+580.00 al 3+860.00; el Tramo 4 inicia en dirección Este-Oeste por una longitud de 345 metros hasta el cadenamiento 2+900.00 y el ducto va por el margen izquierdo del tramo. Del cadenamiento 2+920.00 hasta el 3+700.00 el ducto tiene una dirección Norte-Sur por el margen izquierdo.

Finalmente, del tramo 3+720.00 al 3+860.00 el ducto sigue una dirección Este-Oeste por el margen izquierdo. El ducto se instaló a una profundidad de 1.20 metros mediante la excavación a cielo abierto. El ducto fue cubierto con el mismo material de la excavación por lo que a la fecha no se encuentra abierta ninguna zanja en el tramo.

En este tramo es importante mencionar que cadenamiento 2+900.00 al 3+700.00 el ducto pasa por un camino en desuso del "Cerrito Colorado" que se ubica al Este del ducto; en este tramo también se abrió una zanja de 90 cm de ancho solamente, no se eliminaron árboles y a la fecha actual la zona presenta vegetación abundante.

Tramo 5

El tramo 5 abarca del cadenamiento 3+880.00 al 5+660.00; el Tramo 5 inicia en dirección Norte-Sur por una longitud de 500 metros hasta el cadenamiento 4+380.00 y el ducto va por el margen izquierdo del camino parcelario. Del cadenamiento 4+400.00 el ducto toma una dirección Este-Oeste con una longitud de 510 metros hasta el cadenamiento 4+900.00, el ducto sigue por el margen izquierdo.

El ducto continúa del cadenamiento 4+920.00 hasta el cadenamiento 5+540.00 por unos 640 metros en dirección Norte-Sur; en este punto el ducto sigue el margen izquierdo del camino parcelario. Cabe mencionar que en este Tramo el ducto pasa por debajo del Libramiento Norte La Piedad a la altura del cadenamiento 5+500.00 y 5+520.00; cabe mencionar que se cuenta con los permisos necesarios ante la Secretaria de Comunicaciones y Transportes para el paso del ducto.

Finalmente, del cadenamiento 5+540.00 al 5+660.00 el ducto continúa por el margen izquierdo por otros 120 metros en dirección Norte-Sur hasta cruzar la carretera a Charapuato. Dentro de este trayecto, por el camino vecinal que se dirige a la comunidad de Charapuato, utilizando medios mecánicos y manuales con la excavación a cielo abierto, se colocó un registro número R-1 que cumple con las especificaciones de la norma que regula la instalación y construcción de los ductos de transporte para gas natural, NOM-007-SECRE-2010, el registro está ubicado en el cadenamiento del Km. 5+600.00.

El ducto se instaló a una profundidad de 1.20 metros mediante la excavación a cielo abierto. El ducto fue cubierto con el mismo material de la excavación por lo que a la fecha no se encuentra abierta ninguna zanja en el tramo.

Tramo 6

El tramo 6 abarca del cadenamiento 5+680.00 al 6+580.00; el Tramo 6 inicia en dirección Norte-Sur por una longitud de 570 metros hasta el cadenamiento 6+240 y el ducto se ubica en el margen izquierdo del camino parcelario.

Del cadenamiento 6+260.00 al 6+580.00 el ducto tiene una dirección de Este-Oeste de manera general; igualmente sigue por la margen izquierda y tiene una longitud aproximada de 330 metros. En este punto el ducto bordea una sección de Selva Baja Caducifolia la cual no se ve afectada por la presencia del ducto.

El ducto se instaló a una profundidad de 1.20 metros mediante la excavación a cielo abierto. El ducto fue cubierto con el mismo material de la excavación por lo que a la fecha no se encuentra abierta ninguna zanja en el tramo.

Tramo 7

El tramo 7 abarca del cadenamiento 6+600.00 al 7+271.44; el Tramo 7 inicia en dirección Norte-Sur por una longitud de 225 metros hasta el cadenamiento 6+820.00; este punto corresponde al cruce del Río Lerma, el cual fue cruzado por el ducto mediante la Técnica de Perforación Horizontal Dirigida. Cabe mencionar que también cruza un canal de agua aledaño al margen sur del Río Lerma, igualmente mediante la técnica de Perforación dirigida.

Del cadenamamiento 6+820.00 al 6+960.00 el ducto tiene una dirección de Oeste-Este por una longitud de 150 metros; en este punto el ducto sigue un camino vecinal y se instaló mediante excavación a cielo abierto.

Posteriormente del cadenamamiento 6+980.00 al 7+030.00 el ducto toma una dirección Norte-Sur y sube una pendiente propia del terreno; en este punto se realizó una obra de mampostería para cubrir el ducto.

Finalmente, el ducto entra a la Empresa Cárnicos Strattega del Grupo Bafar hasta donde se encuentra la Estación de Regulación y Medición en el cadenamamiento 7+271. 44.

2. Objetivo y alcance.

El objetivo del presente es someter a la metodología HAZOP las áreas que están involucradas en el sistema de distribución del gas natural, la válvula troncal con el ducto de 36" con CENAGAS, la longitud del ducto y sus puntos de interés, la estación de regulación y medición de INDUSTRIALIZADORA CARNICOS STRATTEGA SA DE CV y además los sistemas de seguridad como lo son los equipos de seguridad del tanque como las válvulas de seguridad, sistemas de regulación de presión, etc.

3. Definición de nodos o elementos críticos.

Se identifican los nodos en el siguiente diagrama de flujo que describe el proceso que siguen las sustancias que abarca el estudio.

NOTA: De acuerdo a lo indicado en la NORMA Oficial Mexicana NOM-007-SECRE-2010 en el apartado número 7.36, indica que de acuerdo a la clase de localización del ducto se tendrá que agregar una válvula de seccionamiento, por lo que el ducto cuenta con una distancia de 7.271.44 Km, y esto indica que cada 4 km se tendrá que colocar una válvula de seccionamiento. Por la distancia del ducto sólo fue una la requerida, la distancia de la válvula con respecto al río es de 1040 m y con respecto a la ERM es de 760 m., considerando que la construcción inició antes de entrar en vigor la nueva norma ASEA-005-2016. Comentado lo anterior, surgieron cambios en el ramal en cuanto a los sistemas de seguridad por lo que también se aprovecha este ingreso de información complementaria dado que la información anterior era obsoleta. Por ende, las modificaciones realizadas fueron en los nodos, cambiando de "Registro Libramiento" a "Registro Charapuato" y "Registro Río Lerma" a "Perforación Horizontal Dirigida (Cruce Río Lerma)".

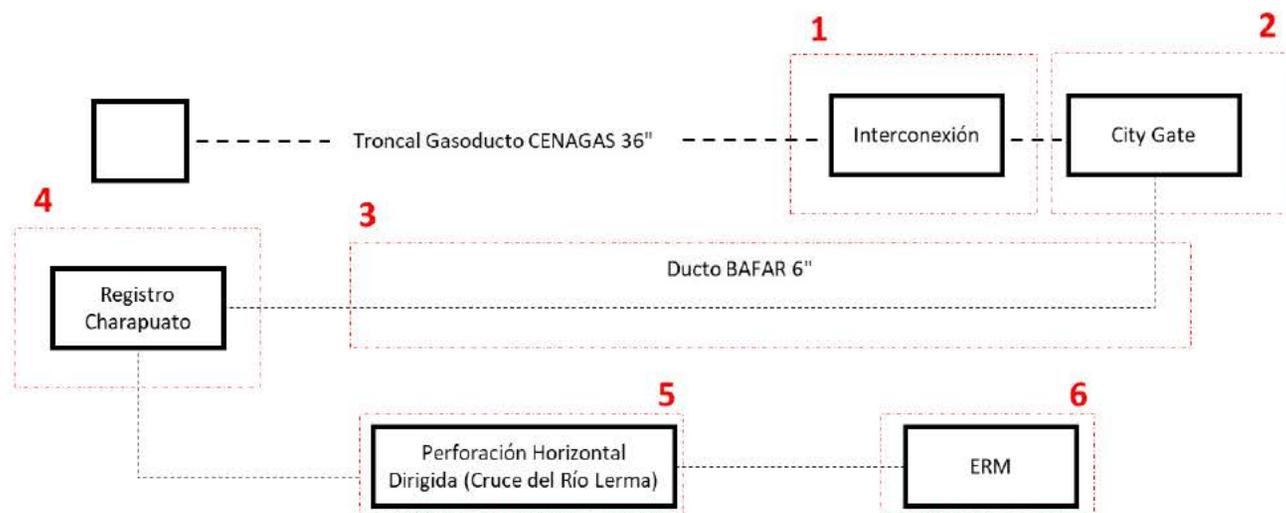


Ilustración 18. DTI general del trazo del ducto.

Nodo	Componentes
1. Interconexión con ducto de CENAGAS	Gasoducto de 36"
2. City Gate	Interconexión Válvula de esfera de paso completo bridada Filtro coalescente 180° Regulador de presión Medidor de flujo tipo turbina Válvula de control de flujo Soportes ajustables Transmisor de presión Transmisor de temperatura manómetro Válvula de desfogue Junta de aislamiento tipo PICOTEK
3. Ducto	Gasoducto de 6" diámetro, longitud de 7,260 metros acero al carbón API 5L X42 CED. 40 Tubos de ventilación
4. Registro Charapuato	Válvula de bola paso completo Gasoducto de 6" acero al carbón API 5L X42 CED. 40
5. Perforación Horizontal Dirigida (Cruce Río Lerma)	Gasoducto de 6" acero al carbón API 5L X42 CED. 40
6. Estación de regulación y medición.	Protección (malla y alambre de púas) Válvula macho autolubricable bridadas de 4" de diámetro 300 # ANSI 1 Válvula macho autolubricable bridadas de 4" de diámetro 300 # ANSI 2 Válvula macho autolubricable bridada de 6 "de diámetro 150# ANSI, R. F Regulación de presión Válvula macho autolubricable bridada de 3" de diámetro 150 # ANSI, R.F. (en la línea hacia la válvula de relevo de presión y/o venteo)

	Válvula macho autolubricable bridada de 1" de diámetro 300 # ANSI, R.F. (para drenado del filtro coalescedor).
	Válvula de control de presión con actuador neumático marca Fisher modelo. 65.7 de 3" de diámetro 300 # ANSI bridada R.F. con posicionador electro neumático montado al yugo del actuador, en la línea principal de 4" de diámetro en la línea principal.
	Válvula de flujo axial de relevo de presión de 3 "de diámetro Manga H7 con block de control piloto, instalada en la línea de venteo.
	Filtro Coalescedor de 4" de diámetro de entrada y salida marca FILVAC, tipo vertical con manómetro indicador de presión diferencial, instalado en la llegada de la línea de presión principal con reducción de 8" y 4" de diámetro, que es la llegada al tanque de filtro.
	Tubo de medición de 6" de diámetro, en tres secciones marca. Daniel Senior 150#, instalado en la línea de flujo que va hacia la planta.
	Válvula de aguja de ½ "de diámetro, 3000 # roscada, instalada en el árbol de la válvula de relevo de presión.
	Computador de flujo marca. FISHER modelo ROC. 407, entrada de 11 a 30 VCD, anclado en el piso de concreto instalado y alimentado del tubo de medición Daniel Senior con dos tubos de acero inoxidable de 3/8" de diámetro flexible conectado al sistema SCADA.
	Junta monoblock de 4" de diámetro marca NUOVA material de tubo API 5 L Gr. B. ANSI 400, temperatura máxima de 70° instalada en la línea de 4" de diámetro antes de la llegada al filtro coalescedor.
	Reducción concéntrica ced. 40 A/C ASTM-A-234 Gr. WPB instaladas estas en las líneas, principal donde se tiene instalada la válvula de control de presión y en la de salida a la planta, de 4"x 3 "de diámetro.
	Bridas soldables de A/C ASTM-A 191 Gr. 11 ANSI B 16.5.
	Dos manómetros indicadores de presión con carátula de 4 ½ "rango de 0 a 28 y 0 a 14 kg/cm ² .

4. Se definen las desviaciones para cada una de las variables del proceso, a partir de las palabras guías.

Se aplicaron las palabras guías a cada uno de los parámetros de operación normales, estas palabras son para lograr identificar las desviaciones que puedan ocurrir.

Nodo	Parámetros	Guía	Desviación
1. Interconexión con ducto CENAGAS	Corrosión/ Erosión	Menos	1.- Menos flujo
		Más	2.- Más corrosión o erosión
	Flujo	Menos	3.- Menos flujo
		Menos	4.- Menos flujo
	Mantenimiento	No	5.- No se realiza un mantenimiento preventivo
2. City Gate	Prueba	No	1.- No se realizan las pruebas hidrostáticas para verificar el hermetismo de sistema
	Seguridad	No	2.- No tierra física
		No	3.- Equipo de protección no usado.
Indicación	No	4.- No indicación	
3. Ducto	Corrosión/erosión	No	1.- No se instaló protección catódica en el ducto.
	Mantenimiento	No	2.- No hay mantenimiento preventivo adecuado.
		No	3.- No hay mantenimiento adecuado
	Seguridad	No	4.- No hay vigilancia constante en la línea del ducto.
	Temperatura	Más	5.- Más temperatura.
4. Registro Charapuato	Flujo	No	1.- Sin flujo
		No	2.- Sin flujo

	Presión	Más	3.- Presión más alta
5. Perforación Horizontal Dirigida (Cruce Río Lerma)	Flujo	No	1.- Sin flujo
	Seguridad	No	3.- No hay seguridad (barrera física, letreros de aviso de ducto, rondines de supervisión visual de condiciones de ducto)
6. Estación de regulación y medición.	Flujo	No	1.- Sin flujo
		No	2.- Sin flujo
	Presión	Menos	3.- Presión más baja
		Más	4.- Presión más alta

5. Se identifican las causas de las desviaciones.

En la siguiente tabla se identificaron las causas de las desviaciones que pueden ocurrir. Es importante la identificación de las causas para la proposición de medidas correctivas o preventivas, para evitar una situación de riesgo.

Nodo	Desviación	Causa
1	1.- Menos flujo	1.1.- Filtro tapado
	2.- Más corrosión o erosión	1.2.- No se instaló la protección catódica en el ducto
	3.- Menos flujo	1.3.- Línea parcialmente obstruida o bloqueada, falla en el sistema de venteo.
	4.- Menos flujo	1.4.- Línea rota por una persona (Tercero)
	5.- No se realiza un mantenimiento preventivo	1.5.- No se cuenta con un plan de mantenimiento adecuado con bitácoras debidamente llenadas y firmadas
2	1.- No se realizan las pruebas hidrostáticas para verificar el hermetismo de sistema	2.1.- No se cuenta con bitácoras de pruebas hidrostáticas, falla en el sistema de venteo.
	2.- No tierra física	2.2.- Se instaló de mala manera el equipo de protección catódica
	3.- Equipo de protección personal no usado	2.3.- No hay capacitación y/o supervisión adecuados
	4.- No indicación	2.4.- Falla en manómetro.
3	1.- No se instaló protección catódica en el ducto.	3.1.- No se instaló la protección catódica en el ducto
	2.- Sin flujo	3.2.- válvula de cerrado de emergencia activada inadvertidamente
	3.- Sin flujo	3.3.- válvula manual cerrada por el operador
	4.- No hay mantenimiento preventivo adecuado	3.4.- No existe procedimiento, ni bitácoras de mantenimiento preventivo
	5.- Presión más baja	3.5.- válvula manual abierta en falla debido a falla mecánica
	6.- Menos flujo	3.6.- Línea obstruida o bloqueada
	7.- No hay mantenimiento adecuado	3.7.- No existe un procedimiento de mantenimiento preventivo en las instalaciones
	8.- No hay vigilancia constante en la línea del ducto.	3.8.- No se tiene un procedimiento de inspección visual del tramo

	9.- Más temperatura.	3.9.- Daño en el aislamiento de la línea.
4	1.- Sin flujo	4.1.- fallo en válvula de bola paso completo
	2.- Sin flujo	4.2.- línea rota por una persona
	3.- Presión más alta	4.3.- alta temperatura interna y fallo en el sistema de venteo.
5	1.- Sin flujo	5.1.- Línea rota por una persona o por hundimiento de terreno cerca del río Lerma
	2.- No hay seguridad (barrera física, letreros de aviso de ducto, rondines de supervisión visual de condiciones de ducto)	5.2.- No se tiene un plan de seguridad del tramo.
6	1.- Sin flujo	6.1.- filtro tapado
	2.- Sin flujo	6.2.- válvula de control cerrada en falla debido a falla mecánica
	3.- Sin flujo	6.3.- instalación incorrecta de válvula unidireccional "check"
	4.- Presión más baja	6.4.- bloqueo u obstrucción de la línea corriente arriba
	5.- Presión más alta	6.5.- reductor de presión cerrado en falla

En las causas identificadas se observaron de 2 tipos: el primero es propio de la operación del ducto y de las ERM; las segundas son de carácter externo como tomas clandestinas y excavaciones realizadas sin supervisión adecuada, así como fenómenos naturales. Las causas que son más frecuentes son las de falla en el sistema de venteo, ruptura de algunos de los componentes por diferentes factores, bloqueo u obstrucción de la línea corriente arriba y desgaste de componentes debido a falta de mantenimiento preventivo.

Es importante señalar que en la zona cerca del río Lerma puede haber hundimientos de tierra que puedan causar presión en el ducto y llegar a romperlo, así liberando el material.

6. Se establecen consecuencias.

La identificación de consecuencias se llevó a cabo de acuerdo a la siguiente jerarquización:

- Las consecuencias no entrañan ningún riesgo → se descartan.
- Las consecuencias presentan riesgos menores o medianos → consideración de desviación.
- Las consecuencias entrañan riesgos mayores → consideración y análisis mediante otro método o simulación. Se realiza la jerarquización de la magnitud del riesgo.

Además de la identificación de las consecuencias se categorizaron en si es relativo a la seguridad o a la operatividad.

Es importante la identificación de las consecuencias con un valor numérico, ya que así se pueden dimensionar la magnitud de los daños y tomar medidas de acción planeadas de acuerdo al escenario previsto. Para la jerarquización del riesgo se tomaron en cuenta 2 aspectos: la frecuencia con la que se prevé que suceda el evento y con qué severidad, dando como resultante la magnitud del riesgo.

Mediante el software SCRI HAZOP se presentan las hojas de trabajo generadas para la identificación y jerarquización de los riesgos.

Anexo 5. Hojas de trabajo SCRI HAZOP.

Los valores que se utilizaron para la jerarquización fueron los siguientes:

Severidad.

	Severidad	Criterio 1	Criterio 2
1	Insignificante	No es suficientemente serio para causar heridas o enfermedad ocupacional	Mínimo daño a la propiedad o al sistema, puede resultar en mantenimientos o reparación fuera de lo programado
2	Marginal	Puede causar heridas menores, enfermedad ocupacional menor	Daño menor a la propiedad o al sistema
3	Critico	Puede causar heridas severas, enfermedad ocupacional severa	Daño mayor a la propiedad o al sistema
4	Catastrófico	Puede causar muertes	Perdida del sistema o proceso

Frecuencia.

	Frecuencia	Criterio 1	Criterio 2
1	Prácticamente imposible	Improbable que ocurra, pero posible	Tan improbable que se asume imposible
2	Remoto	Improbable, pero es razonable esperar que ocurra	Improbable, pero es posible que ocurra durante la vida del equipo o proceso
3	Ocasional	Ocurrirá varias veces	Probable que ocurra una vez durante la vida del equipo o proceso
4	Probable	Ocurrirá frecuentemente	Ocurrirá varias veces durante la vida del equipo o proceso
5	Frecuente	Se experimentará continuamente	Probable que ocurra frecuentemente

Niveles de riesgo.

	Severidad	Descripción
	A	Aceptable sin revisión
	B	Aceptable con revisión
	C	Indeseable
	D	Inaceptable

En las columnas de Severidad del escenario y frecuencia de escenario es donde se les asigna el valor numérico el valor de riesgo lo jerarquiza en automático mediante los siguientes parámetros:

- A → aceptable sin revisión
- B → Aceptable con revisión
- C → Indeseable
- D → Inaceptable

		Severidad			
		1	2	3	4
Frecuencia	5	B	C	D	D
	4	B	C	D	D
	3	A	B	C	D
	2	A	B	B	C
	1	A	B	B	B

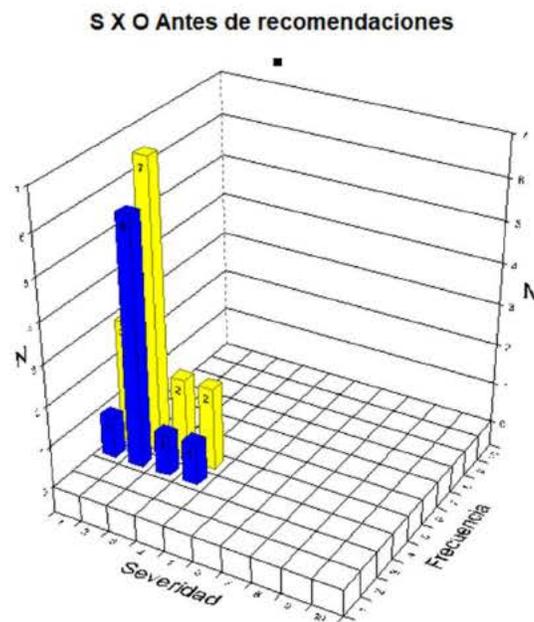
En la siguiente tabla se describe la jerarquización de las consecuencias encontradas.

