



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO

---

---

FACULTAD DE QUÍMICA

EVALUACIÓN DE PELIGROS POR TRANSPORTE  
FERROVIARIO DE MATERIALES QUÍMICOS PELIGROSOS  
EN LA REPUBLICA MEXICANA

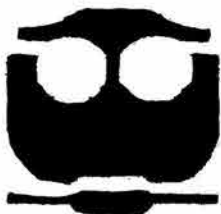
T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERA QUÍMICA

P R E S E N T A :

ALEXANDRA AYALA SÁENZ



MÉXICO, D.F.



EXAMENES PROFESIONALES  
FACULTAD DE QUÍMICA

2004



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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

Jurado asignado:

Presidente	Prof. Benjamín Ruiz Loyola
Vocal	Prof. Eduardo Marambio Dennett
Secretario	Prof. Ramón E. Domínguez Betancourt
1er. Suplente	Prof. Rodolfo Torres Barrera
2o. Suplente	Prof. Víctor Manuel Luna Pabello

Sitio en donde se desarrolló el tema

Laboratorio 4 D Edificio A Facultad de Química

Nombre y firma del asesor del tema



M. en C. Eduardo Marambio Dennett

Nombre y firma del sustentante



Alexandra Ayala Sáenz

## AGRADECIMIENTOS

A Dios, por acompañarme día a día y ayudarme a superar los retos que me han hecho crecer y ser lo que soy.

A mi mamá, por dedicar su vida a sus hijos y ser una persona extraordinaria que nunca se ha dejado vencer. Te quiero mucho.

A Sergio, por aceptarme como soy y demostrarme su apoyo incondicional a través del amor. Este trabajo también es parte de ti. Te amo.

A mis hermanos Gaby y Mario, por su amor, su apoyo, sus consejos, no podría tener mejores hermanos. Gracias por estar conmigo en los momentos importantes.

A Sergio Maya F., Ma. Antonieta Burgos, Gaby Maya, Claudia Maya, Ricardo Cruz, Ricky y Paulina, por todo el apoyo que recibí de ellos y por quererme como un miembro de su familia.

A Eduardo Marambio, por creer en mí y tener la paciencia para ver el desarrollo de este trabajo. Gracias por todo tu apoyo.

A Benjamín Ruiz, por su apoyo incondicional y porque con su gran carácter, todo se ve más sencillo. Gracias por todo el apoyo que recibí de ti.

A Katia, por compartir conmigo su experiencia y por demostrarme que existen amistades tan sólidas que el tiempo no puede vencer.

A Toño Gutiérrez, por todo lo que aprendí de él y por compartir conmigo su experiencia en el ferrocarril.

A Marcos Lavilla, porque cuando más lo necesité, siempre estuvo para apoyarme. Muchas gracias por todos los consejos.

A Gema, por sus consejos y su amistad a pesar de la distancia.

A Ana, por todo el apoyo que recibí de ella, por ser una excelente amiga y porque siempre tiene una sonrisa para todos.

A Marcela, por dedicar tardes enteras a que este trabajo saliera adelante. Gracias por tu amistad.

A Fer, por quererme y entenderme. Gracias!

Y a todos los que de alguna u otra forma hicieron posible la realización de este trabajo.

## **INDICE**

### **Acrónimos**

### **Introducción**

### **Objetivo de la Tesis**

#### **Capítulo 1. Estado Actual de los Ferrocarriles en México**

- 1.1 Evolución del Sistema Ferroviario Mexicano
- 1.2 Privatización del Sistema Ferroviario Mexicano
- 1.3 Inversiones al Sistema Ferroviario Mexicano
- 1.4 Segmentos del Servicio Ferroviario Mexicano

#### **Capítulo 2. Transporte de Materiales Peligrosos por Ferrocarril en México**

- 2.1 Normatividad en el transporte de Materiales Peligrosos por Ferrocarril
- 2.2 Características de Carros Tanques
  - 2.2.2 Sistema de Identificación para Carros Tanques

#### **Capítulo 3. Evaluación de Peligros por transporte ferroviario de materiales químico peligrosos en la república Mexicana**

- 3.1 Accidentes Químicos Ferroviarios en la República Mexicana
- 3.2 Modelos para Computadora

#### **Capítulo 4. Planteamiento de Escenarios**

#### **Capítulo 5. Discusión y Resultados**

#### **Capítulo 6. Conclusiones**

### **Apéndices**

### **Referencias**

### **Bibliografía**

## ACRONIMOS

<b>TFM</b>	Transportación Ferroviaria Mexicana
<b>FXE</b>	Ferrocarril Mexicano
<b>FSE</b>	Ferrosur
<b>LCD</b>	Ferrocarril Coahuila Durango
<b>FCHM</b>	Ferrocarril Chiapas-Mayab
<b>TFVM</b>	Ferrocarril y Terminal del Valle de México
<b>AEI</b>	Automatic Equipment Identification
<b>HBD</b>	Hot Box Detectors
<b>LGEEPA</b>	Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA)
<b>DOF</b>	Diario Oficial de la Federación
<b>AAR</b>	Association of American Railroads (EUA)
<b>ICC</b>	Interstate Commerce Commission (EUA)
<b>DOT</b>	Department of Transportation (EUA)
<b>CTC</b>	Transport Canada (Canadá)
<b>EPA</b>	Environmental Protection Agency (EUA)
<b>ALOHA</b>	Areal Locations Of Hazardous Atmospheres.
<b>ARCHIE</b>	Automated Resource for Chemical Hazard Incident Emulation
<b>TLV</b>	Threshold Limit Value
<b>IDLH</b>	Immediately Dangerous to Life or Health
<b>BLEVE</b>	Boiling Expanding Vapor Explosion

## **INTRODUCCION**

El Ferrocarril es un medio de transporte que gracias a su versatilidad en cuanto a equipo, permite la distribución de una gran cantidad de productos; su principal característica es que su costo disminuye conforme aumenta la distancia que recorre. Esto hace que sea un medio de transporte muy rentable para muchas empresas que tienen la necesidad de transportar sus materias primas o productos terminados a lo largo de rutas de mayor distancia, en las que el auto transporte deja de ser un medio viable debido al aumento en sus costos.