Nodo	Causa	Consecuencia	Severidad	Frecuencia	Riesgo
1	1.1.- Filtro tapado	1.1.1.- Sobrepresión en conexiones	3	3	C
	1.2.- No se instaló la protección catódica en el ducto	1.2.1.- Fuga del gas natural	4	1	B
	1.3.- Línea parcialmente obstruida o bloqueada, falla en el sistema de venteo.	1.3.1.- Sobrepresión en línea, posible ruptura, fuga o reventón.	3	2	B
	1.4.- Línea rota por una persona (Tercero)	1.4.1.- Emisión de Gas natural	4	2	C
	1.5.- No se cuenta con un plan de mantenimiento adecuado con bitácoras debidamente llenadas y firmadas	1.5.1.- Ruptura y fuga de algunos de los componentes debido al intemperismo y falta de mantenimiento	3	4	D
INDUSTRIALIZADORA DE CÁRNICOS STRATTEGA S.A. DE C.V.			103		

2	2.1.- No se cuenta con bitácoras de pruebas hidrostáticas, falla en el sistema de venteo.	2.1.1.- Que exista alguna fuga o toma clandestina	3	2	B
	2.2.- Se instaló de mala manera el equipo de protección catódica	2.2.1.- Se aumenta la corrosión, y la posibilidad de orificios en el ducto	3	2	B
	2.3.- No hay capacitación y/o supervisión adecuados	2.3.1.- Accidente con el personal, provocados por mareo, golpe entre otros	3	2	B
	2.4.- Falla en el manómetro	2.4.1.- No se establecen los parámetros de operación adecuados	3	1	B
3	3.1.- No se instaló la protección catódica en el ducto	3.1.1.- Fuga del gas natural	4	1	B
	3.2.- No existe procedimiento, ni bitácoras de mantenimiento preventivo	3.2.1.- Desgaste de componentes, posible falla. Liberación del gas natural	4	2	C
	3.3.- No existe un procedimiento de mantenimiento preventivo en las instalaciones	3.3.1.- Desgaste y corrosión de los componentes de la interconexión. Liberación de gas natural.	4	2	C
	3.4.- No se tiene un procedimiento de inspección visual del tramo	3.4.1.- Instalación de tomas clandestinas	4	2	C
	3.5.- Daño en el aislamiento de la línea.	3.5.1.- Gas natural aumenta temperatura y genera una explosión	4	1	B
4	4.1.- Fallo en válvula de bola paso completo	4.1.1.- Sobrepresión en las bridas de la conexión, liberación del gas natural	4	3	D
	4.2.- línea rota por una persona	4.2.1.- Liberación del gas natural	4	2	C
	4.3.- alta temperatura interna y fallo en el sistema de venteo.	4.3.1.- Sobrepresión en la tubería. Explosión debido a que el GN incrementa su temperatura.	4	2	C

5	5.1.- Línea rota por una persona o por hundimiento de terreno cerca del río Lerma	5.1.1.- Liberación de gas natural	4	4	D
	5.2.- No se tiene un plan de seguridad del tramo	5.2.1.- Instalación de tomas clandestinas, ruptura de ducto y liberación del gas natural	4	2	C
6	6.1.- filtro tapado	6.1.1.- Sobrepresión en conexión	3	2	B
	6.2.- válvula de control cerrada en falla debido a falla mecánica	6.2.1.- Sobrepresión en el sistema	3	2	B
	6.3.- bloqueo u obstrucción de la línea corriente arriba	6.3.1.- Ruptura de algún componente corriente arriba y liberación del gas natural	3	3	C
	6.4.- reductor de presión cerrado en falla	6.4.1.- Aumento de presión de operación. Explosión	4	3	D

Se presenta gráfica de la jerarquización sin considerar recomendaciones.



Entre las consecuencias de mayor severidad/ ocurrencia se identificaron las siguientes:

- Ruptura y fuga de algunos de los componentes debido al intemperismo y falta de mantenimiento.
- Sobrepresión en sistema de transporte de Gas Natural derivado de que la válvula de cerrado de emergencia se encuentra activada inadvertidamente.
- Fuga de gas natural generada por rompimiento de tubería por persona externa o por hundimiento de terreno cerca del río Lerma.
- Aumento de presión de operación (Explosión) generada por falla en el reductor de presión.

Hay que tomar en cuenta que la liberación del gas natural no siempre se evapora en la atmósfera, por lo que la liberación concluye en forma de un chorro de fuego o nube de vapor explosiva.

7. Se establecen medidas correctivas.

Una vez considerados los escenarios de riesgo propuestos con la metodología HAZOP y suponiendo el peor escenario para cada uno de éstos sin suponer medidas preventivas o de salvaguarda, a continuación, se presentan los resultados obtenidos una vez considerando medidas preventivas y de salvaguarda.

Nodo	Salvaguarda	Recomendación	Severidad	Frecuencia	Riesgo	%
1	1.1.1.1.- Cerrar válvulas corrientes arriba. Realizar reparación del filtro	1.1.1.1.- Realizar bitácora de mantenimiento preventivo en City GateIng.	2	1	B	33.3
	1.2.1.1.- Detección de cambio de presión con sistema SCADA. Alarma sonora. Cerrar las válvulas con ducto de CENAGAS	1.2.1.1.- Bitácora de verificación de correcto funcionamiento de Protección Catódica.	2	1	B	0

	1.3.1.1.- Detección de cambio de presión con sistema SCADA. Alarma sonora. Cerrar las válvulas con ducto de CENAGAS	1.3.1.1.- Instalación de sistema SCADA. Realizar pruebas hidrostáticas al menos 2 veces por año.	2	1	B	0
	1.4.1.1.- Detección con SCADA. Cerrar válvulas corrientes arriba para evitar se libere más material.	1.4.1.1.- Realizar un plan de evacuación para el personal que se encuentre trabajando en los campos aledaños	2	2	B	33 33
	1.5.1.1.- Realizar la reparación del ducto, desalojando a las personas que se encuentren cerca.	1.5.1.1.- Realizar una bitácora de manteniendo preventivo, donde se firme por encargado del ducto y encargado del mantenimiento.	1	2	A	75
2	2.1.1.1.- Detección de cambio de presión con sistema SCADA. Alarma sonora. Cerrar las válvulas con ducto de CENAGAS.	2.1.1.1.- Elaborar procedimiento de pruebas de verificación que incluya pruebas hidrostáticas.	2	2	B	0
	2.2.1.1.- Bitácora de verificación de correcto funcionamiento de Protección Catódica.	2.2.1.1.- Elaboración de bitácora de verificación de correcto funcionamiento de Protección Catódica.	2	1	B	0
	2.3.1.1.- Proceder de acuerdo al plan de primeros auxilios del PPA.	2.3.1.1.- Capacitación del personal en primeros auxilios y elaboración de procedimiento de primeros auxilios adjunto en el PPA.	1	1	A	50
	2.4.1.1.- Reestablecer los parámetros operaciones de acuerdo al procedimiento.	2.4.1.1.- Llevar a cabo un procedimiento de reparación de componentes de la instalación de la City Gate	1	1	A	50

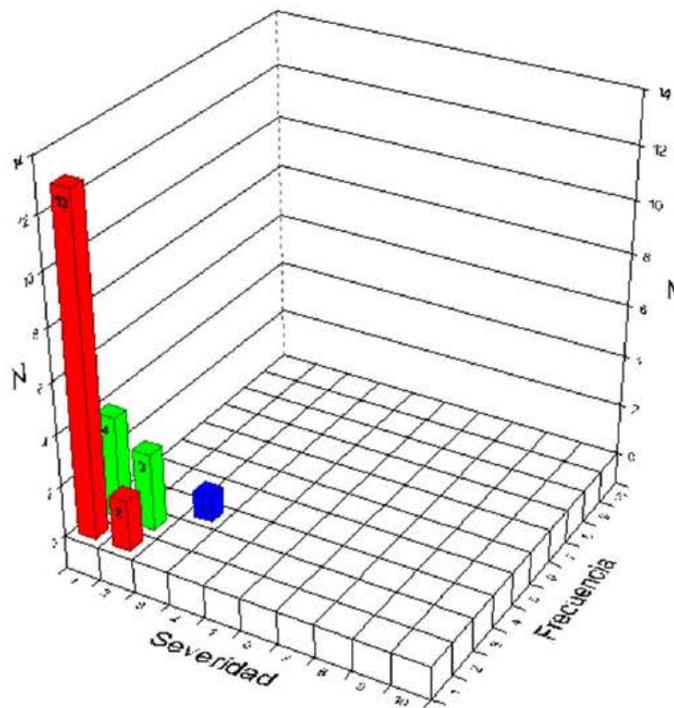
3	3.1.1.1.- Detección de cambio de presión con sistema SCADA. Alarma sonora. Cerrar las válvulas con ducto de CENAGAS	3.1.1.1.- Bitácora de verificación de correcto funcionamiento de Protección Catódica.	1	1	A	50
	3.2.1.1.- Llevar a cabo el plan de contingencias, activar alarma sonora y reparación de la falla o combate del incendio.	3.2.1.1.- Realizar un procedimiento de mantenimiento preventivo.	1	1	A	66.66
	3.3.1.1.- Llevar a cabo la reparación del componente en falla de acuerdo al procedimiento aprobado.	3.3.1.1.- Elaboración de plan de mantenimiento preventivo para componentes de la interconexión.	1	1	A	66.66
	3.4.1.1.- Retirar la toma clandestina y reparar los componentes dañados.	3.4.1.1.- Llevar a cabo la inspección constante del tramo del ducto asentándolo en una bitácora fotográfica de cada 100 metros.	1	1	A	66.66
	3.5.1.1.- Dar aviso a las entidades correspondientes (911). Cerrar todas las válvulas de emergencia e Ir a la tratar de contener el incendio y a bajar la temperatura para evitar se generen más explosiones.	3.5.1.1.- Instalación de válvulas de emergencia electrónicas. Tener siempre accesible una vía de comunicación abierta con protección civil y bomberos. Contar con equipo de combate de incendios de tipo ABC además de hidrantes para reducir la temperatura de los demás componentes del ducto.	1	1	A	50
4	4.1.1.1.- Cerrar las válvulas de emergencia. Reparar el componente en falla.	4.1.1.1.- Instalación y monitoreo de sistema SCADA, para la detección de aumento de presión	1	1	A	50

	4.2.1.1.- Evitar se genere un incendio remover todas las fuentes de ignición.	4.2.1.1.- Contar con equipo de combate a incendios y personal capacitado en combato a incendios.	1	1	A	66.66
	4.3.1.1.- Evitar aumento de temperatura, controlando el flujo, realizando reparación de componente en falla o enfriando con agua el ducto.	4.3.1.1.- Procedimiento para evitar y contener el aumento de temperatura del ducto	1	1	A	66.66
5	5.1.1.1.- Detección con SCADA. Cerrar válvulas corrientes arriba para evitar se libere más material.	5.1.1.1.- Realizar un plan de evacuación para el personal que se encuentre trabajando en los campos aledaños.	1	1	A	75
	5.2.1.1.- Retirar la toma clandestina y reparar los componentes dañados.	5.2.1.1.- llevar a cabo la inspección constante del tramo del ducto asentándolo en una bitácora fotográfica de cada 100 metros.	2	2	B	33 33
6	6.1.1.1.- Cerrar las válvulas corrientes abajo y realizar la reparación del filtro.	6.1.1.1.- Realizar bitácora de mantenimiento preventivo de la RME	1	1	A	50
	6.2.1.1.- Cerrar las válvulas corrientes abajo y realizar la reparación de la válvula en falla.	6.2.1.1.- realizar bitácora de mantenimiento preventivo de la ERM	1	2	A	50
	6.3.1.1.- Cerrar válvulas electrónicas de emergencia. Realizar procedimiento de reparación de emergencia.	6.3.1.1.- Monitoreo constante del sistema SCADA y llevar a cabo supervisión del estado de los componentes de las instalaciones.	2	1	B	50

<p>6.4.1.1.- Llevar a cabo el plan de contingencias. Evacuar al personal de la empresa, combatir el incendio y comunicarse con protección civil y bomberos.</p>	<p>6.4.1.1.- Monitoreo constante del sistema SCADA y llevar a cabo supervisión del estado de los componentes de las instalaciones.</p>	<p>2</p>	<p>1</p>	<p>B</p>	<p>50</p>
---	--	----------	----------	----------	-----------

Se presenta gráfica de jerarquización de riesgos una vez propuesto recomendaciones.

S X O Después de recomendaciones



II. DESCRIPCIÓN DE LAS ZONAS DE PROTECCIÓN EN TORNO A LAS INSTALACIONES.

La identificación de peligros se realizó con la metodología HAZOP y la evaluación de riesgos de las estaciones de regulación se realizaron en base a dicha metodología. Los escenarios propuestos para las simulaciones en las estaciones de regulación de las empresas fueron los siguientes:

- Escenario 1: Formación de atmósfera explosiva a causa de fuga generada por ruptura en válvula bridada de 6" Ø de la City Gate.
- Escenario 2: Formación de chorro de fuego derivado de una sobrepresión porque la válvula de bola paso completo encuentra cerrada causando fuga con presencia de fuente de ignición en el sistema de transporte de gas natural.
- Escenario 3: Formación de atmósfera explosiva por fuga de gas generada por rompimiento de tubería a causa de personas externas o por hundimiento de terreno cerca del río Lerma.
- Escenario 4: Sobrepresión generada por falla en el reductor de presión de la ERM causando explosión.

En cada simulación se presentan las hojas de trabajo con los datos ingresados al sistema de simulación SCRI. Estos son los **peores escenarios posibles** dentro de las instalaciones del proyecto.

Es de vital importancia estar preparados para eventos de esta magnitud para tener un quipo y plan de acción para llevar a cabo la salvaguarda de emergencia tanto de las instalaciones como del personal que se encuentra dentro de ellas en el momento del evento.

Las causas de estos escenarios fueron identificadas con la metodología HAZOP en el apartado anterior.

II.1. Radios potenciales de afectación.

Para estimar las tasas de emisión provenientes de las fugas generadas en el ducto fueron calculadas mediante el software SCRI EMISIONES para dos posibles sucesos que a continuación se enlistan:

1. Tomando en consideración un diámetro de agujero de 3" generando una tasa de emisión de **13.3812 Kg/s**.
2. Tomando en consideración un diámetro de agujero de 6" generando una tasa de emisión de **48.5606 Kg/s**.

Además, se consideró un tiempo de 120 s como tiempo de liberación. Los cálculos para las tasas de emisiones se adjuntan en el anexo 6.

Anexo 6. Reportes de cálculo de tasas de emisión.

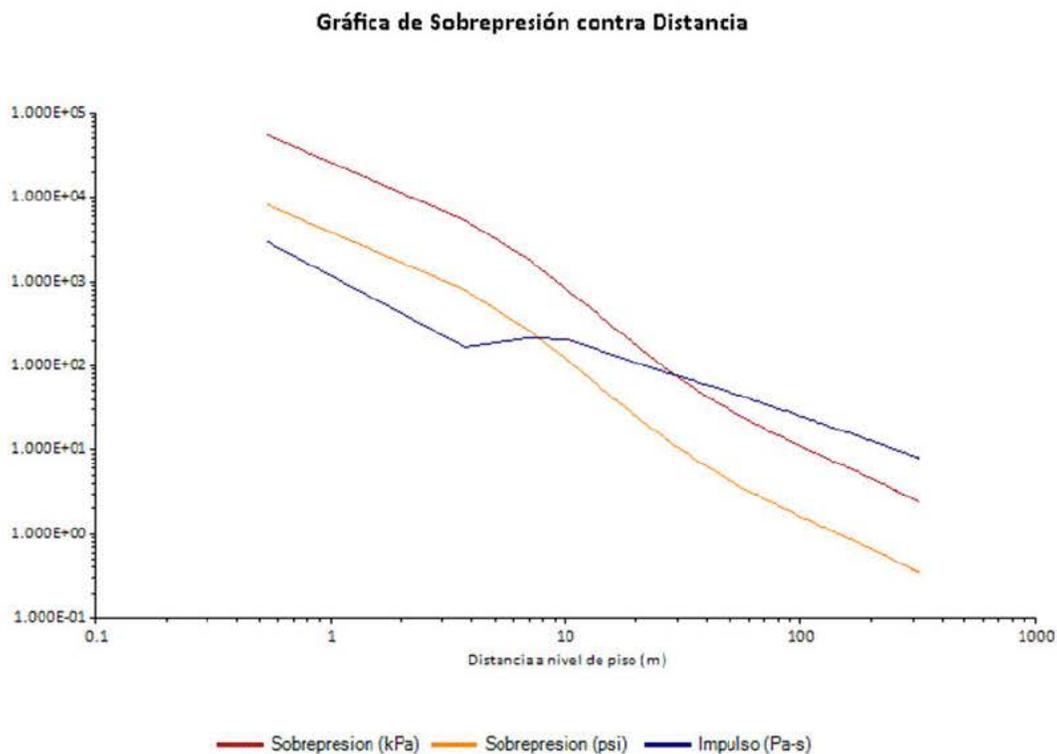
A continuación, se presentan los radios de afectación identificados.

Escenario 1. Formación de atmósfera explosiva a causa de fuga generada por ruptura en válvula bridada de 6" Ø de la City Gate.

Tomando en consideración lo ya mencionado anteriormente, para tal escenario se tomará un orificio de 3" a una presión de 21 Kg/cm².

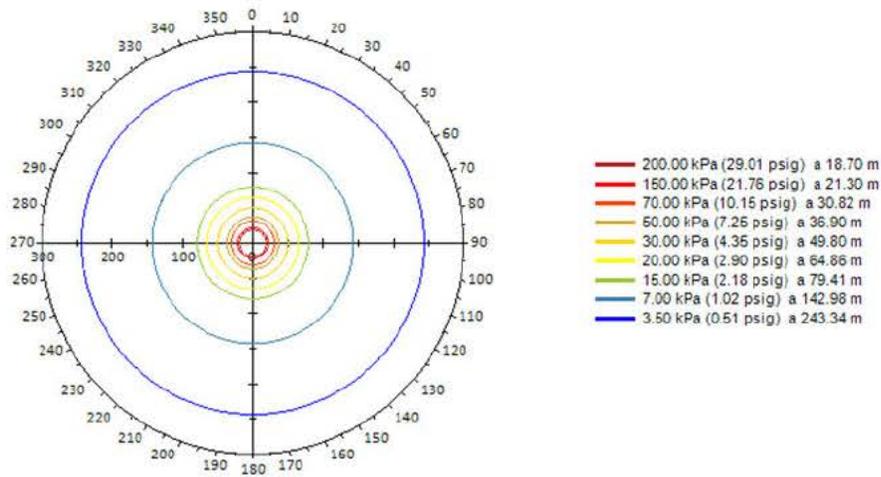
De acuerdo a las consideraciones, la nube tendrá un peso de 1605.744 Kg en un tiempo de liberación de 120 s.

La tasa de concentraciones se presenta en la siguiente ilustración.



Se puede apreciar que la sobrepresión tiende a cero hasta los 300 metros, lo cual indica que la magnitud del evento es el máximo evento catastrófico. A continuación, se presentan los radios de afectación de la explosión.

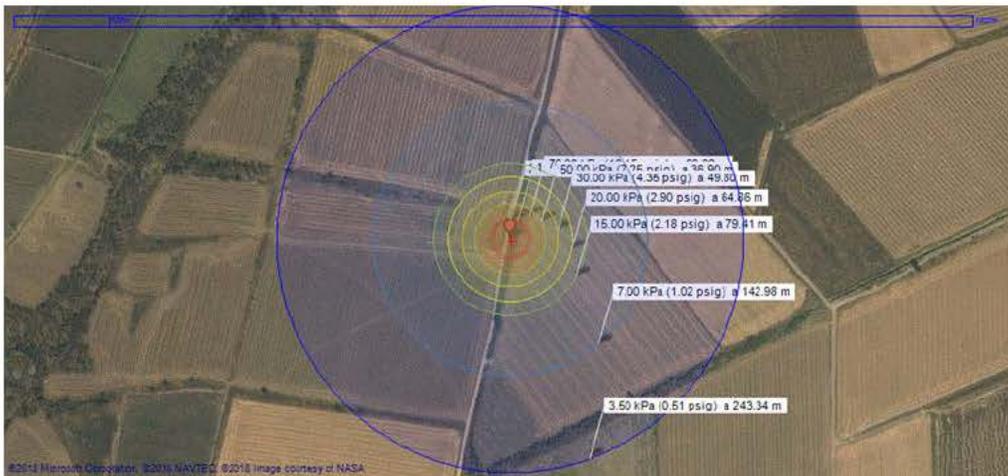
**Gráfica de Radios de Sobrepresión
(F.E.E. = 0.03)**



Energía equivalente a 514.87 kg de TNT

Como se puede observar los radios de afectación para la ZA y ZAR son de 243.34 y 142.98 m respectivamente.