En México, el Sistema Ferroviario no recibió la inversión necesaria por parte del Gobierno para ser competitivo con otros medios de transporte, por lo que la Industria Mexicana dejó de considerarlo como una alternativa viable para sus servicios de logística. Sin embargo, ante la decisión del Gobierno de privatizar dicho sistema, éste se vio en la necesidad de evolucionar para poder competir en un mundo globalizado que cada día cuenta con un mayor número de tratados de libre comercio.

Como consecuencia de la privatización del Sistema Ferroviario en México, el volumen de productos transportados por este medio ha presentado un importante incremento en los últimos años. En el segmento de la Industria Química, en particular de materiales peligrosos, este medio de transporte ha adquirido mucha fuerza, derivado de los programas que las empresas concesionarias han implementado con el fin de llevar a este medio a ser un sistema acorde a las necesidades competitivas de los tratados internacionales.

Debido al aumento en la demanda de este medio de transporte para dicho segmento, surge la necesidad de conocer el peligro que representa el transportar materiales químico peligrosos en la República Mexicana, tanto para la población como para el medio ambiente.

En este trabajo se analizará el efecto del escape de los principales materiales peligrosos que son transportados por ferrocarril en la República Mexicana, utilizando modelos de simulación de consecuencias que nos permitirán determinar el área afectada, misma que será aplicada a las rutas en las que estos materiales son transportados.

En el capítulo 1, Estado Actual de los Ferrocarriles en México, se hará una reseña histórica de cómo surgieron los ferrocarriles en México y se hablará de cómo está dividido en la actualidad el Sistema Ferroviario Mexicano, quiénes son las empresas concesionarias, la extensión que abarca cada empresa, los puertos y fronteras a los que cada una da servicio y las inversiones que han realizado para modernizar este sistema.

En el capítulo 2, Transporte de Materiales Peligrosos por Ferrocarril en México, se hablarán de las normas que son aplicables a este sistema, en particular, la forma de identificar los carros tanques y el material que transportan, así como las características que presentan los carros tanques y sus componentes principales.

En el capítulo 3, Evaluación de Peligros por Transporte Ferroviario de Materiales Químico Peligrosos en la República Mexicana, se hará una relación de los accidentes químicos ferroviarios de los que se tiene documentación y se explicarán las principales causas por las que ocurren estos accidentes. Así mismo, se especificarán las características de los modelos de simulación de consecuencias que se utilizarán en este trabajo.

En el capítulo 4, Planteamiento de Escenarios, se explicarán las consideraciones que se tomaron en cuenta para plantear distintos escenarios que representaran un peligro de escape de los principales materiales peligrosos transportados por ferrocarril en México y su aplicación en los dos modelos de simulación de consecuencias seleccionados.

En el capítulo 5, Discusión y Resultados, se expondrán los resultados de las diferentes simulaciones realizadas y se analizarán los mismos.



## **OBJETIVO DE LA TESIS**

- Recopilar información bibliográfica del estado actual de los Ferrocarriles en México y de antecedentes de Accidentes Químico Ferroviarios en la República Mexicana.
- Determinar el área de afectación derivado del escape durante el transporte ferroviario de los principales materiales químico peligrosos que, por sus características y por el volumen en que se manejan, representan un mayor peligro para la población y el medio ambiente.
- Aplicar 2 de los modelos de simulación de consecuencias existentes para la determinación del escape de materiales peligrosos al sistema de transporte ferroviario en México.

## **CAPITULO 1. ESTADO ACTUAL DE LOS FERROCARRILES EN MEXICO**

### **1.1 EVOLUCION DEL SISTEMA FERROVIARIO MEXICANO**

En 1873 se realizó el primer recorrido en tren de la ciudad de México a Veracruz. Después de su primera concesión el 22 de agosto de 1837, transcurrieron casi cuatro décadas para que este proyecto fuera realizado.

Durante este periodo y a lo largo de varias concesiones, declaradas sin validez por no mostrar avances, se inauguró el primer tramo de 13 Km de Veracruz a Molino el 16 de septiembre de 1850, fecha en la que transitó el primer convoy en territorio Mexicano. Así mismo, el tramo de Tlateloco a Villa de Guadalupe de 5 Km fue inaugurado el 4 de julio de 1857 fecha en la que se realizó el primer recorrido de un tren sobre rieles en la Ciudad de México. Durante el Imperio estos dos tramos se fueron ampliando, y a su término, se habían construido 76 Km desde Veracruz y el tramo de Villa de Guadalupe se había ampliado hasta Apizaco.

Reestablecido el Gobierno de la República, el 16 de septiembre de 1869 el Presidente Benito Juárez inauguró el tramo de México a Apizaco de 139 Km y el ramal de Apizaco a Puebla de 47 Km. Los trabajos continuaron y el 1º de enero de 1873 fue inaugurada la vía del Ferrocarril Mexicano, desde la ciudad de México hasta el puerto de Veracruz de 470.7 Km durante el gobierno Presidente Sebastián Lerdo de Tejada.

Durante el gobierno de Lerdo de Tejada, se promovió la construcción de vías férreas para lograr la comunicación interna de país, al finalizar su periodo en 1876 se tenían construidos 630 Km.

A finales de 1876 asumió el poder el General Porfirio Díaz, quien se dedicó a impulsar la construcción de caminos, ferrocarriles y telégrafos. El primer acuerdo en materia de ferrocarriles constituyó la construcción de la línea entre Tehuacan y Esperanza que fue inaugurada el 24 de diciembre de 1879.