Para este evento la zona de alto riesgo tendría interacción únicamente con parcelas cercanas a la City Gate.



Anexo 7. Reporte para Escenario 1.

Escenario 2: Formación de chorro de fuego derivado de una sobrepresión porque la válvula de bola paso completo encuentra cerrada causando fuga con presencia de fuente de ignición en el sistema de transporte de gas natural.

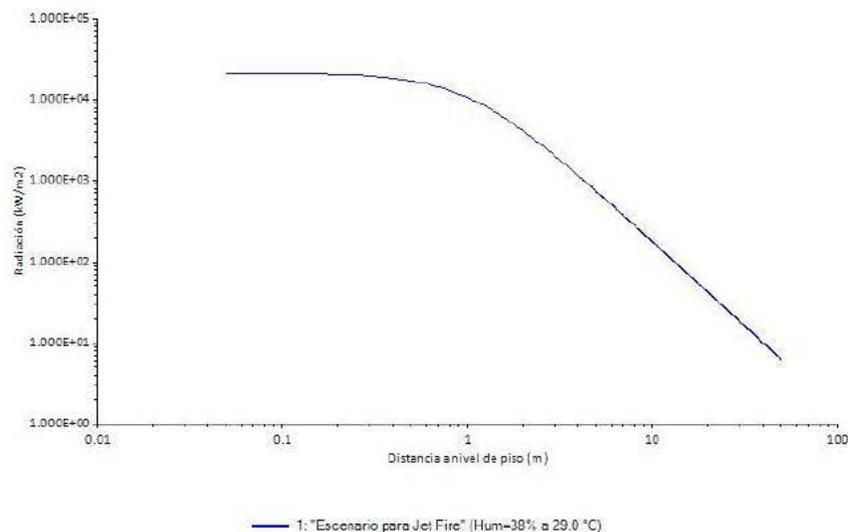
Para la simulación del Jet Fire en registro de Charapuato se hizo de cuenta que se liberará el material e instantáneamente se pusiera en contacto con una fuente de ignición. Se tomó la tasa de emisión del ejemplo anterior 13.8 Kg/s teniendo una emisión de clase sónica.

El reporte del simulador SCRI Fuego se presenta como anexo 8.

Anexo 8. Reporte para Escenario 2.

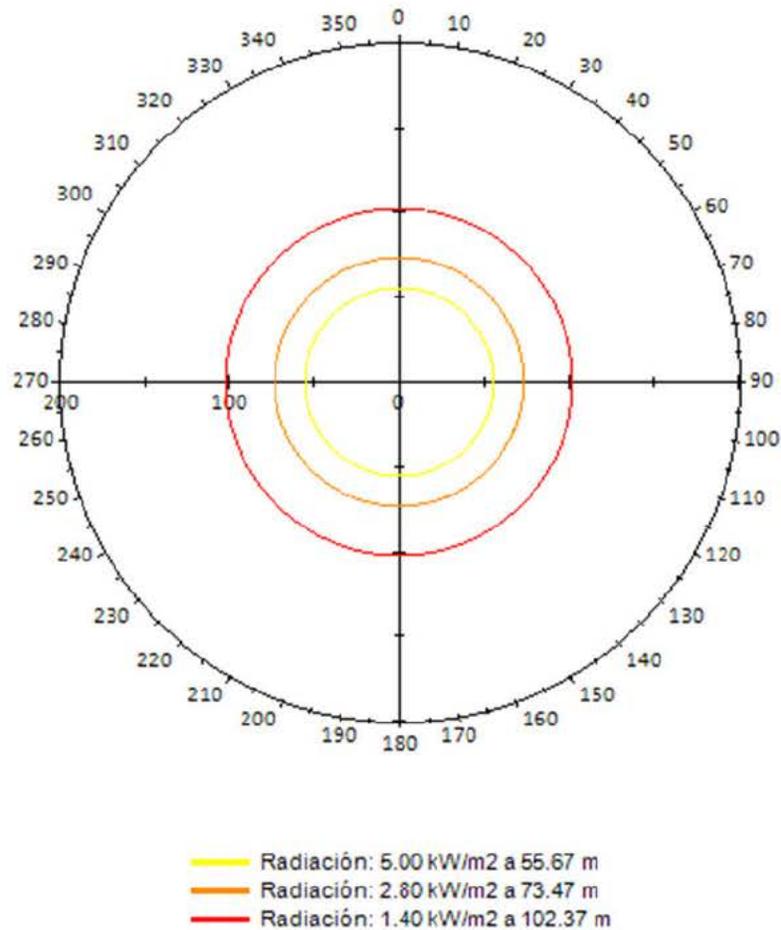
La tasa de concentración de radiación provocada por el chorro de fuego se presenta a continuación.

Gráfica de Radiación contra Distancia a nivel de piso.



Se puede observar que para 50 metros la radiación equivale a 1 KW/m². La radiación empieza a descender a partir de que comienza el primer metro con una radiación constante de 10000 KW/m² dañando todo lo que este cerca del chorro de fuego.

Gráfica de Radios de Afectación



Como se puede observar en el radio de afectación como tal, la zona de alto riesgo (ZAR) de 5 KW/m² es de 55.67 m y la de amortiguamiento (ZA) es de 102.37 m desde la fuente de emisión del accidente.



El chorro de fuego tendría un radio de ZAR y ZA de 55.67 m y 102.37 m respectivamente. La infraestructura con la cual tendría interacción tanto la ZA y ZAR es con el tramo que lleva a Charapuato así como con parcelas colindantes. Además, también afectaría a los posibles trabajadores o maquinaria que se encuentren laborando en los campos agrícolas aledaños.

Se presentan los radios de afectación en tamaño considerable en el anexo 8

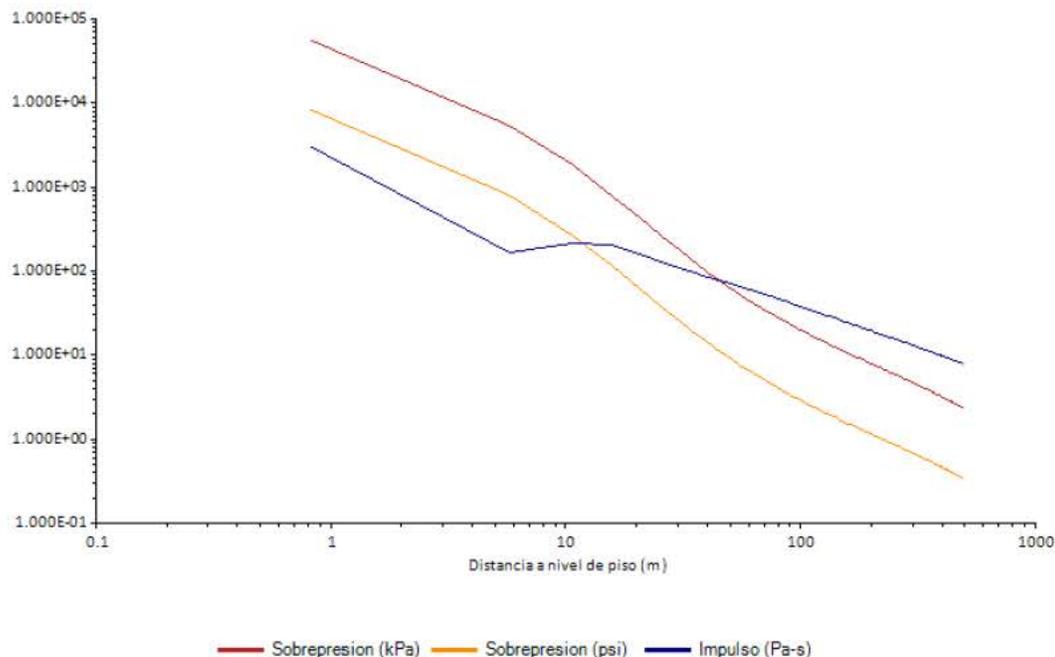
Escenario 3: Formación de atmósfera explosiva por fuga de gas generada por rompimiento de tubería a causa de personas externas o por hundimiento de terreno cerca del río Lerma.

Para el ducto se supuso que una parte de las tierras aledañas al río Lerma sufrieron un hundimiento haciendo que la tubería que se encontraba en esa zona se rompiera en su totalidad.

Para esta simulación, se consideró un agujero de 6" tomando en consideración el rompimiento total, por lo que la tasa de emisión será de 48.5606 Kg/s y una masa liberada en un periodo de 120 s de 5827.272 Kg obteniendo un área expandida de 0.563 m².

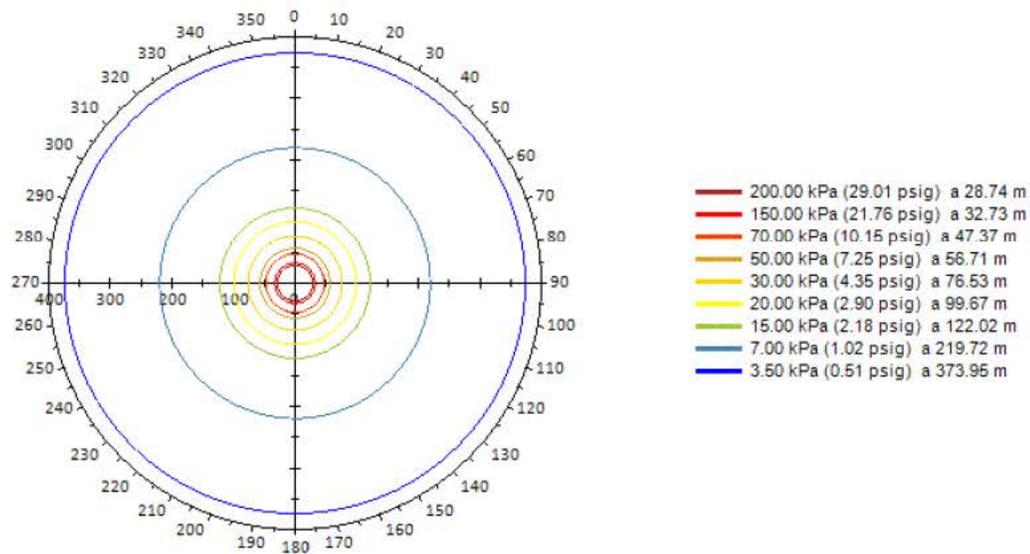
La tasa de concentraciones se presenta en la siguiente ilustración.

Gráfica de Sobrepresión contra Distancia

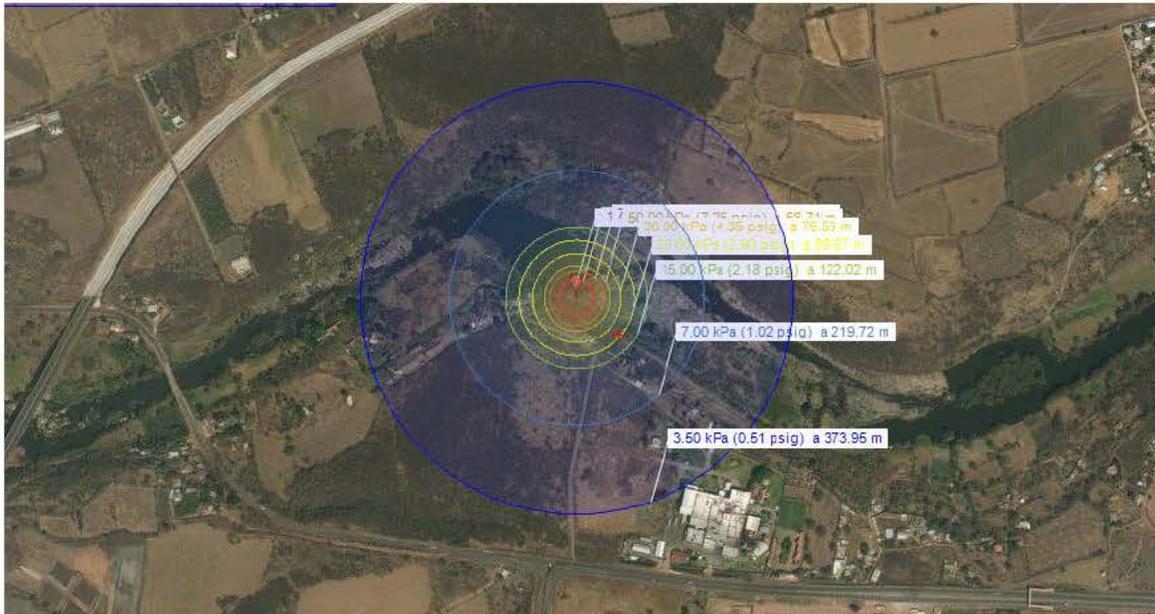


Se puede apreciar que la sobrepresión tiende a cero hasta los 500 metros, lo cual indica que la magnitud del evento es el máximo evento catastrófico. A continuación, se presentan los radios de afectación de la explosión.

**Gráfica de Radios de Sobrepresión
(F.E.E. = 0.03)**



Energía equivalente a 1868.46 kg de TNT



Los radios de la ZA y de la ZAR son 373.95 y 219.72 metros respectivamente.

Este evento máximo catastrófico tendría un ZA y ZAR de 373.95 y 219.72 metros respectivamente. Las 2 zonas afectarían al cauce del río Lerma causando posibles hundimientos de tierra por la sobrepresión generada, y afectaría en demasía la zona de selva baja caducifolia teniendo pérdidas importantes.

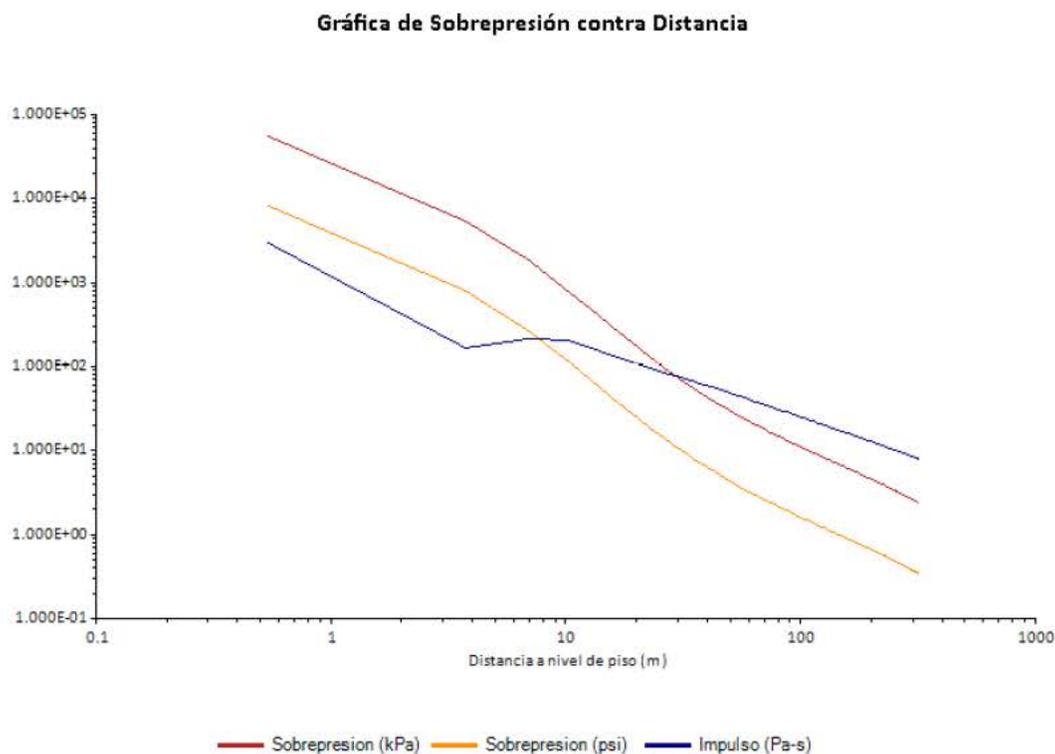
Se presentan los radios de afectación en tamaño considerable en el anexo 9

Anexo 9. Reporte para Escenario 3.

Escenario 4: Sobrepresión generada por falla en el reductor de presión de la ERM causando explosión.

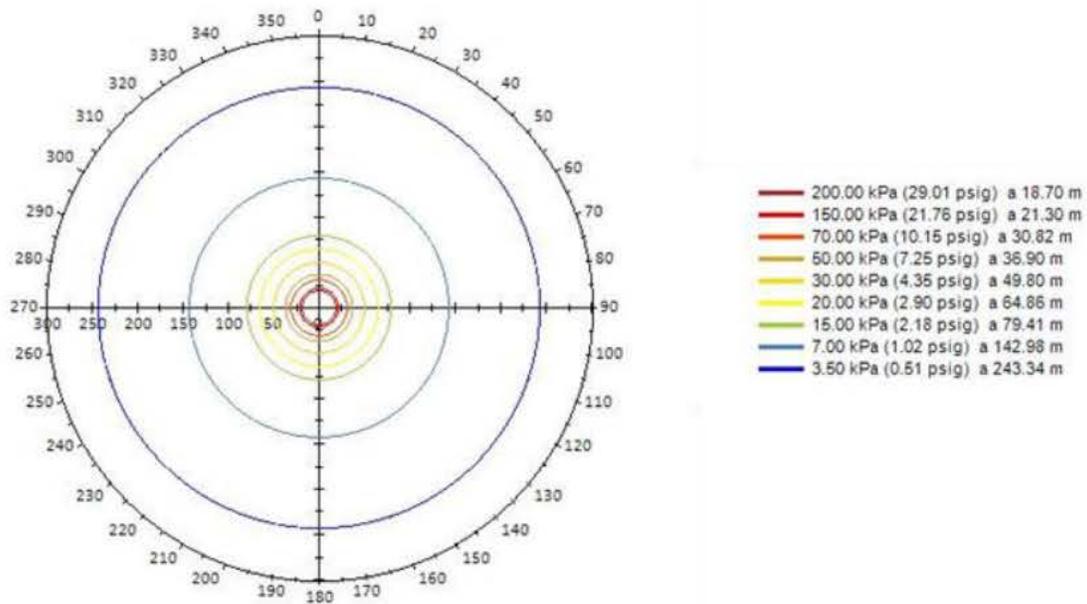
Tomando en consideración un orificio de 3" a una presión de 21 Kg/cm², la nube tendrá un peso de 1605.744 Kg en un tiempo de liberación de 120 s. Esta liberación tendrá como consecuencia un área de emisión expandida de 0.155 m².

La tasa de concentraciones se presenta en la siguiente ilustración.



Se puede apreciar que la sobrepresión tiende a cero hasta los 300 metros, lo cual indica que la magnitud del evento es el máximo evento catastrófico. A continuación, se presentan los radios de afectación de la explosión.

**Gráfica de Radios de Sobrepresión
(F.E.E. = 0.03)**



Energía equivalente a 514.87 kg de TNT

Como se puede observar en el radio de afectación como tal, la Zona de Alto Riesgo (ZAR) de 1 psi es de 142.98 m y la de Amortiguamiento (ZA) es de 243.34 m desde la fuente de emisión del accidente.



En la explosión que sucede en la ERM se observa que afecta a las instalaciones aledañas a la planta, así como algunas edificaciones cercanas, además de la carretera Degollado-La Piedad.

Anexo 10. Reporte para Escenario 4.

Para complementar la información de este capítulo, se analizaron los nodos del sistema a través de la misma metodología HAZOP, pero ahora considerando una fuga en un orificio del 20% de diámetro nominal del ducto, así como suponiendo que el orificio tiene el 100% del diámetro nominal del ducto.

Los escenarios fueron los siguientes, considerando cada uno de ellas para los nodos identificados como los escenarios más catastróficos:

- Escenario 1: Fuga y explosión por orificio correspondiente al 20% del diámetro nominal del ducto en la conexión con el ducto de CENAGAS.
- Escenario 2: Jet Fire de fuga por orificio correspondiente al 20% del diámetro nominal del ducto.
- Escenario 3: Fuga y explosión por orificio correspondiente al 100% del diámetro nominal del ducto.
- Escenario 4: Jet Fire por orificio correspondiente al 100% del diámetro nominal del ducto.

Para calcular la tasa de emisión se consideraron los siguientes parámetros de la tubería.

Diámetro de la tubería (cm)	15.24
Longitud de la tubería (m)	7,256.00
Presión de la tubería (atm)	20.31
Diámetro del agujero (cm) 20% de diámetro nominal	3.048
Diámetro del agujero (cm) 100% de diámetro nominal	15.24
Tasa de emisión 20% de orificio diámetro nominal (Kg/s)	1.87
Tasa de emisión 100% de orificio diámetro nominal (Kg/s)	48.29

Además, como información complementaria se anexan al presente los modelos de simulación con el software SCRI.

Anexo 11. Reportes de las memorias de cálculo para las simulaciones generadas de manera complementaria.

Escenario 1: Fuga y explosión por orificio correspondiente al 20% del diámetro nominal del ducto en la conexión con el ducto de CENAGAS.

En la zona del libramiento solamente afectaría a las áreas de cultivo y a los trabajadores que se encuentren en ellas.

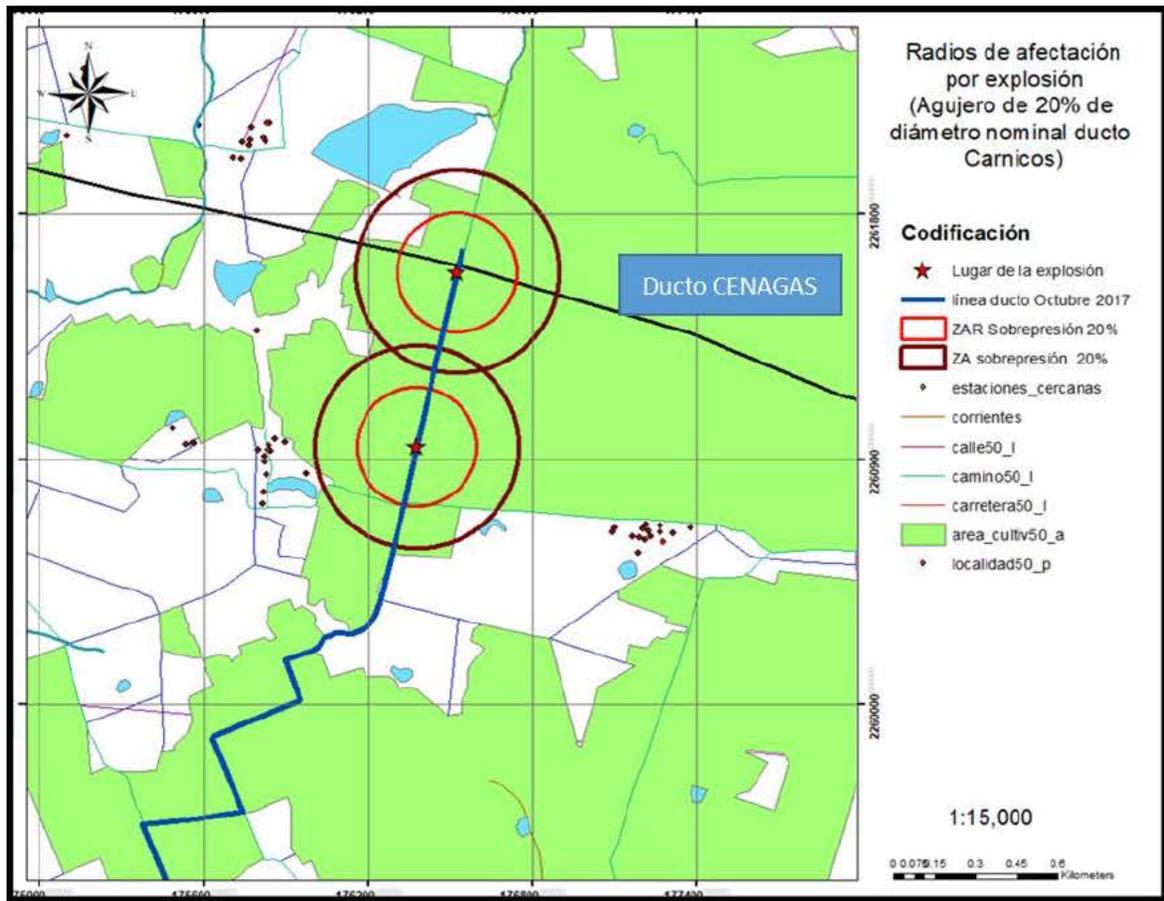
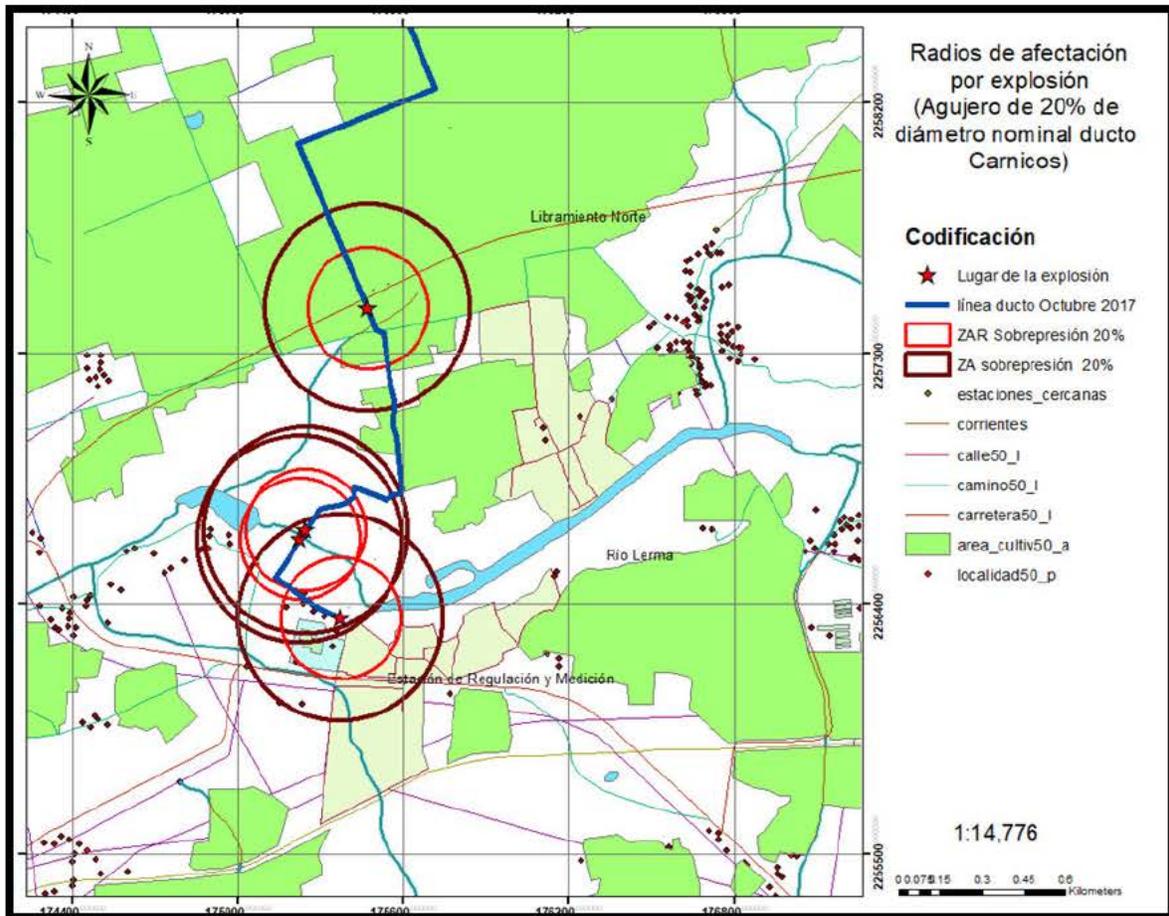


Ilustración 19. Radios de afectación por explosión (Interconexión y City Gate). Agujero de 20% del diámetro nominal del ducto.

Para el evento de explosión por fuga por un orificio del 20% de diámetro nominal de la tubería en la conexión del ducto de CENAGAS no tendría interacción de riesgo con ningún punto de interés. Solamente se vería afectada al área agrícola.



**Ilustración 20. Radios de afectación por explosión (Charapuato, Inicio y cruce Río Lerma y RME).
Agujero de 20% del diámetro nominal del ducto.**

En este evento se muestra el mismo evento de explosión por fuga por un orificio del 20% de diámetro nominal de la tubería, para 4 lugares, la estación de medición y regulación de la empresa cárnicos Strattega, el inicio y final del río Lerma, así como el camino a Charapuato.

En la explosión que sucede en la ERM se observa que afecta a las instalaciones aledañas a la planta, así como algunas edificaciones cercanas, además el ZAR alcanza a tener interacción con un asentamiento humano llamado las canoas del salto.

La explosión en el río Lerma afecta el radio del ZAR y de la ZA el río en su totalidad, así como gran parte de la selva baja caducifolia; dentro de los radios de Zona de Amortiguamiento se encuentra una escuela que podría verse afectada por la sobrepresión

Escenario 2: Jet Fire de fuga por orificio correspondiente al 20% del diámetro nominal del ducto.

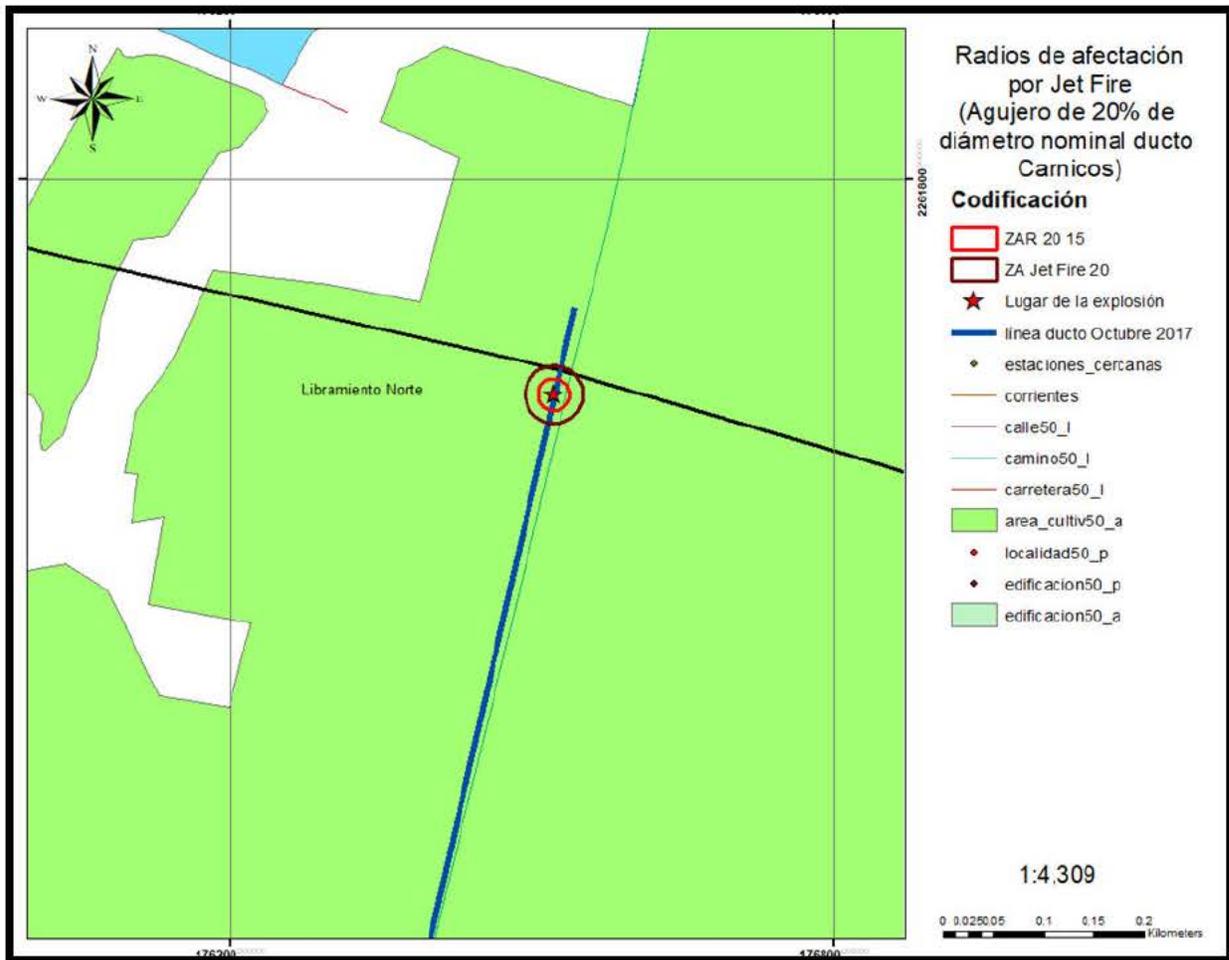


Ilustración 21. Radios de afectación por Jet Fire (Libramiento). Agujero de 20% del diámetro nominal del ducto. Vista 1.

Mismo caso para el punto de la conexión del ducto con el ducto de CENAGAS, no se prevé un daño significativo, a menos que en el área de cultivos exista hierba seca lo cual provocaría un incendio a lo largo del área agrícola.

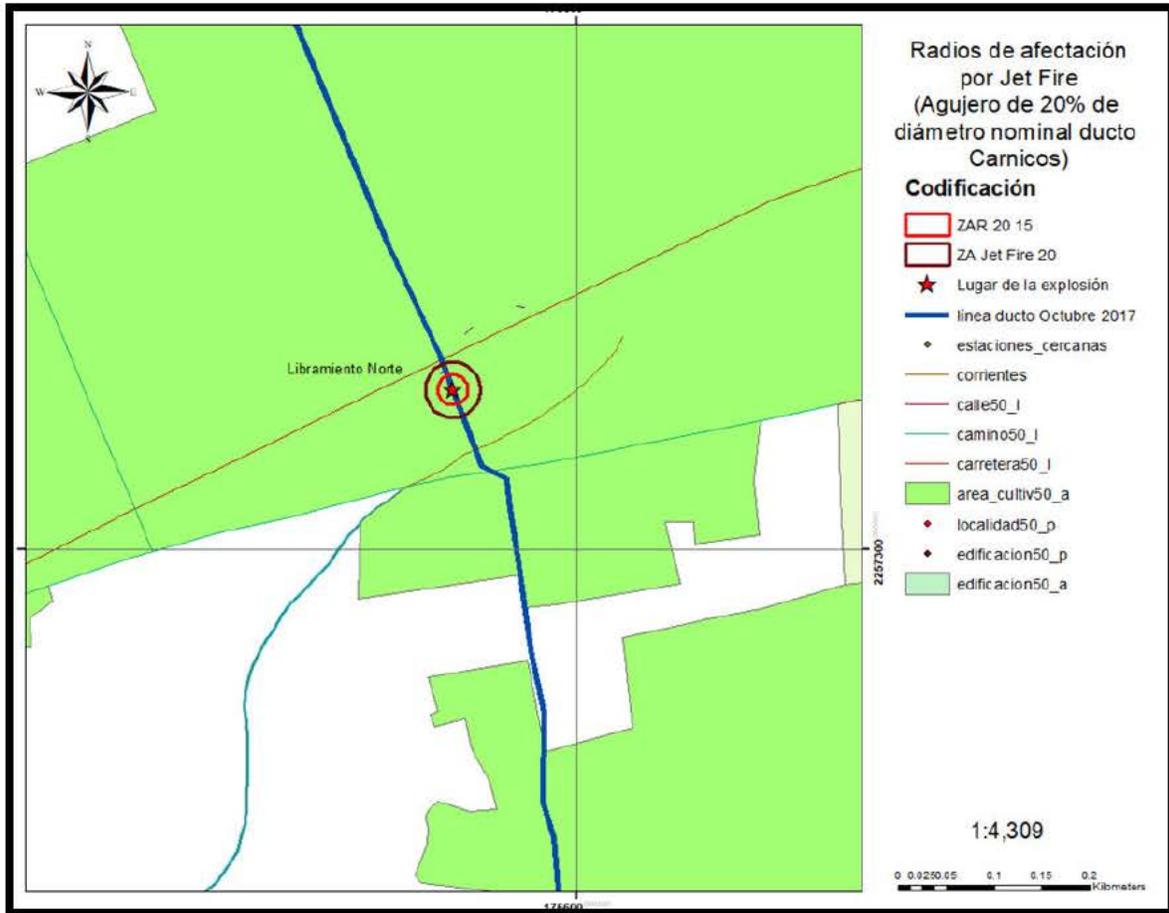
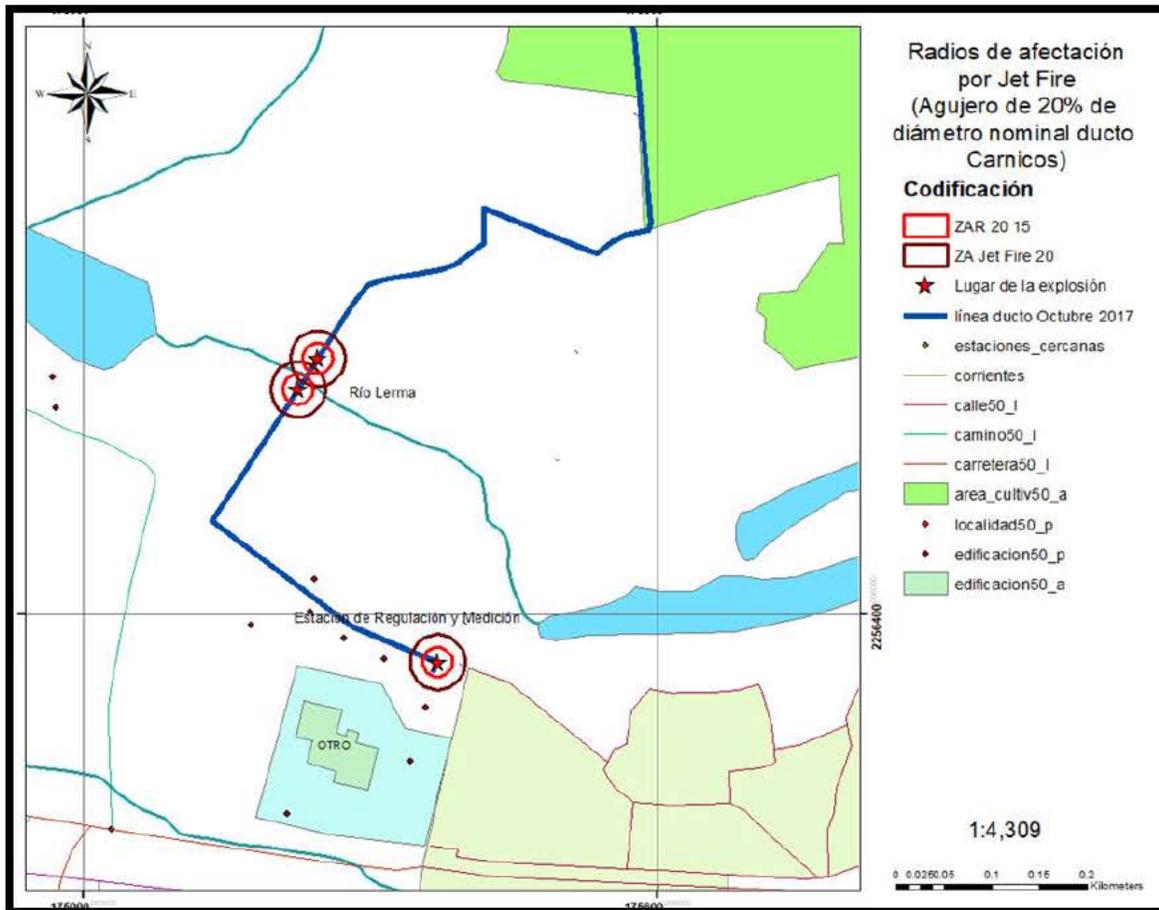


Ilustración 22. Radios de afectación por Jet Fire (Libramiento). Agujero de 20% del diámetro nominal del ducto. Vista 2.

En este evento no se prevé un daño significativo, a menos que en el área de cultivos exista hierba seca lo cual provocaría un incendio a lo largo del área agrícola.



**Ilustración 23. Radios de afectación por Jet Fire (Charapato, Inicio y cruce Río Lerma y ERM).
Agujero de 20% del diámetro nominal del ducto.**

Con respecto al Jet Fire provocado por un orificio del 20% del diámetro nominal de la tubería en los 3 lugares (ERM, inicio y fin del río Lerma) se tiene una afectación muy puntual, ya que los radios de ZA y ZAR son de 28.61 y 15.45 metros, respectivamente.

Para el caso del río Lerma se vería afectados los individuos de vegetación ribereña que se encuentren en el perímetro del Lerma que se encuentren en el ZAR, provocando un incendio de estos y posible esparcimiento del incendio dependiendo de la duración de la fuga.

Escenario 3: Fuga y explosión por orificio correspondiente al 100% del diámetro nominal del ducto.