Durante el primer periodo de gobierno de Porfirio Díaz, las concesiones para la construcción de vías se incrementaron, algunas no surtieron efecto por no mostrar avance, sin embargo, los tramos construidos formarían parte de la actual red ferroviaria del país. Entre las más importantes, podemos señalar las autorizaciones para la construcción del Ferrocarril de Morelos, el Ferrocarril de Mérida a Peto, el Ferrocarril de México a Toluca, el Ferrocarril de Hidalgo y la vía de Celaya a León. Al término de este primer periodo de Gobierno, los ferrocarriles tenían una extensión de 1,079 Km.

En 1880, los inversionistas norteamericanos iniciaron la tarea de construir líneas férreas en México. El 8 de septiembre de 1880 se otorgó la concesión al Ferrocarril Central Mexicano, una compañía constituida en Boston, Mass. para construir una línea de la Ciudad de México a Paso del Norte (hoy Ciudad Juárez), pasando por las ciudades de Querétaro, Celaya, Salamanca, Irapuato, Silao, León, Aguascalientes, Zacatecas y Chihuahua.

El 13 de septiembre se otorgó la concesión a la Compañía Constructora Nacional fundada en Denver, Colorado para la construcción de dos líneas, la primera de la Ciudad de México a Manzanillo pasando por Toluca, Maravatio, Acámbaro, Morelia, Zamora y La Piedad, y la segunda para unir a la Ciudad de México con Nuevo Laredo, Tamps. En 1883 esta empresa se consolidó con la Compañía de Fierro Nacional Mexicana y cambió su razón social a Compañía del Ferrocarril Nacional Mexicano.

Durante el gobierno de Manuel González (1880-1884) se continuó con la construcción de líneas ferroviarias y nuevamente se otorgaron muchas concesiones que no surtieron efecto. Sin embargo de los contratos que se autorizaron y que tuvieron éxito, además de las dos concesiones mencionadas con anterioridad, se encuentra el Ferrocarril Internacional Mexicano, cuya empresa construyó la línea que comunica a Ciudad Porfirio Díaz (hoy Piedras Negras, Coah.) con Torreón, Coah. y Durango, Dgo. Al término de su gobierno, habían construidos 5,891 Km de vía.

El regreso al gobierno en 1884 del General Porfirio Díaz y su permanencia hasta 1910 ayudó a que se consolidara la expansión ferroviaria y facilitó la inversión extranjera, para 1890 había 9,544 Km de vía, y al término de su gobierno habían construidos 19,280 Km. de vía. Los principales ferrocarriles eran los siguientes:

**Ferrocarril Central**, de capital norteamericano, línea de la ciudad de México a Cd. Juárez con un ramal al pacífico por Guadalajara y otro a Tampico por San Luis Potosí.

**Ferrocarril de Sonora**, de capital norteamericano, línea de Hermosillo a Nogales.

**Ferrocarril Nacional**, de capital norteamericano, línea de la ciudad de México a Nuevo Laredo.

**Ferrocarril Internacional**, de capital norteamericano, línea de Piedras Negras a Durango.

**Ferrocarril Interoceánico**, de capital inglés, línea de la ciudad de México a Veracruz vía Jalapa.

**Ferrocarril Mexicano del Sur**, de capital inglés, línea de Puebla a Oaxaca.

**Ferrocarril de Occidente**, de capital inglés, línea del Puerto de Altata a Culiacán en el estado de Sinaloa.

**Ferrocarril Kansas City, México y Oriente**, de capital norteamericano, línea de Ojinaga a Topolobampo.

**Ferrocarril Nacional de Tehuantepec**, de capital inglés y mexicano, línea de Salina Cruz a Coatzacoalcos.

**Ferrocarril Mexicano del Pacífico**, de capital norteamericano, línea de Guadalajara a Manzanillo.

**Ferrocarril Sud-Pacífico**, de capital norteamericano, línea de Empalme a Mazatlán.

**Ferrocarriles Unidos de Yucatán**, de inversión privada nacional, líneas de Mérida a Peto, Valladolid, Campeche, Izamal y Muna.

**Ferrocarril Panamericano**, de capital norteamericano y del gobierno de México, unió al Nacional de Tehuantepec con la frontera de Guatemala.

**Ferrocarril Noroeste de México**, línea de Ciudad Juárez a la Junta, Chih.

En 1908, bajo el control del gobierno Porfirista, el Ferrocarril Central Mexicano, el Ferrocarril Nacional de México, el Ferrocarril Internacional, junto con el Ferrocarril de Hidalgo, el Ferrocarril Noroeste y el Ferrocarril del Pacifico se fusionaron en una sola compañía dando origen a Ferrocarriles Nacionales de México contando con 11,500 Km. Posteriormente, se incorporó el Ferrocarril de Veracruz al Istmo y se adquirió el control del Ferrocarril Panamericano y el Mexicano del Sur.

La contienda armada que se inició el 20 de noviembre de 1910 tuvo grandes repercusiones en la red ferroviaria del país, siendo ésta utilizada para fines militares y resultando seriamente dañada.

Durante el gobierno de Francisco I. Madero, la red ferroviaria aumentó 340 Km. Para 1917 se habían agregado a la red de Ferrocarriles Nacionales de México 193 Km., y para 1919 la red federal había aumentado a 20,871 Km. Entre 1914 y 1925 se construyeron 639 Km. de vías.

El 1º de enero de 1926 se efectuó la devolución de los Ferrocarriles Nacionales a la compañía privada propietaria representada por el Ing. León Salinas, aunque el gobierno mexicano conservaba su condición como accionista mayoritario.

El 23 de junio de 1937 el Presidente Lázaro Cárdenas dictó un acuerdo expropiando los bienes de la compañía de Ferrocarriles Nacionales de México. Así mismo, se creó la empresa Líneas Férreas de México que se encargaría de la construcción de algunas líneas que complementarían la red ferroviaria nacional.