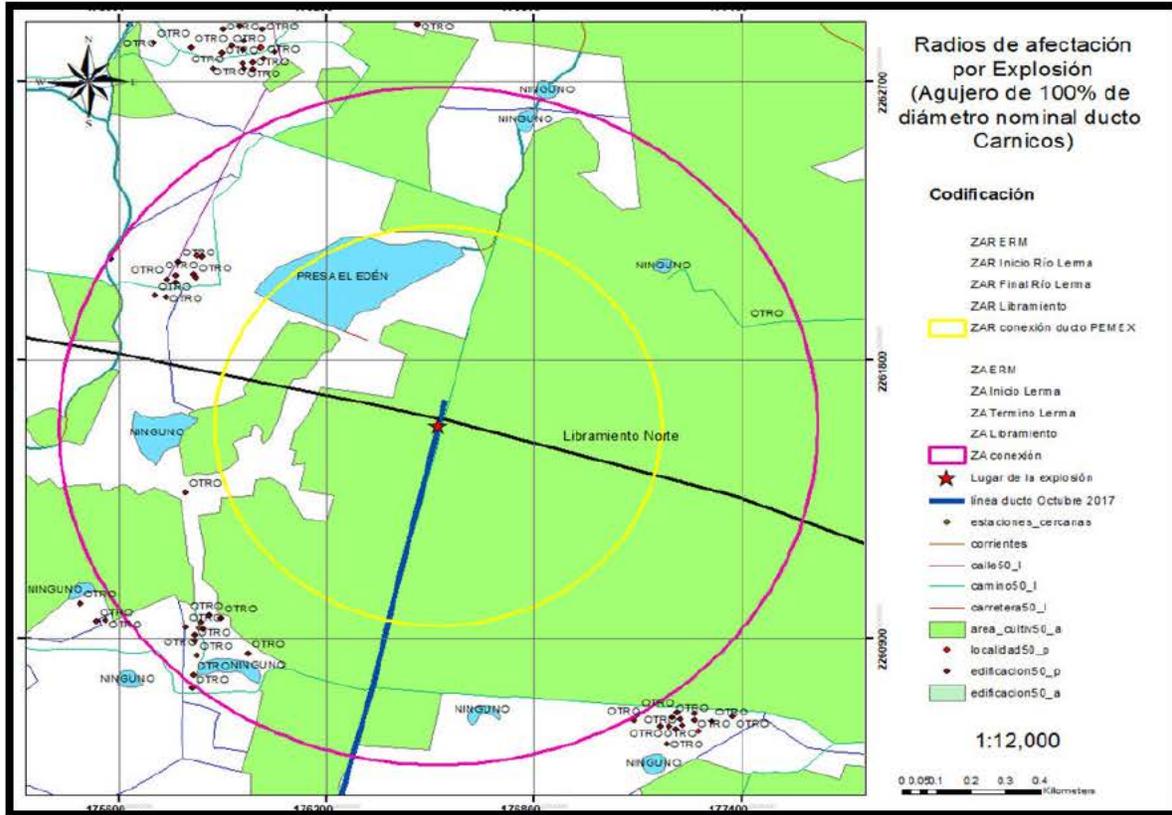


Ilustración 24. Radios de afectación por explosión (Interconexión y City Gate). Agujero de 100% del diámetro nominal del ducto.

Este evento en la conexión de CENAGAS causaría afectaciones al cuerpo de agua denominado presa del Edén. Las Edificaciones que se encuentran dentro de la ZA son de tipo almacenes o instalaciones agrícolas.

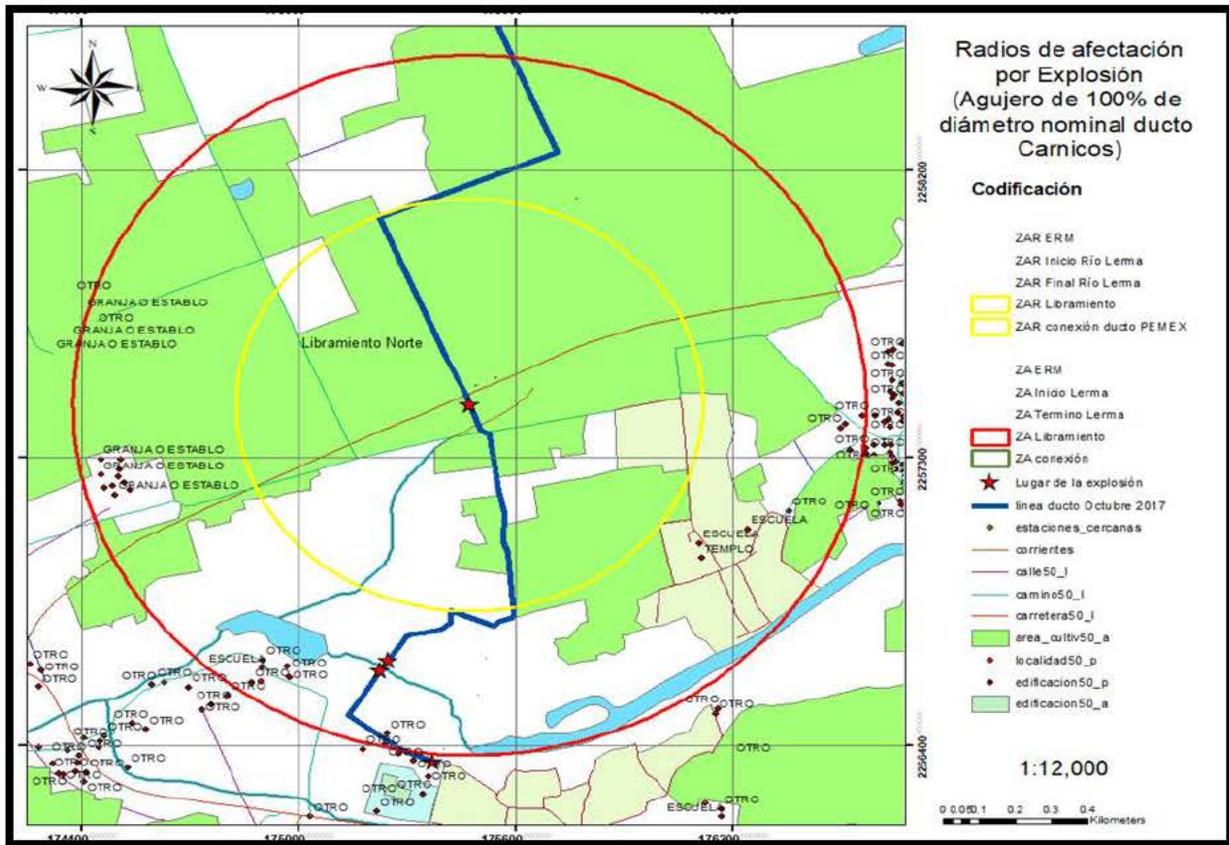


Ilustración 25. Radios de afectación por explosión (Charapuato). Agujero de 100% del diámetro nominal del ducto.

Para la explosión causada por un orificio del 100% del valor nominal del diámetro del ducto en el libramiento se prevé afectaciones a las granjas y establos aledaños, así como a los trabajadores y ganado que se almacene en ellos, en el área de amortiguamiento se encuentran 3 escuelas y 1 templo.

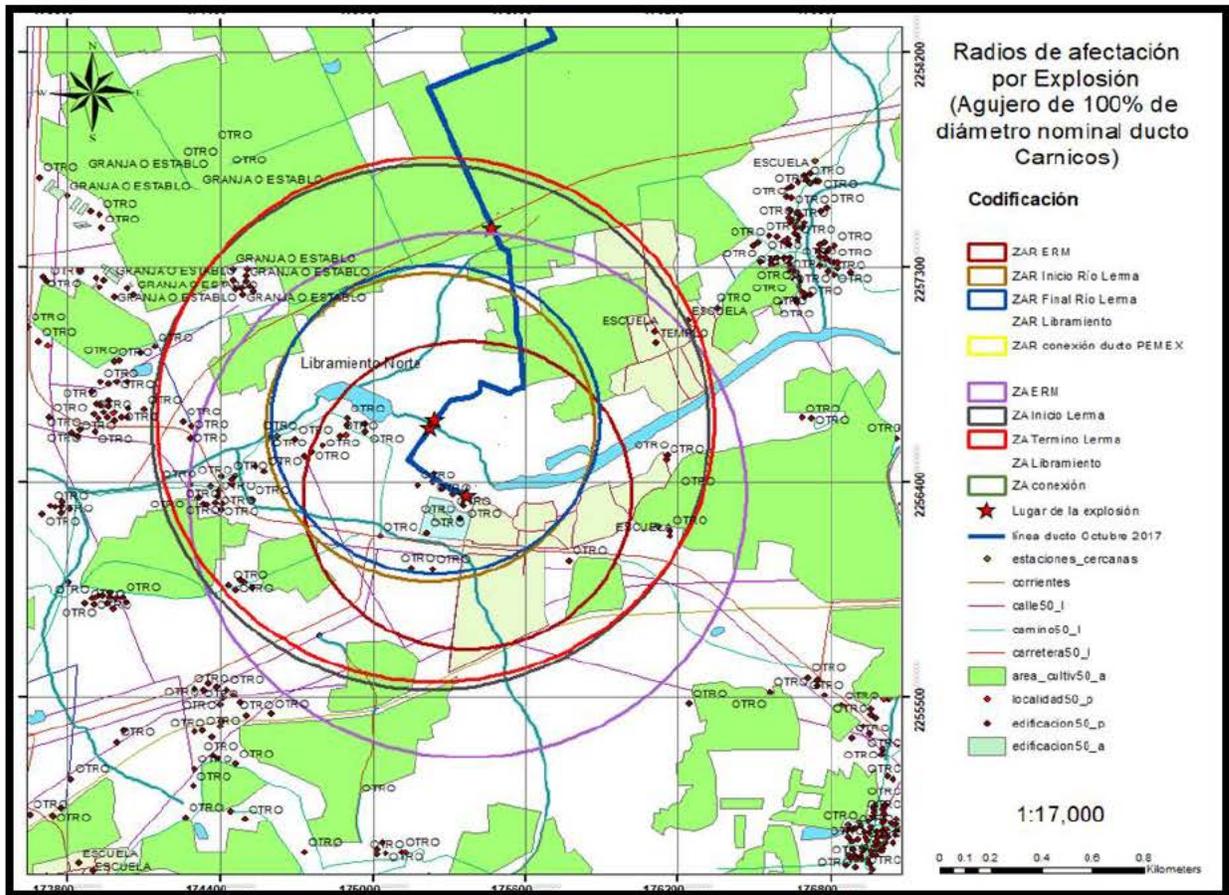


Ilustración 26. Radios de afectación por explosión (Inicio. Final cruce Río Lerma y ERM). Agujero de 100% del diámetro nominal del ducto.

En este evento no deseado se prevén afectaciones al entorno de la ZAR y ZA, en dado caso que pase en alguno de estos 3 Lugares (ERM, Inicio y final del Río Lerma) dentro del ZAR se encuentran varias granjas, gran parte de la selva baja caducifolia edificaciones industriales diversas, asentamientos humanos (las canoas del salto, palo blanco del Salto y Charapuato), además el deslave del río Lerma podría causar desvíos del cauce afectando a las instalaciones cercanas al área del río.

Escenario 4: Jet Fire por orificio correspondiente al 100% del diámetro nominal del ducto.

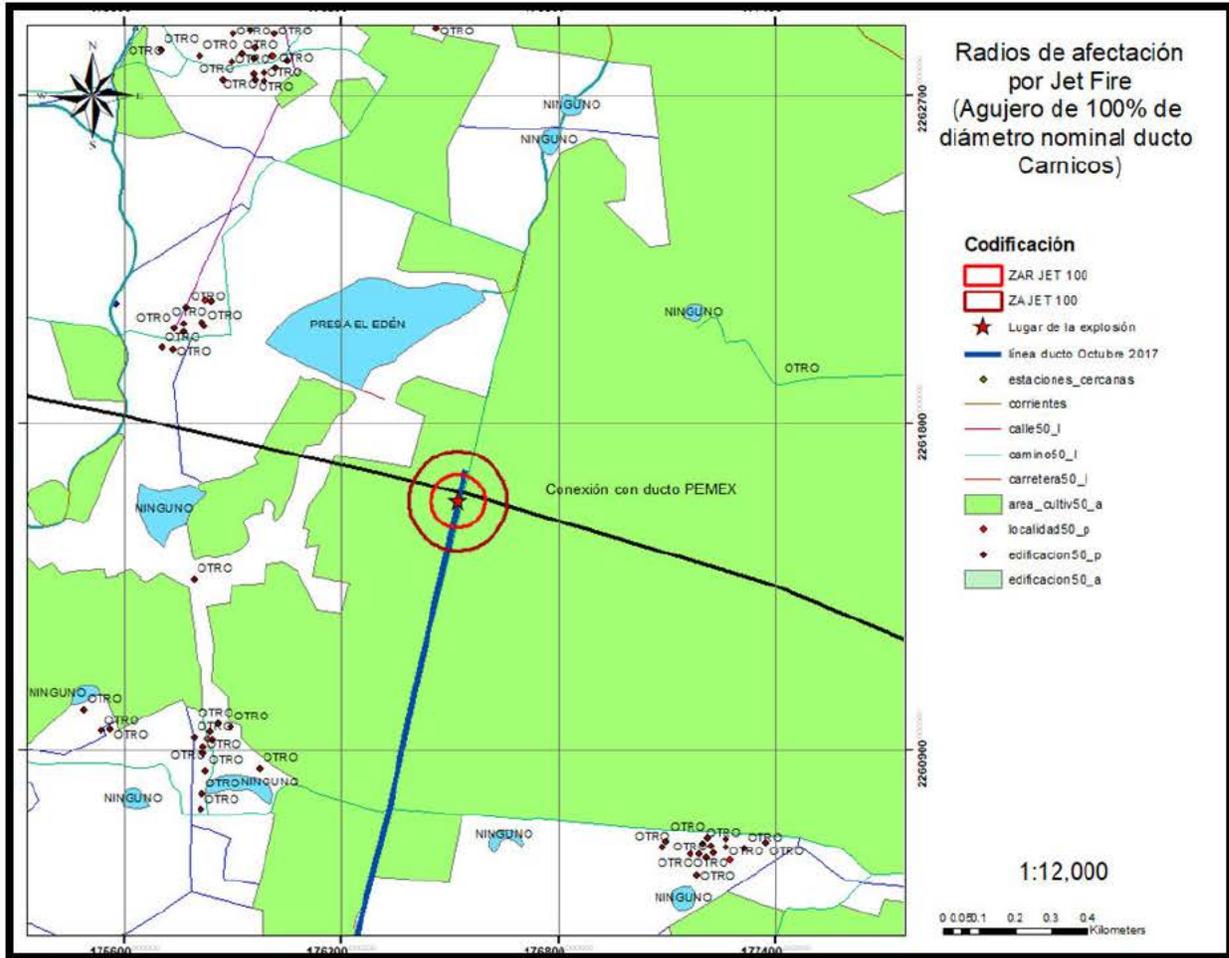


Ilustración 27. Radios de afectación por Jet Fire (Interconexión y City Gate). Agujero de 100% del diámetro nominal del ducto.

Para el punto de la conexión del ducto con el ducto de CENAGAS, no se prevé un daño significativo, a menos que en el área de cultivos exista hierba seca lo cual provocaría un incendio a lo largo del área agrícola.

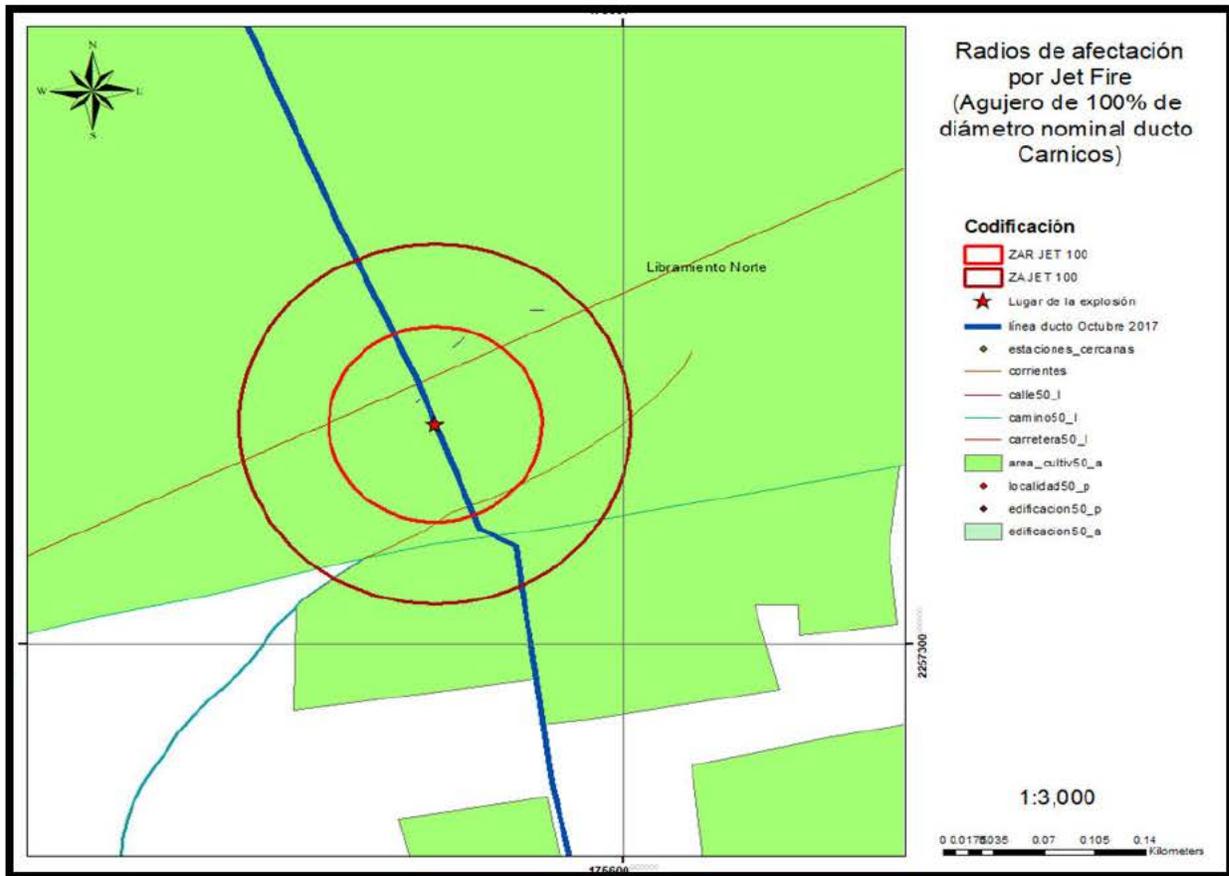


Ilustración 28. Radios de afectación por Jet Fire (Charapuato). Agujero de 100% del diámetro nominal del ducto.

En este evento no se prevé un daño significativo, a menos que en el área de cultivos exista hierba seca lo cual provocaría un incendio a lo largo del área agrícola. Además, los vehículos que estén transitando en el libramiento podrían verse afectados.

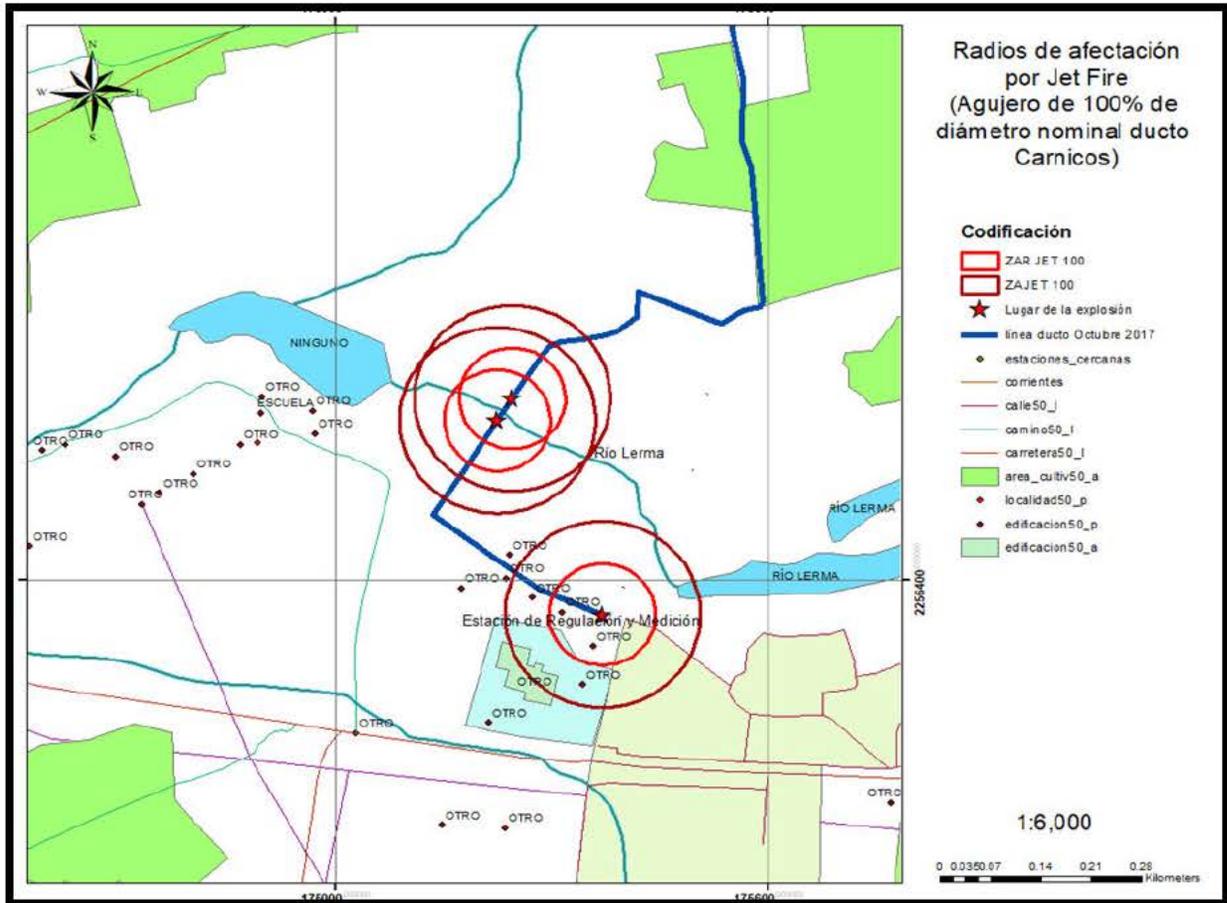


Ilustración 29. Radios de afectación por Jet Fire (Inicio y final cruce Río Lerma y ERM). Agujero de 100% del diámetro nominal del ducto.