Durante el gobierno de Cárdenas, se iniciaron los trabajos para la construcción de la línea de Coatzacoalcos a Campeche (Ferrocarril del Sureste) que conectaría con Ferrocarriles Unidos de Yucatán y la línea de Benjamín Hill a Mexicali (Ferrocarril Sonora – Baja California)

Durante la Segunda Guerra Mundial, Ferrocarriles Nacionales de México se vio en la necesidad de colaborar en el transporte de enormes volúmenes de materias primas y materiales estratégicos que Centro y Sudamérica enviaban por territorio Mexicano a Estados Unidos, debido a que los movimientos de carga por el canal de Panamá y el Océano Pacífico habían sido suspendidos.

En 1942 el gobierno de Estados Unidos en acuerdo con el Gobierno Mexicano resolvió establecer un organismo denominado Misión Norteamericana de Ferrocarriles que cooperaría con Ferrocarriles Nacionales de México para mejorar las vías que servían de enlace entre la frontera sur de México y la de Estados Unidos. Sin embargo, las obras que se realizaron fueron estrictamente las necesarias para proporcionar seguridades mínimas al movimiento de los trenes, pero no para su total rehabilitación. Al término de la Segunda Guerra Mundial, las condiciones de las instalaciones y el equipo de Ferrocarriles Nacionales de México eran críticas, debido al desgaste que sufrieron durante este periodo.

Para rescatar al Sistema Ferroviario, a principios de 1947, por acuerdo del Presidente Miguel Alemán, se elaboró un programa conocido como el "Plan Alemán de Rehabilitación Ferroviaria" que incluyó la puesta en servicio de los Talleres Diesel en San Luis Potosí y la construcción de las nuevas Terminales y Estaciones de Chihuahua, Jalapa, Guadalajara y Monterrey. Así mismo, se iniciaron los trabajos de construcción de la Terminal del Valle de México en Tlalnepantla.

El 30 de diciembre de 1948, durante el gobierno del Presidente Miguel Alemán, se expidió la Ley Orgánica de Ferrocarriles Nacionales Mexicanos, otorgándole personalidad jurídica como una Empresa Descentralizada del Gobierno Federal, constituyendo un organismo de servicio público sin fines de lucro.

Durante el sexenio del Presidente Miguel Alemán se puso en servicio el Ferrocarril Sonora – Baja California inaugurado el 7 de abril de 1948 y el Ferrocarril del Sureste inaugurado el 25 de mayo de 1950. Este último se fusionó con Ferrocarriles Unidos de Yucatán y formó Ferrocarriles Unidos del Sureste.

En el periodo de 1952 a 1958, durante el gobierno del Presidente Ruiz Cortines se reanudaron los trabajos de reconstrucción. El 26 de junio de 1956 se puso en servicio la Terminal del Valle de México y el 27 de enero de 1958 se puso en servicio la Terminal de Carga de la Ciudad de México en Pantaco.

Durante el gobierno del Presidente Adolfo López Mateos se puso en servicio la Estación de Ferrocarriles en Buenavista, la Terminal de Carga en Nuevo Laredo, Tamps., y las estaciones de Carga y Pasajeros en Monterrey, Torreón y Cd. Juárez. Se incorporó el Ferrocarril Mexicano a Ferrocarriles Nacionales de México, se inauguró el Ferrocarril Chihuahua Pacífico, se puso en servicio el Tren Regiomontano entre la ciudad de México y Monterrey y se inició el servicio directo de pasajeros entre la ciudad de México y Mérida.

Durante el Gobierno de Gustavo Díaz Ordaz (1964-1970) se pusieron en servicio las estaciones de Zacatecas, Irapuato, Saltillo, Morelia y Tierra Blanca.

En el Gobierno de Luis Echeverría (1970-1976) se continuó con la rehabilitación de vías, reforzamiento de puentes y cambio de rieles en las troncales de mayor tráfico. Así como la adquisición de locomotoras y carros de carga.

El 17 de enero de 1977 en el Diario Oficial de la Federación se publicó el acuerdo del presidente López Portillo en el que dispone la fusión de las cinco empresas ferroviarias que existían en el país, Ferrocarriles Nacionales de México, Ferrocarril del Pacífico, Ferrocarriles Unidos del Sureste, Ferrocarril Chihuahua Pacífico, y Ferrocarril Sonora – Baja California en un solo organismo público descentralizado unificando los criterios de operación y control.

Durante el gobierno del Presidente López Portillo, se puso en servicio la Red de Telecomunicaciones que enlaza a la capital con el sureste del país, se adquirieron locomotoras y unidades de carga.

Sin embargo, y a pesar de los avances logrados, la insuficiencia de recursos públicos para superar el deterioro de la infraestructura y los servicios, y el rezago en la inversión y el mantenimiento de vías y equipo ferroviario provocó que menos empresas se apoyaran en este medio para transportar su carga, misma que entre el periodo de 1970 y 1995 disminuyó de un 23% a un 12%.

El ferrocarril en México fue cayendo en desuso y con la entrada del Tratado de Libre Comercio, la intensificación de los intercambios comerciales entre México y sus principales socios comerciales fue demandando una infraestructura más moderna que permitiera disminuir los costos y los tiempos de entrega; esto solo sería posible con mayor inversión.

El cambio estructural de ferrocarriles comenzó en 1995, requiriéndose de algunas reformas en el marco legal, en las que el ferrocarril pasó de ser un área estratégica, a un área prioritaria.

## **1.2 PRIVATIZACIÓN DEL SISTEMA FERROVIARIO MEXICANO**

En 1995, el Gobierno Mexicano tomó la decisión de privatizar el transporte ferroviario. En el mes de febrero se aprobó la reforma al artículo 28 Constitucional, permitiendo así la inversión privada. Para mayo de ese mismo año, el Diario Oficial de la Federación publicó la Ley Reglamentaria del Servicio Ferroviario, en donde se indican los medios y reglas a seguir en el proceso de privatización del servicio ferroviario mexicano. Finalmente, para el mes de noviembre el Diario Oficial de la Federación publica los Lineamientos Generales para la Apertura a la Inversión en el Sistema Ferroviario Mexicano.