Para el evento del Jet Fire proveniente de un orificio del 100% del diámetro nominal de la tubería se prevén afectaciones puntuales en los puntos de emisión, es decir en la ERM se vería afectado las instalaciones de la planta de cárnicos Strattega causando posibles incendios debido al aumento de la temperatura de las superficies.

En el caso del Río Lerma se vería afectada la vegetación ribereña que se encuentren en el perímetro del Lerma que se encuentren en el ZAR, provocando un incendio de estos y posible esparcimiento del incendio dependiendo de la duración de la fuga.

II.2. Interacciones de riesgo.

A continuación, se presentan las interacciones de riesgo con sus principales medidas preventivas y de mitigación.

Evento	ZAR (m)	ZA (m)	Interacción de riesgo	Medidas preventivas de mitigación
1- Formación de atmósfera explosiva a causa de fuga generada por ruptura en válvula bridada de 6" Ø de la City Gate.	142.98	243.34	Parcelas agrícolas únicamente en donde no se verá reflejado algún daño ambiental importante	<ol style="list-style-type: none"> 1. Realizar mantenimiento preventivo para evitar daños en el City Gate. 2. Comunicación con la entidad operadora del ducto de 36" de diámetro para verificar el estado, pedir los informes del estado de ese trazo que podría verse afectado constantemente. 3. Se debe de señalar adecuadamente la ubicación del ducto. 5. La City Gate debe de tener al menos una barrera física con la que se amortigüe la sobrepresión generada. 6. se debe de establecer un plan de acción de respuesta a emergencias incluido en el PPA donde se especifiquen las acciones a tomar y formas de comunicar el riesgo.
2- Formación de chorro de fuego derivado de una sobrepresión porque la válvula de bola paso completo encuentra cerrada causando fuga con	55.67	102.37	Camino que conduce a Charapuato. La principal interacción serán las parcelas que rodean el camino sin tener contacto con zonas aledañas con asentamientos humanos.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Se debe de establecer un plan de acción de respuesta a emergencias incluido en el PPA donde se especifiquen las acciones a tomar y formas de comunicar el riesgo con los vehículos que circulen por la ZA.

<p>presencia de fuente de ignición en el sistema de transporte de gas natural.</p>				<p>2. Tener equipo de combate a incendio y un hidrante para uso de los equipos de protección civil y las brigadas de combate de incendios designadas dentro de la empresa.</p> <p>3. Se debe de tener un sistema de detección de presión automático (SCADA) que cierre las válvulas río abajo para evitar se siga generando el chorro de fuego.</p> <p>4. Se deben de remover todos los equipos que puedan tener interacción de riesgo (que puedan explotar en caso de que aumente de temperatura) como los son los tanques de gasolina de los vehículos y cisternas que transporten materiales peligrosos.</p>
<p>3- Formación de atmósfera explosiva por fuga de gas generada por rompimiento de tubería a causa de personas externas o por hundimiento de terreno cerca del río Lerma.</p>	<p>219.72</p>	<p>373.95</p>	<p>Se pueden generar hundimientos en el río Lerma creando desbordamientos por obstrucciones. Aumento de nivel de riesgo por interacción con equipos de las industrias aledañas.</p>	<p>1. Se debe de establecer un plan de acción de respuesta a emergencias incluido en el PPA donde se especifiquen las acciones a tomar y formas de comunicar el riesgo con los vehículos que circulen por la ZA y con la empresa que se localiza en el sur de la RME de distribuidora de cárnicos.</p> <p>2. Tener equipo de combate a incendio y un hidrante para uso de los equipos de protección civil y las brigadas de combate de incendios designadas dentro de la empresa.</p> <p>3. Se debe de tener un sistema de detección de presión automático (SCADA) que cierre las válvulas río abajo para evitar se siga generando el chorro de fuego.</p>

				4. En caso de hundimientos de terrenos aledaños al Lerma realizar una valoración de la gravedad y realizar un análisis de las consecuencias de daños en el trazo del ducto que se ubica en el ZA.
4- Sobrepresión generada por falla en el reductor de presión de la ERM causando explosión.	142.98	243.34	No hay interacción de riesgo con área agrícola pero sí de toda la instalación de Cárnicos Strattega.	<p>1. Se debe de establecer un plan de acción de respuesta a emergencias incluido en el PPA donde se especifiquen las acciones a tomar y formas de comunicar el riesgo con los vehículos que circulen por la ZA y con la empresa que se localiza en el sur de la RME de distribuidora de cárnicos.</p> <p>2. Tener equipo de combate a incendio y un hidrante para uso de los equipos de protección civil y las brigadas de combate de incendios designadas dentro de la empresa.</p>

Tabla 4. Interacciones de riesgo con las simulaciones de los eventos descritos de manera complementaria.

Evento	Lugar	ZAR (m)	ZA (m)	Afectaciones previstas	Medidas orientadas a la reducción del riesgo
Fuga y explosión de nube de gas emitida por un orificio de 20% del diámetro nominal del ducto.	ERM- Ubicada en la empresa Cárnicos Strattega	218.24	370.97	Afectaciones a las empresas aledañas, así como a las instalaciones propias en su totalidad. Afectación a la carretera Piedad de Cavadas-Degollado.	Plan interno de protección Civil y de atención a emergencias o contra incendios.
Fuga y explosión de nube de gas emitida por un orificio de 20% del diámetro nominal del ducto.	Inicio del río Lerma	218.24	370.97	Afectaciones al cuerpo de agua, posible deslave del río, afectación a vegetación ribereña y fauna presente en los radios de afectación. Afectaciones a las empresas aledañas, así como a las instalaciones propias en el área norte.	Plan interno de protección Civil y de atención a emergencias o contra incendios.
Fuga y explosión de nube de gas emitida por un orificio de 20% del diámetro nominal del ducto.	Final de río Lerma	218.24	370.97	Afectaciones al cuerpo de agua, posible deslave del río, afectación a vegetación ribereña y fauna presente en los radios de afectación. Afectaciones a las empresas aledañas, así como a las instalaciones propias en el área norte.	Plan interno de protección Civil y de atención a emergencias o contra incendios.
Fuga y explosión de nube de gas emitida por un orificio de 20% del diámetro nominal del ducto.	Libramiento	218.24	370.97	Afectación a las áreas agrícolas aledañas y a los trabajadores que se encuentren en ellas, así como daño inminente a los vehículos que se encuentren transitando en la ZA y ZAR.	Plan interno de protección Civil y de atención a emergencias o contra incendios.

Fuga y explosión de nube de gas emitida por un orificio de 20% del diámetro nominal del ducto.	Conexión con ducto de CENAGAS	218.24	370.97	Afectación a las áreas agrícolas aledañas y a los trabajadores que se encuentren en ellas.	Plan interno de protección Civil y de atención a emergencias o contra incendios.
Fuga y Jet Fire emitido por un orificio de 20% del diámetro nominal del ducto.	ERM- Ubicada en la empresa Cárnicos Strattega	15.56	28.61	Afectaciones a las instalaciones de Cárnicos Strattega y Río Lerma. Posible deslave o desvío de cauce.	Plan interno de protección Civil y de atención a emergencias o contra incendios.
Fuga y Jet Fire emitido por un orificio de 20% del diámetro nominal del ducto.	Inicio del río Lerma	15.56	28.61	Afectaciones a las instalaciones de Cárnicos Strattega y Río Lerma. Posible deslave o desvío de cauce.	Plan interno de protección Civil y de atención a emergencias o contra incendios.
Fuga y Jet Fire emitido por un orificio de 20% del diámetro nominal del ducto.	Final de río Lerma	15.56	28.61	Afectaciones a las instalaciones de Cárnicos Strattega y Río Lerma. Posible deslave o desvío de cauce.	Plan interno de protección Civil y de atención a emergencias o contra incendios.
Fuga y Jet Fire emitido por un orificio de 20% del diámetro nominal del ducto.	Libramiento	15.56	28.61	Afectación a las áreas agrícolas aledañas y a los trabajadores que se encuentren en ellas, así como daño inminente a los vehículos que se encuentren transitando en la ZA y ZAR.	Plan interno de protección Civil y de atención a emergencias o contra incendios.
Fuga y Jet Fire emitido por un orificio de 20% del diámetro nominal del ducto.	Conexión con ducto de CENAGAS	15.56	28.61	Afectación a las áreas agrícolas aledañas y a los trabajadores que se encuentren en ellas.	Plan interno de protección Civil y de atención a emergencias o contra incendios.

Fuga y explosión de nube de gas emitida por un orificio de 100% del diámetro nominal del ducto.	ERM- Ubicada en la empresa Cárnicos Strattega	644.89	1096.20	Afectaciones a instalaciones diversas (Escuela, templos, graneros y almacenes agrícolas) Asentamiento humanos (las canoas del salto, palo blanco del Salto y Charapuato), además el deslave del río Lerma podría causar desvíos del cauce afectando a las instalaciones cercanas al área del río.	Plan de evacuación en caso de desvío del cauce del río Lerma.
Fuga y explosión de nube de gas emitida por un orificio de 100% del diámetro nominal del ducto.	Inicio del río Lerma	644.89	1096.20	Afectaciones a instalaciones diversas (Escuela, templos, graneros y almacenes agrícolas) Asentamiento humanos (las canoas del salto, palo blanco del Salto y Charapuato), además el deslave del río Lerma podría causar desvíos del cauce afectando a las instalaciones cercanas al área del río.	Plan de evacuación en caso de desvío del cauce del río Lerma.
Fuga y explosión de nube de gas emitida por un orificio de 100% del diámetro nominal del ducto.	Final de río Lerma	644.89	1096.20	Afectaciones a instalaciones diversas (Escuela, templos, graneros y almacenes agrícolas) Asentamiento humanos (las canoas del salto, palo blanco del Salto y Charapuato), además el deslave del río Lerma podría causar desvíos del cauce afectando a las instalaciones cercanas al área del río.	Plan de evacuación en caso de desvío del cauce del río Lerma.
Fuga y explosión de nube de gas emitida por un orificio de 100% del diámetro nominal del ducto.	Libramiento	644.89	1096.20	Afectaciones a las granjas y establos aledaños, así como a los trabajadores y ganado que se almacene en ellos, en el área de amortiguamiento se encuentran 3 escuelas y 1 templo.	Plan interno de protección Civil y de atención a emergencias o contra incendios.

Fuga y explosión de nube de gas emitida por un orificio de 100% del diámetro nominal del ducto.	Conexión con ducto de CENAGAS	644.89	1096.20	Este evento en la conexión de CENAGAS causaría afectaciones al cuerpo de agua denominado presa del Edén. Las Edificaciones que se encuentran dentro de la ZA son de tipo almacenes o instalaciones agrícolas	Plan interno de protección Civil y de atención a emergencias o contra incendios.
Fuga y Jet Fire emitido por un orificio de 100% del diámetro nominal del ducto.	ERM- Ubicada en la empresa Cárnicos Strattega	73.71	135.54	se vería afectado las instalaciones de la planta de cárnicos Strattega causando posibles incendios debido al aumento de la temperatura de las superficies	Plan interno de protección Civil y de atención a emergencias o contra incendios.
Fuga y Jet Fire emitido por un orificio de 100% del diámetro nominal del ducto.	Inicio del río Lerma	73.71	135.54	En el caso del Río Lerma se vería afectada la vegetación ribereña que se encuentren en el perímetro del Lerma que se encuentren en el ZAR, provocando un incendio de estos y posible esparcimiento del incendio dependiendo de la duración de la fuga.	Plan interno de protección Civil y de atención a emergencias o contra incendios.
Fuga y Jet Fire emitido por un orificio de 100% del diámetro nominal del ducto.	Final de río Lerma	73.71	135.54	En el caso del Río Lerma se vería afectada la vegetación ribereña que se encuentren en el perímetro del Lerma que se encuentren en el ZAR, provocando un incendio de estos y posible esparcimiento del incendio dependiendo de la duración de la fuga.	Plan interno de protección Civil y de atención a emergencias o contra incendios.

Fuga y Jet Fire emitido por un orificio de 100% del diámetro nominal del ducto.	Libramiento	73.71	135.54	En este evento no se prevé un daño significativo, a menos que en el área de cultivos exista hierba seca lo cual provocaría un incendio a lo largo del área agrícola. Además, los vehículos que estén transitando en el libramiento podrían verse afectados.	Plan interno de protección Civil y de atención a emergencias o contra incendios.
Fuga y Jet Fire emitido por un orificio de 100% del diámetro nominal del ducto.	Conexión con ducto de CENAGAS	73.71	135.54	Para el punto de la conexión del ducto con el ducto de CENAGAS, no se prevé un daño significativo, a menos que en el área de cultivos exista hierba seca lo cual provocaría un incendio a lo largo del área agrícola.	Plan interno de protección Civil y de atención a emergencias o contra incendios.

Afortunadamente no hay interacción con ninguna zona urbana, solamente con zonas industriales donde se pueden establecer planes de acción y establecer medidas de mitigación; y en zonas agrícolas donde los daños a infraestructura son menores.

Para los cuatro eventos es importante realizar inspecciones visuales 2 veces cada mes, para verificar el estado de los componentes y su funcionamiento, para evitar en primer lugar cualquier evento no deseado.

II.3. Efectos sobre el Sistema Ambiental.

Como bien se presentó en las simulaciones, la afectación más importante en caso de un accidente de este nivel sería el río Lerma. Sin embargo, de manera complementaria se presentan medidas preventivas que se deben aplicar durante la operación del ducto para evitar el deterioro del Sistema Ambiental, incluyendo aquellas como restauración en caso de que se genere el accidente en la zona del río Lerma.

Las medidas preventivas que se aplicarán principalmente durante la operación del ducto serán los recorridos constantes a lo largo del trazo para verificar que no existan zonas vulnerables con probabilidad de que se genera un siniestro. El indicador visual es importante complementarlo con la verificación del correcto funcionamiento del ducto mediante las pruebas hidrostáticas habituales, verificación del correcto funcionamiento de la protección catódica y recubrimientos para evitar la corrosión.

En los análisis hidrostáticos se debe de priorizar las reparaciones que se deben de efectuar en el ducto en tiempos óptimos para evitar algún evento no deseado.

La restauración del Lerma en caso de explosión será la nivelación de taludes, en caso de que haya habido un deslave de material llevar a cabo la limpieza con retroexcavadoras o con el equipo necesario para desazolvar. Se debe de rescatar individuos de peces, mamíferos, reptiles y aves que fueron víctimas del accidente y en caso de que presenten lesiones graves llevar a que reciban atención. Las especies arbóreas muertas en caso de que hayan sido dañadas en el deslave del terreno o de la misma explosión, serán sustituidas por individuos de la misma especie considerando las características necesarias para su sobrevivencia. En los eventos simulados no se tomó en cuenta la dilución del gas natural en el agua, lo cual resultaría tóxica para algunas especies que habitan el río Lerma, dado que la perforación horizontal dirigida se encuentra a una profundidad considerable.

Para el evento 1, el sistema ambiental que se impactará corresponde a zonas de parcelas de cultivo sin tener contacto con asentamientos humanos. Para el evento 2, el daño que va a tener también corresponde a parcelas agrícolas y parte del camino a Charapuato. Y para el evento 4, es posible apreciarse que la ZAR se encontrará dentro de toda la nave de BAFAR, así como contacto con la carretera.

Para concluir, cabe señalar que de acuerdo a la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección Ambiental en el art. 147 Bis., donde se señala que quien realice actividades altamente riesgosas deberá contar con un seguro de riesgo ambiental, esto para subsanar los daños (ambientales, a terceros y morales) causados por un accidente.

III. SEÑALAMIENTO DE LAS MEDIDAS DE SEGURIDAD Y PREVENTIVAS EN MATERIA AMBIENTAL.

RECOMENDACIONES TÉCNICO-OPERATIVAS RESULTANTES DE LA APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA PARA LA IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS.

Para las recomendaciones derivadas de las simulaciones y determinación de radios de afectación se presenta un listado de las recomendaciones.

- Verificación de revestimiento del ducto una vez cada tres meses.
- Bitácora de verificación de correcto funcionamiento de Protección Catódica.
- Instalación de sistema SCADA.
- Realizar pruebas hidrostáticas al menos 2 veces por año de acuerdo a los procedimientos aplicables.
- Realizar un plan de evacuación para el personal que se encuentre trabajando en los campos aledaños
- Instalación de letreros con la leyenda de "cuidado con el ducto, no perforar+ un número de contacto en caso de accidentes". Realizar un simulacro con los habitantes de la zona.
- Realizar una bitácora de manteniendo preventivo, donde se firme por encargado del ducto y encargado del mantenimiento
- Realizar la verificación de componentes en base a la ISO 15649:2001. Petroleum and Natural Gas Industries – Piping (Industrias del petróleo y gas natural – Tubería).
- Monitoreo constante de presiones del ducto.
- Instalar letreros donde se indique " No excavar ducto de gas natural" y el número de contacto de emergencias.
- Elaborar procedimiento de pruebas de verificación que incluya pruebas hidrostáticas.
- Capacitación del personal en primeros auxilios y elaboración de procedimiento de primeros auxilios adjunto en el PPA.

- Elaboración de procedimiento de reparación de emergencia de componentes del sistema.
- Llevar a cabo la inspección constante del tramo del ducto asentándolo en una bitácora fotográfica de cada 100 metros.
- Incluir actividades para evitar y contener el aumento de temperatura del ducto en el procedimiento de operación
- Todas las actividades deben de tener congruencia con el procedimiento de operación de la planta. El cual debe de ser revisado y actualizado al menos una vez al año.
- Cuando se encuentren diferencias en la aplicación, se deben de modificar los procedimientos para mantener al máximo las condiciones de seguridad en la operación del ducto.
- Contar con equipo de combate a incendios
- Todas las empresas son responsables de llevar a cabo el mantenimiento preventivo de acuerdo al manual del fabricante.
- Elaborar plan de contingencias
- Realizar simulacros de explosividad, primeros auxilios y búsqueda y rescate al menos una vez cada seis meses.
- Verificar que se cumpla integralmente con la NRF-035-2012 de PEMEX que trata acerca los sistemas de tubería en plantas industriales (instalación y pruebas); sobre todo los incisos 8.1.6. Que establecen los métodos de inspección y prueba.
- Se debe de contar con una bitácora de inspección y pruebas documentadas disponible para la autoridad en cualquier momento.
- En el plan de mantenimiento preventivo se debe de contar con un cronograma de actividades y una bitácora donde se asienten todas las actividades de mantenimiento realizadas, y deben de incluir al menos las actividades siguientes:
 - Actividades para el control de la corrosión en tubería de acero
 - Actividades de arranque y paro programado de cualquier parte del sistema
 - Los diagramas de flujo del sistema de transporte con un listado de las principales variables de operación a vigilar identificadas en el análisis de riesgo.

- Las precauciones que deben de tomarse en registros y en las zanjas excavadas para proteger al personal del riesgo en caso de presencia de gas o acumulación de vapores
- Las instrucciones para el patrullaje de las instalaciones y franja de desarrollo de sistema, poniendo especial énfasis en las zonas pobladas, carreteras, cruce del río. El personal de vigilancia deberá estar alerta a cualquier tipo de cambio de coloración en el suelo o en la detección de vegetación muerta y/o crecimiento de vegetación de diferentes especies que pudieran indicar posibles fugas.
- Se debe de monitorear SCADA constantemente para verificar cuales son las causas de las desviaciones en el proceso.
- En la inspección del trazo del ducto se debe de verificar que no existan tomas clandestinas o algún signo de alteración en el área donde se encuentra el ducto, además de asegurar que todos los letreros se encuentren en buenas condiciones y señalicen adecuadamente los riesgos del ducto.
- Es recomendable se eviten las excavaciones dentro de las empresas donde está instalado el ducto.
- Se debe de entregar un oficio a los dueños de los predios donde firmen de recibido que se les informó acerca de la instalación del ducto, las medidas preventivas de accidentes y las acciones de mitigación de accidentes que se llevarán a cabo.
- La zona más riesgosa es el área del ducto que cruza con la carretera 45 por lo que se debe de instalar un hidrante de cada lado de la carretera para evitar aumente la temperatura del ducto en caso de un choque en la zona o cualquier otro evento no deseado.
- También se debe de instalar un hidrante en las afueras de las empresas para evitar el ducto aumente de temperatura debido a un incendio no propio del ducto.
- Cuando se utilicen controles automáticos de llama, deberá procederse a un cierre completo y nieva puesta en marcha a intervalos frecuentes y regulares, para constatar que los componentes del equipo operan en forma conveniente.