Para tal efecto, se dividió a la red ferroviaria en tres grandes troncales: Ferrocarril del Noreste, Ferrocarril Pacífico-Norte y Ferrocarril del Sureste.

La primera línea en ser concesionada fue la del Ferrocarril del Noreste el 2 de diciembre de 1996; la unión de Transportación Marítima Mexicana (51%) y Kansas City Southern Industries (49%) dio origen a Transportación Ferroviaria Mexicana (TFM) la cual inició operaciones el 24 de Junio de 1997 y cuya concesión para los operar 4,283 km de vía que corresponden a la Línea del Noreste es por 50 años, prorrogable a 50 años más. Las principales ciudades a las que TFM da servicio son las fronteras de Nuevo Laredo y Matamoros, los puertos de Tampico, Altamira con derechos de paso, Veracruz y Lázaro Cárdenas, así como las ciudades de Monterrey, San Luis Potosí, Aguascalientes, Querétaro, Guadalajara con derechos de paso y la Cd. de México.<sup>1,2</sup>

El 22 de Junio de 1997 se da a conocer la concesión del Ferrocarril Pacífico-Norte a Grupo Ferroviario Mexicano también por 50 años prorrogables a 50 más, dando origen a Ferrocarril Mexicano (FXE), empresa con capital mayoritariamente mexicano, 74% a cargo de Grupo México y el 26% restante a cargo de Union Pacific Railroad. Entró en operaciones el 19 de febrero de 1998 y en la actualidad es la red ferroviaria con mayor extensión del territorio nacional, cubriendo 10,461 km de vía.<sup>3,4</sup>

El 27 de agosto de 1999, la ruta corta de Nogales-Nacoziari de 320 km que se encuentra al norte del país en Sonora, fue concesionada a Grupo México, quien cuenta con grandes depósitos de cobre en esa zona.<sup>5</sup>

Las principales ciudades a las que Ferrocarril Mexicano da servicio son la Cd. de México, Guadalajara, Hermosillo, Chihuahua y Monterrey con derechos de paso, las fronteras de Mexicali, Nogales, Cd. Juárez, Ojinaga y Piedras Negras y los puertos de Guaymas, Topolobampo, Mazatlán, Manzanillo, Altamira y Tampico.<sup>3</sup>

El 14 de noviembre de 1997 se otorgó la concesión de la línea corta Coahuila-Durango a Grupo Acerero del Norte (50%) y a Industrias Peñoles (50%) por un periodo de 30 años, dando origen al Ferrocarril Coahuila Durango (LCD), que inició operaciones el 27 de abril de 1998. Opera en los estado de Coahuila y Durango penetrando además en los estado de Chihuahua y Zacatecas conectando con Ferrocarril Mexicano en los siguientes puntos: Cd. Frontera, Coah., Torreón, Coah., Escalón, Chih., Barroterán, Coah., Sabinas, Coah. y Felipe Pescador, Zac. Tiene una extensión de 1,370 km, 984 km de vía y 386 km de derechos de paso. <sup>6</sup>

En octubre de 1997, el Gobierno Federal segmenta la tercera línea troncal del Sureste en dos rutas: México-Veracruz-Coatzacoalcos y la ruta del Istmo: Coatzacoalcos-Salina Cruz, la primera para concesionarse a operación privada y la segunda para integrar la empresa paraestatal Ferrocarril del Istmo de Tehuantepec. <sup>7,8</sup> El 29 de junio de 1998 se otorga la concesión por 50 años de la ruta México-Veracruz-Coatzacoalcos al Grupo Triturados Basálticos, dando origen a Ferrosur (FSE) que entró en operaciones el 18 de diciembre del mismo año. Sin embargo, en julio de 1999 Grupo Triturados Basálticos vende su participación a Grupo Financiero Inbursa y Grupo Frisco. Ferrosur tiene una extensión de 1,479 km dando servicio a la Cd. de México, Puebla y los puertos de Veracruz y Coatzacoalcos. <sup>9,10</sup>

La última línea ferroviaria en ser concesionada fue la Unidad Ferroviaria Chiapas-Mayab, dando origen a Compañía de Ferrocarril Chiapas-Mayab (FCHMB), empresa subsidiaria de la compañía estadounidense Genesee & Wyoming Inc., con una extensión de 1,550 km en el sureste de México que cubre los estados de Chiapas, Tabasco, Campeche y Yucatán. <sup>11</sup>

Con el fin de evitar conflicto en la zona del Valle de México, se creó el Ferrocarril y Terminal del Valle de México (TFVM) que presta servicios de intercomunicación y maniobras en la zona metropolitana con una extensión de 297 km. El 75% de las acciones de la Terminal del Valle de México son compartidas equivalentemente por los ferrocarriles

troncales, TFM, Ferromex y Ferrosur, el Gobierno Federal conserva actualmente el 25% restante.<sup>10,12,13</sup>

La línea corta Tijuana-Tecate fue asignada al Gobierno del Estado de Baja California el 1° de Abril de 2000 y el tramo de Medias Aguas a Salina Cruz, fue asignado a Ferrocarril del Istmo de Tehuantepec el 23 de Diciembre de 1999.<sup>12</sup>

A continuación se muestra una tabla que muestra la cobertura que tiene cada empresa concesionaria con respecto a la Red Ferroviaria Mexicana, así como su porcentaje de participación dentro de la misma.

Empresa	Kms.	% Participación
TFM	4,283	21%
FXE	10,461	51%
FSE	1,479	7%
FCHM	1,550	7%
LCD	984	5%
TFVM	297	1%
Otras *	1,633	8%

Tabla 1. Cobertura de las Empresas Ferroviarias en México  
 \* NOTA: Incluye el Ferrocarril del Istmo de Tehuantepec y Líneas Cortas Asignadas.

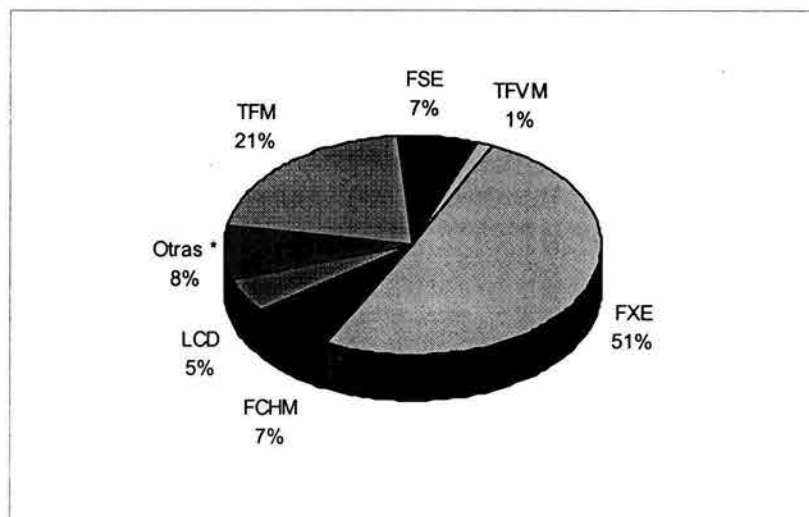


Fig. 1 Gráfica de Porcentaje de Participación

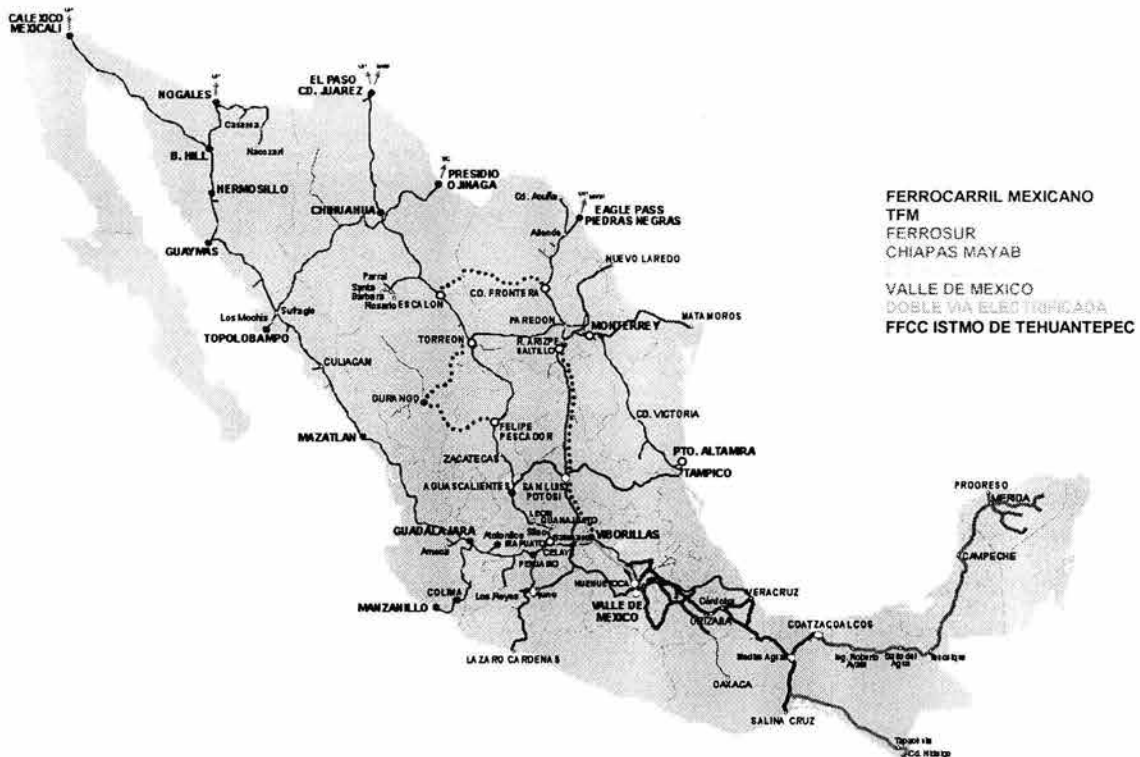


Fig. 2 Mapa de Sistema Ferroviario Mexicano Actual

### 1.3 INVERSIONES AL SISTEMA FERROVIARIO MEXICANO

Entre el año de 1970 y 1995 la participación del ferrocarril en el transporte de carga terrestre nacional bajó del 23% al 12%.<sup>10</sup> Sin embargo, al mismo tiempo en que la carga transportada era menor y el servicio se deterioraba, los subsidios recibidos no estuvieron direccionados a su modernización. Esto propició una ineficiencia tal, que el ferrocarril corría el riesgo de desaparecer, por lo que el Gobierno tomó la decisión de abrir las puertas al capital privado, tanto nacional como extranjero.

La privatización ha traído consigo una inversión de mas de 1,000 millones de dólares que han sido destinados principalmente a infraestructura, equipo tractivo, equipo de arrastre y telecomunicaciones.

Las mayores inversiones han sido por parte de las empresas más grandes. A la fecha, Transportación Ferroviaria Mexicana lleva invertidos 700 millones de dólares <sup>1</sup> y Ferrocarril Mexicano 350 millones de dólares, en el periodo de 1998 a 1999. <sup>3</sup> Así mismo, el Ferrocarril del Chiapas-Mayab se comprometió a invertir 198 millones de pesos <sup>11</sup> en el corto plazo y la paraestatal a cargo del Ferrocarril del Istmo de Tehuantepec invertirá también 500 millones de pesos. <sup>7</sup>

Algunas de las acciones que han llevado a cabo los ferrocarriles para mejorar el servicio de transporte de carga han sido la rehabilitación de las vías, el reforzamiento de puentes y la ampliación de laderos con el fin de elevar la velocidad de los trenes, reducir el tiempo de despacho, incrementar la capacidad de carga de la vía y hacer más ágil tanto el tráfico doméstico como los cruces fronterizos.