- Todas las válvulas automáticas de cierre deben ser inspeccionadas a intervalos regulares y frecuentes para verificar que no tienen pérdidas y operan en forma conveniente.
- Se debe de presentar un plan de trabajo anual para llevar a cabo las actividades de operación, mantenimiento y seguridad.
- Las especificaciones de construcción, planos y datos históricos de las operaciones deben de ponerse a disposición del personal operativo.
- Además, se tendrá que apegarse a lo establecido en la NOM-013-SECRE-2012. Que establece los requisitos para el diseño, construcción, operación y mantenimiento de las terminales de almacenamiento de gas natural licuado que incluyen sistemas, equipos e instalaciones de recepción, conducción, vaporización y entrega de gas natural.

III.1. Recomendaciones técnico-operativas.

III.1.1. Sistemas de seguridad.

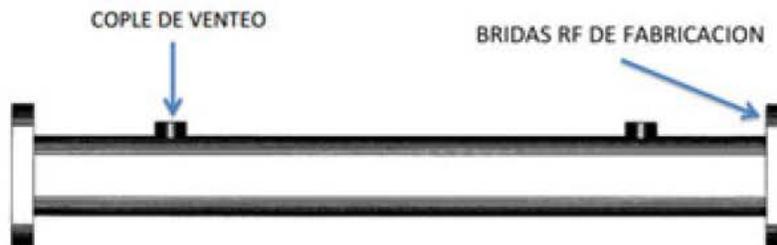
En el diseño del presente ramal para el suministro de gas natural se incluye un sistema de seguridad que se integra mediante componentes específicos para reducir la probabilidad de inicio de eventos de riesgo, entre estos sistemas se encuentran los siguientes:

Válvulas de seccionamiento. Se le llama así a cualquier válvula con la cual puedas cerrar el flujo de un sistema

- Encamisados.
- Señalamientos de seguridad.
- Pruebas radiográficas, hidráulicas, etc.
- Sistema de monitoreo SCADA.

El SCADA es un sistema basado en computadores que permite supervisar y controlar a distancia una instalación de cualquier tipo. Este proyecto contará con un sistema de monitoreo y control SCADA y un sistema de accionamiento automático de válvulas para interrumpir el flujo en cualquier tipo de emergencia. Este sistema detectará y ubicará automáticamente fugas mínimas del flujo total operativo del ducto en el menor tiempo posible, supervisará y coordinará las operaciones del ducto de manera integral y segura, por lo que será posible verificar las condiciones de operación (presión y temperatura) del equipo instalado.

- Válvulas de venteo y seguridad.



- Indicadores de presión, flujo y temperatura.



- Tanques de amortiguamiento de golpe de ariete.

- Rectificador de protección catódica.



III.1.2. Medidas preventivas.

A efecto de prevenir accidentes y reducir al máximo la probabilidad de ocurrencia de estados de emergencia por la operación de este nuevo sistema, se aplicarán las siguientes medidas.

1. Paro de emergencia.

En caso de ocurrir algún evento que ponga en riesgo la salud humana, el medio ambiente, la integridad y plena funcionalidad de las instalaciones, se procederá a ejecutar un paro de emergencia del proceso de conducción del gas en el sistema. Este paro, para el ducto, cortará las salidas y entradas de flujo, principalmente en la City Gate y en la ERM. Al cortarse la alimentación, ayudará a disminuir el incidente y a reducir el riesgo de generar un accidente de gran magnitud.

Los principales eventos de riesgo por los cuales se procederá a la aplicación de un paro de emergencia son las siguientes:

- Detección efectiva de fuego, humo o combustibles en estación de bombeo.
- Detección de mezcla explosiva en cuarto de control / eléctrico.
- Baja presión de succión de la estación.
- Baja presión de descarga de las bombas.
- La ocurrencia de explosión en estaciones de bombeo.
- Por ruptura en el ducto y escape de combustible.
- Por condiciones de baja presión en la operación del ducto.
- Por la aplicación de un paro de emergencia en las estaciones de suministro principal.
- Falla del panel de control o de seguridad de la estación de regulación.
- Por el paro de operación de estación de bombeo de forma inesperada y súbita.
- Por falla de corriente eléctrica en cualquier parte del sistema.
- Por actos de vandalismo o delictivos y/o por sabotajes en las instalaciones.

El paro en unidad de bombeo se realizará si ocurre alguno de los siguientes eventos:

- Detección de mezcla explosiva en aspiración o descarga de la bomba, o en contenedor.
- Detección efectiva de fuego en contenedor de la bomba.
- Alta presión de descarga de la bomba.
- Alta temperatura de descarga de la bomba.
- Baja presión de succión de la bomba.
- Accionamiento de paro de emergencia automáticos o por pulsador local.
- Pérdida de tensión de control de la unidad.
- Falla del panel de control.

2. Eventos extraordinarios.

A) Falla de Corriente Eléctrica.

Es importante mencionar que únicamente la ERM cuenta con una corta corriente, mientras que el ramal y en su defecto, la City Gate cuenta con sistemas de respaldo.

En el caso de falla de corriente eléctrica, se considerará la actuación del siguiente sistema de respaldo.

a) Baterías.

Se dispone de un banco de baterías. Para los tableros eléctricos de instrumentación. Energía debe de ser la suficiente para continuar operando por 8 horas, los mecanismos de cierre y disparo de interruptores y toda la protección por 30 minutos. Esta batería es únicamente para la City Gate.

B) Falla de suministro de Servicios auxiliares.

a) Operación en Golpe de Ariete.

El nuevo ramal contará con sistema de golpe de ariete, este efecto usualmente se presenta al momento de un cierre rápido de cualquiera de las válvulas principales del ducto, razón por la cual, las válvulas de seccionamiento tienen tiempos de cerrado apropiados para evitar este efecto o debido al paro brusco de una de las estaciones de bombeo.

Una medida importante de seguridad del ducto corresponde a la selección del espesor del ducto, la cual considera el aumento más crítico de presión por golpe de ariete (cierre instantáneo de válvula).

b) Fugas.

Para incrementar la seguridad en la operación del sistema y disminuir los riesgos al medio ambiente y a los asentamientos industriales más cercanos a la ruta del nuevo ducto, este contará con un sistema automático de detección y localización de fugas.

Petróleos Mexicanos recomienda que el sistema de detección y localización de fugas esté basado en un modelo matemático de la red de ductos. El sistema debe operar en tiempo real y estar gobernado por las ecuaciones de conservación de masa y momentum y la ecuación de balance energético.

Las ecuaciones que conforman el modelo son resueltas numéricamente para puntos fijos y/o dinámicos a lo largo del ducto para garantizar la estabilidad del sistema, o mediante técnicas precisas y rápidas de diferencias finitas de alto orden. El sistema de detección y localización de fugas está basado en un modelo en tiempo real, dicho modelo es capaz de simular y describir detalladamente el comportamiento transitorio del ducto. De igual forma deberá incluir facilidades de exportar esta información para ser usada como soporte en la toma de decisiones.

c) Incendio en Estación de Recepción y Medición.

A manera de recomendación como método de medida de mitigación, se considera contar con detectores de fuego UV/IR en la ERM y City Gate.

Para la extinción del fuego que pueda producirse se podría utilizarse un sistema de aspersión por agua. De forma simultánea el tablero de Gas y Fuego de la estación dará aviso a través del sistema SCADA, para que en caso de poner en riesgo la integridad del proceso, así como de la seguridad del personal y las instalaciones, proceder a un paro de emergencia. El tablero de Gas y Fuego será el encargado de la activación de las señales audibles visibles en la estación de bombeo.

d) Cambios de composición

En caso de prever variaciones importantes en la composición de los materiales conducidos en el ducto, que puedan llegar a afectar tanto las condiciones de proceso como de la capacidad de operación del sistema, se deberá considerar la mandar realizar análisis en un cromatógrafo la composición del material conducido. Sin embargo, toda vez que el nuevo ramal dependerá de las condiciones del tronco general PGPB de 36" \varnothing , este factor tendrá muy baja posibilidades de ocurrir.

e) Cambios de temperatura y/o presión.

En el supuesto de que la presión en la entrada al ducto, fuera inferior a la presión de vapor de la mezcla combustible, se debe proceder al paro de las operaciones, para evitar el llenado del ducto con combustible fuera de especificación. El sistema dispone de indicadores de temperatura que cuentan con señales de alarma por alta temperatura. De forma similar para el monitoreo de la presión se contará alarmas indicadoras por baja presión.

Finalmente, en caso de que la presión registre valores que pongan en peligro la seguridad del proceso, el interruptor por baja presión debe mandar la señal para que la válvula de corte del sistema de paro de emergencia proceda a su cierre y se inicie una secuencia de paro de la operación del ducto.

f) Operación a flujo mínimo.

El proyecto considera circuitos de flujo mínimo para evitar que los equipos de bombeo trabajen sin flujo, lo cual originaría que el trabajo mecánico de los impulsores de bombas caliente el fluido, provocando posibles vaporizaciones inconvenientes y daños del equipo.

C) Mantenimiento e Inspección

Para mantener los niveles de eficiencia y de seguridad en la operación del sistema, se realizarán revisiones periódicas de mantenimiento tanto de equipos de operación como de la tubería, bajo un programa de mantenimiento.

Los procedimientos de inspección de campo serán auditados para asegurar el cumplimiento de las normas API 1104, ANSI/ASME B31.4 y ANSI/ASME B31.8, asegurando los siguientes puntos:

- Utilización de procedimientos aprobados de radiografía.
- Utilización de procedimientos aprobados para ultrasonido.
- Personal calificado para todos los ensayos no destructivos.
- Identificación de todas las fallas y requerimientos de reparación de soldaduras y confirmación de los procedimientos aprobados.

El mantenimiento de los equipos de proceso, así como de los servicios auxiliares se basará en los manuales de mantenimiento del fabricante que los suministró. Durante los servicios de mantenimiento del ducto, se realizará el patrullaje periódico, con el fin de observar las condiciones de la superficie sobre la franja de afectación y en las zonas adyacentes, para detectar indicios de fugas, o actividades de construcción iniciadas por terceros, o cualquier otra condición que afecte la seguridad y la operación del gasoducto, de tal manera que se puedan iniciar medidas correctivas a la mayor brevedad posible. Sobre todo, se dará especial atención a los siguientes casos:

- Puntos donde se realicen actividades de construcción;
- Operaciones de drenaje cerca al gasoducto;
- Cruces de caminos y ductos.

La frecuencia de los recorridos estará en función de los factores siguientes:

- Presión de operación.
- Longitud total del gasoducto.
- Densidad de la población cercana.
- Tipo de terreno.
- Fenómenos climáticos extremos.

Se establecerán los términos y condiciones de las licencias de servidumbre de paso, con el fin de controlar la vegetación a lo largo de la franja de afectación de las instalaciones construidas en la superficie, para asegurarse de que éstas puedan distinguirse claramente desde el aire y también con el propósito de mantenerlas libres de obstáculos para permitir el acceso fácil de las cuadrillas de mantenimiento.

Se realizará la limpieza del derecho de vía, cuando no involucre afectaciones a la vegetación ubicada fuera del mismo, realizando la inspección periódica de la vía y el mantenimiento de áreas reforestadas.

Se prestará especial atención a la inspección y el mantenimiento de los cruces del gasoducto, como son caminos que se inspeccionarán periódicamente con el fin de verificar si están debidamente cubiertos o si existe alguna otra condición que pueda afectar la seguridad y la integridad del cruce.

Los Manuales de Operación y Mantenimiento incluirán instrucciones y procedimientos detallados con el fin de garantizar que el gasoducto se opere en forma segura y eficiente; deberá suministrar instrucciones claras para el mantenimiento y las reparaciones que requieran tanto el gasoducto como las instalaciones conexas y estarán disponibles antes de la puesta en marcha del nuevo ducto.

Anexo 12. Manual y Cronograma de Operación y Mantenimiento

Entre otros incluirán las siguientes medidas:

Se suministrará una lista exacta de las Presiones Máximas de Operación Permitidas para el gasoducto, así como de los límites de los gasoductos interconectados y adyacentes, para efectos operativos.

Se tendrán procedimientos para identificar tuberías enterradas u otras instalaciones, con el fin de facilitar las actividades de mantenimiento, o para obtener autorización para trabajar cerca del nuevo ramal, con el fin de proteger el gasoducto de daños por estas actividades. También se suministrarán instrucciones técnicas sobre cómo operar aparatos sofisticados para la localización de instalaciones bajo tierra.

Se contará con programas y procedimientos para informar a los propietarios de predios, las comunidades vecinas y a las autoridades, informados sobre la existencia del gasoducto en la zona y los procedimientos que deben seguir cuando contemplen la posibilidad de atravesar o trabajar cerca de su trayecto, con el fin de garantizar su propia seguridad.

Los trabajos de excavación con equipo mecánico en áreas cercanas al trayecto de un gasoducto cargado requieren precauciones extremas. Se establecerán procedimientos e instrucciones detalladas para orientar al personal encargado de dichas excavaciones bajo diferentes condiciones.

Se tendrán procedimientos e instrucciones para que el personal realice una evaluación considerando todos los factores necesarios, antes de tomar una decisión.

En caso de que se presenten daños o defectos que requieran la reparación de la tubería, se utilizarán las técnicas propias y específicas de reparación que dependerán del tipo de daño y su magnitud, así como del entorno en el cual se presenten.

La operación y mantenimiento de válvulas, se realizará dependiendo de los procedimientos y la frecuencia particular para cada tipo de válvulas según el Manual de Operación y Mantenimiento.

MEDIDAS PREVENTIVAS QUE SE APLICARÁN DURANTE LA OPERACIÓN NORMAL DE LA INSTALACIÓN, PARA EVITAR EL DETERIORO DEL MEDIO AMBIENTE INCLUYENDO AQUELLAS A LA RESTAURACIÓN DE LA ZONA AFECTADA EN CASO DE ACCIDENTE.

Las medidas preventivas que se aplicarán durante la operación del ducto serán los recorridos constantes a lo largo del trazo para verificar no existan zonas donde no haya vegetación queriendo decir que se han realizado obras por externos, el indicador visual es importante complementarlo con la verificación del correcto funcionamiento del ducto mediante las pruebas hidrostáticas habituales, verificación del correcto funcionamiento de la protección catódica y recubrimientos para evitar la corrosión.

En los análisis hidrostáticos se debe de priorizar las reparaciones que se deben de efectuar en el ducto en tiempos óptimos para evitar algún evento no deseado.

La restauración del Lerma en caso de explosión será la nivelación de taludes, en caso de que haya habido un deslave de material llevar a cabo la limpieza con retroexcavadoras o con el equipo necesario para desazolvar. Se debe de rescatar individuos de peces, mamíferos, reptiles y aves que fueron víctimas del accidente y en caso de que presenten lesiones graves llevar a que reciban atención. Las especies arbóreas muertas en caso de que hayan sido dañadas en el deslave del terreno, serán sustituidas por individuos de la misma especie en buen estado. En los eventos simulados no se tomó en cuenta la dilución del gas natural en el agua, lo cual resultaría tóxica para algunas especies que habitan el río Lerma.

Cabe señalar que de acuerdo a la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección Ambiental en el art. 147 Bis., donde se señala que quien realice actividades altamente riesgosas deberá contar con un seguro de riesgo ambiental, esto para subsanar los daños (ambientales, a terceros y morales) causados por un accidente.

IV. RESUMEN.

IV.1. Resumen y Conclusión del proyecto.

Se realizó el estudio de análisis de riesgo para el ducto de la empresa Cárnicos Strattega S.A. de C.V. para su autoabastecimiento de acuerdo a los Listados de Actividades Altamente Riesgosas dado que se tendrá un entrapamiento en el ducto, una vez que comience la operación, de aproximadamente 2,048.34 Kg de gas natural y el reporte de los Listados indica una cantidad de reporte de 500 Kg.

El ducto se ubica entre derecho de vía hasta llegar a tres puntos importantes: el primero, el cruce con el libramiento de La Piedad, Michoacán y camino a Charapuato; el segundo, el inicio y final del cruce con el Río Lerma; y como tercer punto donde se ubica la ERM. La longitud total del ducto es de aproximadamente 7,271.44 metros tomando en cuenta la interconexión y el punto de la ERM. La capacidad de conducción que tiene el ducto es de aproximadamente 1783.75 Kg con una presión de 21 Kg/cm² y una temperatura de conducción de 20 °C.

Tanto el análisis de riesgo como la evaluación del mismo en los simuladores matemáticos se realizaron con el software SCRI HAZOP y SCRI FUEGO, adjuntando en el presente las hojas de trabajo o memorias de cálculo respectivamente.

Las simulaciones que se llevaron a cabo en cuatro vertientes en cada uno de los nodos identificados:

1. Formación de atmósfera explosiva a causa de fuga generada por ruptura en válvula bridada de 6" Ø de la ERM.
2. Formación de chorro de fuego derivado de una sobrepresión porque la válvula de bola paso completo encuentra cerrada causando fuga con presencia de fuente de ignición en el sistema de transporte de gas natural.

3. Formación de atmósfera explosiva por fuga de gas generada por rompimiento de tubería a causa de personas externas o por hundimiento de terreno cerca del río Lerma.
4. Sobrepresión generada por falla en el reductor de presión de la ERM causando explosión.

Las simulaciones determinadas como complemento al análisis de riesgo fueron las siguientes:

- 1) Fuga y explosión por un orificio de 20% del diámetro nominal del ducto.
- 2) Fuga y Jet Fire por un orificio de 20% del diámetro nominal del ducto.
- 3) Fuga y explosión por un orificio de 100% del diámetro nominal del ducto.
- 4) Fuga y Jet Fire por un orificio de 100% del diámetro nominal del ducto.

Los resultados obtenidos en estas simulaciones determinaron que la ZAR más extensa será generada por la simulación 3 dado que ésta tendrá una ZAR de 219.72 m y una ZA de 237.95 m.

Para las simulaciones generadas de forma complementaria se detectó que las ZAR y ZA corresponderán a un radio de 644.89 m y 1096.20 m, respectivamente para fuga y explosión y fuga y Jet Fire.

Como medidas orientadas a la reducción de riesgos es importante contar con un Plan Interno de Protección Civil y atención a emergencias contra incendios, principalmente para las zonas en derecho de vía, y para la zona del cauce del Río Lerma, contar con un Plan de Evacuación en caso de que existiese un desvío del cauce de éste.

Así pues y de acuerdo al análisis de identificación de riesgos mediante la metodología HAZOP, a través de medidas correctivas o preventivas, es posible que los riesgos identificados disminuyan gracias a las recomendaciones técnico-operativas.

Una de las medidas principales de prevención de accidentes es el monitoreo constante de los parámetros del ducto (presión, temperatura y flujo) por medio del software SCADA. Además, de llevar a cabo un procedimiento de operación y mantenimiento preventivo de acuerdo a lo señalado en el apartado anterior y en la NOM-013-SECRE-2012.

Se debe de tomar en cuenta en la elaboración del Programa de Prevención de Accidentes, llevar a cabo simulacros semestrales que involucren al personal de las empresas que se encuentran en la zona de amortiguamiento. Otra de las medidas de prevención es el patrullaje constante del trazo del ducto, así como la capacitación y comunicación del personal que labora en el primer tramo y que realiza labores de mantenimiento en la carretera. A lo largo del ducto se instalaron letreros de aviso de riesgo por ducto además de la cinta indicativa en caso de excavación.

En general las condiciones en las que se pueda encontrar el ducto y la estación de regulación y medición dependerán del mantenimiento preventivo que les den, además de que se contará con información documentadas de las actividades para asegurar las condiciones seguras de operación.

IV.3. Informe técnico.

El resumen técnico se ingresa como anexo al presente.

Anexo 13. Resumen técnico.

V. IDENTIFICACIÓN DE LOS INSTRUMENTOS
METODOLÓGICOS Y ELEMENTOS TÉCNICOS QUE
SUSTENTAN LA INFORMACIÓN SEÑALADA.

V.1. Formatos de Presentación.

V.1.1. PLANOS DE LOCALIZACIÓN.

Los planos de localización (trazo y perfil del ducto) se integran en el Anexo 2

V.1.2. FOTOGRAFÍAS.

Se integra como parte de la información complementario, video del trazo del ducto en el Anexo II.

GLOSARIO DE TÉRMINOS.

Accidente: Suceso fortuito e incontrolado, capaz de producir daños.

Actividades altamente riesgosas: Acción o serie de pasos u operaciones comerciales y/o de fabricación industrial, distribución y ventas en que se encuentran presentes una o más sustancias peligrosas, en cantidades iguales o mayores a su cantidad de reporte, que, al ser liberadas a condiciones anormales de operación o externas, provocarían accidentes y posibles afectaciones al ambiente.

Análisis de consecuencias: Método de evaluación que permite la cuantificación de la probabilidad de un accidente y el riesgo asociado al funcionamiento de una planta, se basan en la descripción gráfica de las secuencias del accidente.

Análisis de ¿Qué pasa sí?: Técnica de intercambio de ideas para explorar posibilidades y considerar los resultados de acontecimientos no deseados o inesperados (por ejemplo, ¿Qué pasa sí el material equivocado o una concentración de material equivocado se entrega? ¿Qué pasa sí el operador abre o cierra la válvula equivocada?).

Árbol de fallas: Metodología deductiva para la detección de riesgos, se representa por un modelo gráfico en forma de árbol invertido, que ilustra la combinación lógica de fallos parciales que conducen al fallo del sistema.

Biota: Conjunto de flora y fauna de una región.

BLEVE: Explosión de vapor de líquido en ebullición y expansión, por sus siglas en inglés.

Cantidad de reporte: Cantidad mínima de sustancia peligrosa en producción, procesamiento, transporte, almacenamiento, uso o disposición final, o la suma de estas existente en una instalación o medio de transporte dados, que al ser liberada, por causas naturales o derivadas de la actividad humana ocasionara un efecto significativo al ambiente, a la población o a sus bienes.

Emergencia: Situación derivada de actividades humanas o fenómenos naturales que al afectar severamente a sus elementos, pone en peligro a uno o varios ecosistemas o la pérdida de vidas humanas.

Estudios de peligro y operabilidad (HAZOP): Método ampliamente utilizado en industrias de proceso para identificar problemas potenciales de operación que puedan causar una desviación de un intento de diseño. Se utiliza una serie de palabras guía (por ejemplo: no más, menos, otro, distinto, así como) a "nódulos de estudio" específicos (por ejemplo, sin flujo, alta presión).

Evaluación de riesgo: El proceso de estimar la probabilidad de que ocurra un acontecimiento y la magnitud probable de los efectos adversos (en la seguridad, salud, ecología o financieros), durante un periodo específico.

Exposición: Acceso o contacto potencial con un agente o situación peligrosa; contacto del límite extremo de un organismo con agentes químicos, biológicos o físicos.

Exposición aguda/efecto: Exposición única a una sustancia (por lo general en alta concentración y con duración no superior a un día) que da por resultado daños biológicos severos, por lo común evidentes a corto plazo.

Exposición crónica/efecto: Exposición continua o repetida (generalmente en bajas concentraciones durante largos periodos o persistencia de los efectos a largo plazo, el (los) efecto(s) pueden no ser claros durante un plazo largo después de la exposición inicial. Exposiciones y efectos subagudos y subcrónicos, son intermedios entre agudos y crónicos (por lo general de unas cuantas semanas a varios meses).

Falla del sistema: Situación excepcional atribuible a defectos de los componentes y a su interacción de los mismos con el exterior.

IDLH: "Inminentemente peligrosa para la vida y la salud", por sus siglas en inglés, concentración máxima arriba de la cual solo podría permitirse la exposición a ella con un equipo de respiración altamente confiable que provea la máxima seguridad a un trabajador.

Incidente: Toda aquella situación anómala, que suele coincidir con situaciones que quedan controladas.

Lista de verificación: Lista detallada de requerimientos o pasos para evaluar el estado de un sistema u operación y asegurar el cumplimiento de procedimientos de operación estándar.

Mitigación: Conjunto de acciones para atenuar, compensar y/o restablecer las condiciones ambientales existentes antes de la perturbación y/o deterioro que provocara la realización de algún proyecto en cualquiera de sus etapas.

Plan de emergencia: Sistema de control de riesgos que consiste en la mitigación de los efectos de un accidente, a través de la evaluación de las consecuencias de los accidentes y la adopción de procedimientos. Este solo considera aspectos de seguridad.

Peligro: Característica de un sistema o proceso de material que representa el potencial de accidente (fuego, explosión, liberación tóxica).

Programa para la prevención de accidentes: Programa que aplica políticas, procedimientos y prácticas administrativas a las tareas de analizar, evaluar y controlar accidentes.

Riesgo: Situación que puede conducir a una consecuencia negativa no deseada.

Riesgo ambiental: La probabilidad de que ocurran accidentes mayores que involucren a los materiales peligrosos que se manejan en las actividades altamente riesgosas, que puedan trascender los límites de sus instalaciones y afectar de manera adversa a la población, sus bienes, y al ambiente.

Riesgo específico: Riesgo asociado a la utilización o manejo de productos que, por su naturaleza, pueden ocasionar daños (productos tóxicos, radiactivos).

Riesgo mayor: Relacionado con accidentes y situaciones excepcionales. Sus consecuencias pueden presentar una gravedad tal que la rápida expulsión de productos peligrosos o de energía podría afectar áreas considerables.

Sustancia peligrosa: Aquella que, por su alto índice de corrosión, inflamabilidad, explosividad, toxicidad, radiactividad o acción biológica, pueden ocasionar una acción significativa al ambiente, a la población, o a sus bienes.

Sustancia inflamable: Aquella que en presencia de una fuente de ignición y de oxígeno, entran en combustión a una velocidad relativamente alta, que posean un punto de inflamabilidad menor a 60°C y una presión de vapor absoluta que no exceda de 2.85 kg/cm² a 38°C.

Sustancia explosiva: Aquellas que en forma espontánea o por acción de alguna fuente de ignición (chispa, flama, superficie caliente), generan una gran cantidad de calor y energía de presión en forma casi instantánea, capaz de dañar seriamente las estructuras por el paso de los gases que se expanden rápidamente.

Sustancia tóxica: Aquella que puede producir en organismos vivos lesiones, enfermedades, implicaciones genéticas o muerte.

TLV: "Valor Umbral Limite" (por sus siglas en inglés). Límite permisible de concentración en el cual se asume que una exposición a una sustancia tóxica que no lo exceda producirá un daño pequeño para la mayoría de los individuos.

Vulnerabilidad: Estimación de lo que pasará cuando los efectos de un accidente (radiación térmica, onda de choque, evolución de la concentración de una sustancia, entre otros.) actúan sobre las personas, el medio, sobre edificios, equipo, entre otros. Esta estimación puede realizarse mediante una serie de datos tabulados, gráficos y por los modelos de vulnerabilidad.

Zona intermedia de salvaguarda: Área determinada del resultado de la aplicación de criterios y modelos de simulación de riesgo que comprende las áreas en las cuales se presentarían límites superiores a los permisibles para la salud del hombre y afectaciones a sus bienes y al ambiente en caso de fugas accidentales de sustancias tóxicas y de la presencia de ondas de sobrepresión en caso de formación de nubes explosivas. Esta se conforma por la zona de alto riesgo y la zona de amortiguamiento.

Zona de amortiguamiento: Área donde pueden permitirse determinadas actividades productivas que sean compatibles, con la finalidad de salvaguardar a la población y al ambiente restringiendo el incremento de la población asentada.

Zona de riesgo: Área de restricción total en la que no se debe permitir ningún tipo de actividad, incluyendo asentamientos humanos, agricultura con excepción de actividades de forestación, cercamiento y señalamiento de la misma, así como el mantenimiento y vigilancia.

ACRÓNIMOS.

ACI= American Construction Institute.

AISC= American Institute of Steel Construction.

AISI= American Iron and Steel Institute.

API= American Petroleum Institute.

ANSI= American National Standards Institute.

AGMA= American Gear Manufactures Association.

ASME= American Society of Mechanical Engineers.

ASTM= American Society for Testing and Materials. (Sociedad Americana de Pruebas y Materiales).

AWS= American Welding Society.

CAS= Chemical Abstracts Service (Servicio de Abstractos Químicos). Otorga numeración para identificar a los productos químicos.

CFR= Code of Federal Regulations.

CR= Cantidad de reporte.

DOT= Departamento de Transporte de Estados Unidos.

EPA= U.S. Environmental Protection Agency.

IARC= Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer.

IDLH= Immediately Dangerous to Life or Health (Peligro Inmediato a la Salud o a la Vida). Concentración en la que un trabajador debe, dentro de 30 minutos, equiparse de aparato respirador. Se usa para determinar la selección de equipo de respiración.

LD50= Dosis Letal Media

LC50= Concentración Letal Media.

LEL= Lower Explosive Limit.

LFL= Lower Flammable Limit.

MLD= Dosis Letal Mínima

NEC= National Electric Code (Código Eléctrico Nacional de los EU.)

NEMA= National Electric Manufactures Association.

NFPA= National Fire Protection Association (Asociación Nacional de Protección contra Incendios).

NIOSH= National Institute for Occupational Safety and Health (Instituto Nacional de la Salud y Seguridad del Trabajo).

NTIE= Normas Técnicas para Instalaciones Eléctricas.

NTP= Programa Nacional de Toxicología.

OSHA= Occupational Safety and Health Administration (Administración de la Salud y Seguridad del Trabajo)

PEL= Permissible Exposure Limit (Límite de exposición permitido).

RCRA= Resource Conservation and Recovery Act.

REL= Recommended Exposure Limit.

SSPC= Steel Structures Painting Council.

STEL= Límite de exposición permitido a corto plazo.

TLV= Threshold Limit Value (Valor Límite Umbral). Valor Límite Inicial usado por ACGIH para expresar la concentración atmosférica de un material a la que la mayoría de los trabajadores pueden exponerse sin daño en un horario normal de trabajo.

TLV-C= Threshold Limit Value-Ceiling.

TLV-STEL= Threshold Limit Value-Short-Term Exposure Limit.

TSCA= Ley para el Control de las Substancias Tóxicas.

TWA= Time-Weighted Average (Promedio de concentración tolerable). Concentración media con relación al tiempo para una semana de trabajo de 40 horas o un día de 8 horas.

AAR.- ACTIVIDADES(ES) ALTAMENTE RIESGOSAS(AS).

C.- CEILING.

CAS.- CHEMICAL ABSTRACTS SERVICE.

CENAPRED.- CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES.

CCT.- CONCENTRACIÓN PARA CORTO TIEMPO. CASTELLANIZACIÓN DE STEL.

CCAAPPA.- COMITÉ DE ANÁLISIS Y APROBACIÓN DE LOS PROGRAMAS PARA LA PREVENCIÓN DE ACCIDENTES.

CPT.- CONCENTRACIÓN PROMEDIO PONDERADA. CASTELLANIZACIÓN DE TWA

DDF.- DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL.

DGPC.- DIRECCIÓN GENERAL DE PROTECCIÓN CIVIL.

IAR.- INDUSTRIAS DE ALTO RIESGO.

IDLH.- "INMEDIATE DANGEROUS TO LIFE OR HEALTH."

LGEEPA.- LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y PROTECCIÓN AL AMBIENTE.

P.- CONCENTRACIÓN PICO. CASTELLANIZACIÓN DE LÍMITE PERMISIBLE "CAILING" (C).

Pa.- PASCAL, UNIDAD DE PRESIÓN EN EL SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES.

PIVS.- PELIGRO INMEDIATO A LA VIDA O A LA SALUD. CASTELLANIZACIÓN DE IDLH.

PPA.- PROGRAMA PARA LA PREVENCIÓN DE ACCIDENTES.

PSI.- POUND SQUARE INCH. LB/PLG²; UNIDAD DE PRESIÓN EN EL SISTEMA AMERICANO DE INGENIERÍA.

SECOFI.- SECRETARÍA DE COMERCIO Y FOMENTO INDUSTRIAL.

SEDESOL.- SECRETARÍA DE DESARROLLO SOCIAL.

SEGOB.- SECRETARÍA DE GOBERNACIÓN.

SEGOB-CENAPRED.- SECRETARÍA DE GOBERNACIÓN A TRAVÉS DEL CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES.

SEGOB-DGPC.- SECRETARÍA DE GOBERNACIÓN A TRAVÉS DE LA DIRECCIÓN GENERAL DE PROTECCIÓN CIVIL.

SEMIP.- SECRETARÍA DE ENERGÍA, MINAS E INDUSTRIA PARAESTATAL.

SINAPROC.- SISTEMA NACIONAL DE PROTECCIÓN CIVIL.

SSA.- SECRETARÍA DE SALUD.

STEL.- SHORT-TERM EXPOSURE LIMIT.

STPS.- SECRETARÍA DEL TRABAJO Y PREVISIÓN SOCIAL.

TLV(S). - THRESHOLD LIMIT VALUE(S).

TLV 8. - NOMBRE USUAL DEL TWA.

TLV 15. – NOMBRE USUAL DEL STEL.

TWA.- TIME WHIGHTED AVERAGE.

BIBLIOGRAFÍA.

- OFICINA INTERNACIONAL DEL TRABAJO. 1998. CONTROL DE RIESGO DE ACCIDENTES MAYORES. MANUAL PRÁCTICO. ALFAOMEGA. GINEBRA.
- NIOSH POCKET GUIDE TO CHEMICAL HAZARDS, U.S. DEPARTAMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES, PUBLIC HEALTH SERVICE, CENTERS FOR DISEASE CONTROL, NATIONAL INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH, 1990.
- GUIA DE RESPUESTAS INICIALES EN CASO DE EMERGENCIAS OCASIONADAS POR MATERIALES PELIGROSOS, DIRECCION GENERAL DE PROTECCION CIVIL, SECRETARIA DE GOBERNACION, MEXICO, 1992.
- GUIA CARTOGRAFICA PARA EL LEVANTAMIENTO DE RIESGOS A NIVEL MUNICIPAL. SECRETARIA DE GOBERNACIÓN. SISTEMA NACIONAL DE PROTECCIÓN CIVIL. MEX. 1998.
- GUIA TÉCNICA PARA LA IMPLEMENTACION DEL PLAN MUNICIPAL DE CONTINGENCIAS. SECRETARIA DE GOBERNACIÓN. SISTEMA NACIONAL DE PROTECCIÓN CIVIL. MEX. 1998.
- GUIA TÉCNICA PARA LA PREPARACIÓN DE MAPAS DE UBICACIÓN GEOGRAFICA DE RIESGOS. SECRETARIA DE GOBERNACIÓN. SISTEMA NACIONAL DE PROTECCIÓN CIVIL. MEX. 1993
- RIESGOS QUÍMICOS. SECRETARIA DE GOBERNACIÓN. COORD. GENERAL DE PROTECCIÓN CIVIL. CENAPRED. MEX. 1998.
- INCENDIOS. SECRETARIA DE GOBERNACIÓN. COORDINACIÓN GENERAL DE PROTECCIÓN CIVIL. CENAPRED. MEX. 1998.
- NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-CRP-001-ECOL/1993, QUE ESTABLECE LAS CARACTERISTICAS DE LOS RESIDUOS PELIGROSOS, EL LISTADO DE LOS MISMOS Y LOS LIMITES QUE HACEN A UN RESIDUO PELIGROSO POR SU TOXICIDAD AL AMBIENTE.
- COMPUTER AIDED MANAGEMENT OF EMERGENCY OPERATION. CAMEO.

- PRIMER LISTADO DE ACTIVIDADES ALTAMENTE RIESGOSAS EN CUANTO A TOXICIDAD, MEXICO, 1990.
- REGLAMENTO DE LA LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLOGICO Y LA PROTECCION AL AMBIENTE, EN MATERIA DE RESIDUOS PELIGROSOS. MEXICO 1988.
- SEGUNDO LISTADO DE ACTIVIDADES ALTAMENTE RIESGOSAS INFLAMABLES Y EXPLOSIVAS, MEXICO, 1992.
- GUIA DE RESPUESTA INICIALES EN CASO DE EMERGENCIAS OCACIONADAS POR MATERIALES PELIGROSOS. SISTEMA DE EMERGENCIAS EN TRANSPORTE PARA LA INDUSTRIA QUIMICA, SETIQ, ANIQ, MEXICO, 1992.
- LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y LA PROTECCIÓN AL AMBIENTE., (LGEEPA) DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACION, MEXICO, V. 13 DE DICIEMBRE DE 1996.
- LEY DE ECOLOGÍA PARA EL ESTADO DE GUANAJUATO. ED. 1990.
- REGLAMENTOS DE LA L.G.E.E.P.A. EN MATERIA DE: IMPACTO AMBIENTAL PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN ATMÓSFERICA.
- RESIDUOS PELIGROSOS
- REGLAMENTO PARA EL CONTROL DE EMISIÓN DE RUIDO. MÉX. 1979.
- LEY DE PROTECCIÓN Y PRESERVACIÓN AL AMBIENTE DEL ESTADO DE GUANAJUATO, 8 DE FEBRERO DE 2000.
- NORMAS OFICIALES MEXICANAS EN MATERIA AMBIENTAL.
- ANUARIO ESTADÍSTICO DEL ESTADO DE GUANAJUATO. INEGI. 1998.
- GUANAJUATO, PERFIL SOCIODEMOGRAFICO, XII CENSO GENERAL DE POBLACIÓN Y VIVIENDA 2000 INEGI. II CONTEO 2005.
- CARTAS TOPOGRÁFICAS, EDAFOLÓGICAS, HIDROLÓGICAS Y AGUAS SUPERFICIALES, GEOLÓGICAS, USO POTENCIAL, USO DE SUELO.
- MONOGRAFÍA GEOLÓGICO MINERA DEL ESTADO DE GUANAJUATO. CONSEJO DE RECURSOS MINERALES. MÉXICO, 1992.
- PLAN DE DIRECTOR DE DESARROLLO URBANO DEL CENTRO DE POBLACIÓN PENJAMO, GTO., GOBIERNO DEL ESTADO DE GUANAJUATO. .

- RESÚMENES MENSUALES DEL OBSERVATORIO METEOROLOGICO DEL ESTADO DE GUANAJUATO. D.G.S.M.N. C.N.A.
- GLOSARIO DE TÉRMINOS. SECRETARIA DE DESARROLLO URBANO Y ECOLOGÍA. SEDUE. MEXICO, S/F..
- SANTOS-BURGOA, CARLOS; ROJAS, LEONORA; LINKER, FELNEKE Y ALATORRE, ROCIO. LA SALUD AMBIENTAL EN MEXICO. PERSPECTIVAS EN SALUD PÚBLICA. INSTITUTO NACIONAL DE SALUD PÚBLICA. MEXICO, 1993.
- MANUAL DE PROTECCION CIVIL I, INCENDIOS Y SISMOS. SECRETARIA DE DESARROLLO URBANO Y ECOLOGIA, MEXICO, 1989.
- MANUAL DE PROTECCION CIVIL II, HURACANES E INUNDACIONES. SECRETARIA DE DESARROLLO URBANO Y ECOLOGIA, MEXICO, 1989.
- BREVIARIO DE TERMINOS Y CONCEPTOS SOBRE ECOLOGIA Y PROTECCION AMBIENTAL. PETROLEOS MEXICANOS. MEXICO, 1991.
- ALBERT, LILIA A., TOXICOLOGIA AMBIENTAL. OMS, OPS, CPEHS, LIMUSA, MEXICO, 1988.
- GUIA DE RESPUESTA EN CASO DE EMERGENCIA, U.S. DEPARTAMENT OF TRANSPORTACION, / S.C.T. MEXICO, 1993.
- TESIS ANÁLISIS DE RIESGO INDUSTRIAL: CASO EXPLOSIÓN DE DUCTO DE GAS NATURAL/GALINDO CARDENAL SANTOS REYES/IPN/2009.
- CONSTRUCCIÓN DE GASODUCTOS/PEDRO A. GÓMEZ RIVAS.
- ESTRATEGIA NACIONAL DE ENERGÍA/2013-2027.
- NORMA ESPAÑOLA UNE60620-3.
- RESIDUOS PELIGROSOS EN EL MUNDO Y EN MEXICO. SEDESOL, INE, MEXICO, 1993.
- PERRY, R. H., GREEN, D. W., MALONEY, J.O. MANUAL DEL INGENIERO QUÍMICO. TOMOS I, II. MC. GRAW HILL. NEW YORK.
- METODOLOGÍA PARA ESTIMAR UMBRALES DE DAÑO Y PERIODOS DE INSPECCIÓN ÓPTIMOS EN LOS SISTEMAS DE DUCTOS TERRESTRES. HERNÁNDEZ, SILVIA. 2013. TESIS DE MAESTRÍA. INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL.

- DAÑO POR EFECTOS DE OXIDACIÓN EN GASODUCTOS. MASSA, J. GIUDICI A. REVISTA INT. DE DESASTRES NATURALES ACCIDENTES E INFRAESTRUCTURA. VOL (10)
- API SPEC 5L (2008). SPECIFICATION FOR LINE PIPE, 44TH EDITION, AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE, WWW.API.ORG.
- ASME B31.8 (2007). GAS TRANSMISSION AND DISTRIBUTION PIPING SYSTEMS, ASME CODE FOR PRESSURE PIPING B31, THE AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS, WWW.ASME.ORG.