En cuanto al equipo tractivo y de arrastre se han reemplazado los carros de carga por equipo nuevo y se han adquirido nuevas locomotoras; así mismo, se han hecho mejoras en los talleres de reparación de carros y locomotoras, así como la construcción de nuevos talleres.

A su vez, se destaca la instalación de equipos de lectura automática de carros, los detectores de cajas calientes y los dispositivos de fin de tren que eliminan a los cabooses.

Los equipos de lectura automática de carros (AEI - Automatic Equipment Identification) son lectores que se colocan al lado de la vía y tienen la capacidad de identificar el equipo en tiempo real, proporcionando la localización exacta del carro y permitiendo un seguimiento continuo de la trayectoria del mismo.

Los detectores de cajas calientes (HBD - Hot Box Detectors) también están localizados a los lados de las vías y tienen la capacidad de medir la temperatura de los muñones de las ruedas, mismos que debido a la fricción se van calentando y al fundirse provocan descarrilamientos.

#### **1.4 SEGMENTOS DE SERVICIO FERROVIARIO MEXICANO**

El transporte ferroviario se destaca por su capacidad de transportar grandes volúmenes tanto de materia prima como de productos terminados y resulta muy rentable cuando se trata de transportar productos a grandes distancias. En la actualidad las empresas ferroviarias en México dan servicio a diferentes ramas de la Industria, entre las principales que podemos señalar se encuentran:

- Automotriz
- Metales y Minerales
- Cementera
- Agrícola
- Fertilizantes
- Química

Dentro de la gran cantidad de materias primas y productos terminados que son transportados por ferrocarril, una importante cantidad de productos son considerados como peligrosos.

## **CAPITULO 2. TRANSPORTE DE MATERIALES PELIGROSOS POR FERROCARRIL EN MEXICO**

### **2.1 NORMATIVIDAD EN EL TRANSPORTE DE MATERIALES PELIGROSOS POR FERROCARRIL**

En México, el transporte de materiales y residuos peligrosos por ferrocarril está regulado por la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA), el Reglamento para el Transporte Terrestre de Materiales y Residuos Peligrosos publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 7 de Abril de 1993, el Reglamento del Servicio Ferroviario publicado en el DOF el 30 de Septiembre de 1996 y las siguientes Normas Oficiales Mexicanas:

**NOM-002-SCT/1994**, "Listado de las sustancias y materiales peligrosos más usualmente transportados" (DOF: 30-Oct-95)

**NOM-003-SCT-2000**, "Características de las etiquetas de envases y embalajes destinadas al transporte de sustancias y residuos peligrosos" (DOF: 20-Sep-2000)

**NOM-004-SCT-2000**, "Sistema de identificación de unidades destinadas al transporte terrestre de materiales y residuos peligrosos" (DOF: 27-Sep-2000)

**NOM-005-SCT-2000**, "Información de emergencia en transportación para el transporte terrestre de materiales y residuos peligrosos" (DOF: 27-Sep-2000)

**NOM-007-SCT2-2002**, "Envases y embalajes destinados al transporte de sustancias y residuos peligrosos" (DOF: 17-Abr-03)

**NOM-009-SCT2-1994**, "Compatibilidad para almacenamiento y transporte de sustancias, materiales y residuos peligrosos de la clase 1 explosivos" (DOF: 25-Ago-95)

**NOM-010-SCT2-1994**, "Disposiciones de compatibilidad y segregación, para el almacenamiento y transporte de sustancias, materiales y residuos peligrosos" (DOF: 25-Sep-95)

**NOM-018-SCT2-1994**, "Disposiciones para la carga, acondicionamiento y descarga de materiales y residuos peligrosos en unidades de arrastre ferroviario" (DOF: 25-Ago-95)

**NOM-019-SCT2-1995**, "Disposiciones generales para la limpieza y control de remanentes de sustancias y residuos peligrosos en las unidades que transportan materiales y residuos peligrosos" (DOF: 25-Sep-95)

**NOM-021-SCT2-1994**, "Disposiciones generales para transportar otro tipo de bienes diferentes a las sustancias, materiales y residuos peligrosos, en unidades destinadas al traslado de materiales y residuos peligrosos" (DOF: 25-Sep-95)

**NOM-024-SCT2-2002**, "Especificaciones para la construcción y reconstrucción, así como los métodos de prueba de los envases y embalajes de las sustancias, materiales y residuos peligrosos" (DOF: 22-Abr-03)

**NOM-025-SCT2-1994**, "Disposiciones especiales para las sustancias, materiales y residuos peligrosos de la clase 1 explosivos" (DOF: 22-Sep-95)

**NOM-027-SCT2-1994**, "Disposiciones generales para el envase, embalaje y transporte de las sustancias, materiales y residuos peligrosos de la división 5.2 peróxidos orgánicos" (DOF: 23-Oct-95)

**NOM-028-SCT2-1994**, "Disposiciones especiales para las sustancias, materiales y residuos peligrosos de la clase 3 líquidos inflamables transportados" (DOF: 14-Sep-99)

**NOM-043-SCT2-1994**, "Documentos de embarque de sustancias, materiales y residuos peligrosos" (DOF: 23-Oct-95)

**NOM-044/1-SCT2-1997**, "Instrucciones para la ejecución de inspecciones y reparaciones programables de conservación del equipo tractivo ferroviario. Parte 1: Inspección diaria o de viaje" (DOF: 01-Jun-98)

**NOM-044/2-SCT2-1995**, "instrucciones para la ejecución de inspecciones y reparaciones programables de conservación del equipo tractivo ferroviario. Parte 2: Inspección trimestral o de 48,000 kilómetros de recorrido" (DOF: 12-May-97)

**NOM-045-SCT2-1995**, "Características generales de las unidades de arrastre ferroviario asignado al transporte de materiales y residuos peligrosos" (DOF: 22-Oct-97)

**NOM-051-SCT2-1995**, "Especificaciones especiales y adicionales para los envases y embalajes de las sustancias peligrosas de la división 6.2 agentes infecciosos" (DOF: 21-Nov-97)



De acuerdo a una empresa concesionaria del ferrocarril en México, se tiene identificado un listado de materiales peligrosos que son transportados por este medio (Véase Apéndice1).

Estos materiales se encuentran clasificados de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana **NOM-002-SCT2/1994**, "Listado de las sustancias y materiales peligrosos más usualmente transportados", misma que se basa en el Sistema de Clasificación e Identificación de las Naciones Unidas y que establece la identificación y clasificación de las sustancias y materiales peligrosos de acuerdo a su clase, división de riesgo, riesgo secundario, número asignado por la Organización de las Naciones Unidas, así como las disposiciones especiales a que debe sujetarse el transporte y el método de envase y embalaje publicada en el Diario Oficial de la Federación el 30 de Octubre de 1995.

El Sistema de Clasificación e Identificación de las Naciones Unidas clasifica y divide a los materiales peligrosos en 9 clases, e identifica la clase y la división de riesgo mediante carteles que son colocados en las unidades de transporte y que se encuentran regulados en las Normas Oficiales Mexicanas NOM-003-SCT/2000 y NOM-004-SCT/2000.

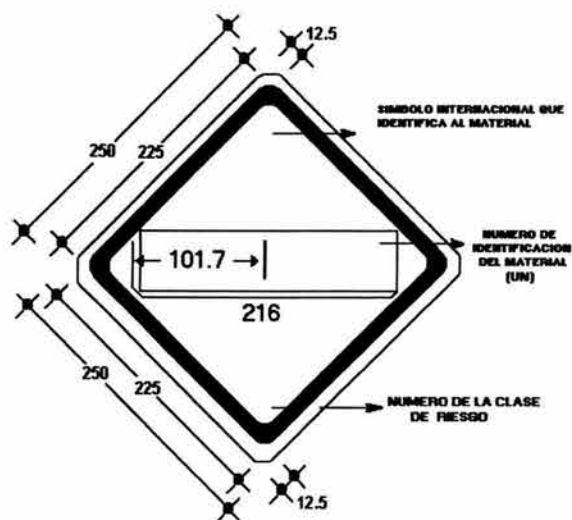


Fig. 3 Dimensiones mínimas de los carteles de identificación

## **Clase 1. Explosivos**

1.1 Substancias y objetos que representan un riesgo de explosión de la totalidad de la masa, es decir que la explosión se extiende de manera prácticamente instantánea a casi toda la carga.

1.2 Substancias y objetos que representan un riesgo de proyección pero no un riesgo de explosión de la totalidad de la masa.

1.3 Substancias y objetos que representan un riesgo de incendio y de que se produzcan pequeños efectos de onda expansiva, de proyección o ambos, pero no riesgo de explosión de la totalidad de la masa. Se incluyen en esta división las substancias y objetos siguientes:

a. Aquellos cuya combustión da lugar a una radiación térmica considerable.

b. Aquellos que arden sucesivamente con pequeños efectos de onda expansiva, de proyección, o ambos.

1.4 Substancias y objetos que no representan un riesgo considerable.

1.5 Substancias muy poco sensibles que presentan un riesgo de explosión de la totalidad de la masa, pero que es muy improbable su iniciación o transición de incendio o detonación bajo condiciones normales de transporte.

1.6 Objetos extremadamente insensibles que no presentan un riesgo de explosión a toda la masa, que contienen sólo substancias extremadamente insensibles a la detonación y muestran una probabilidad muy escasa de iniciación y propagación accidental.

## **Clase 2. Gases**

2.1 Gases inflamables

2.2 Gases comprimidos no inflamables, no tóxicos

2.3 Gases tóxicos.

## **Clase 3. Líquidos Inflamables**

**Clase 4. Sólidos Inflamables**

4.1 Sólidos Inflamables.

4.2 Substancias que presentan un riesgo de combustión espontánea.

4.3 Substancias que en contacto con el agua desprenden gases inflamables.

**Clase 5. Oxidantes y Peróxidos Orgánicos**

5.1 Substancias Oxidantes

5.2 Peróxidos Orgánicos

**Clase 6. Tóxicos Agudos y Agentes Infecciosos**

6.1 Tóxicos Agudos

6.2 Agentes Infecciosos

**Clase 7. Radiactivos**

**Clase 8. Corrosivos**

**Clase 9. Varios**

## 2.2 CARACTERISTICAS DE CARROS TANQUES

El diseño de los carros tanques empleados para transportar materiales peligrosos ha estado a cargo de las siguientes instituciones:

AAR	Asociación Americana de Ferrocarriles (EUA)
ICC	Comisión Interestatal de Comercio (EUA)
DOT	Departamento de Transporte (EUA)
CTC	Comisión Canadiense de Transporte (Canadá)

México pertenece a la AAR con el fin de estandarizar el uso de tecnología y procedimientos aplicables en las diferentes áreas operativas y administrativas de las empresas ferroviarias.<sup>14</sup>

De forma general, los carros tanques se dividen en 3 clases: no presurizados, presurizados y otros.

Los carros tanques no presurizados están destinados para transportar materiales líquidos no peligrosos y materiales de baja a mediana peligrosidad que presentan bajas presiones de vapor a condiciones normales, en esta categoría se pueden señalar aceites vegetales, azufre fundido, combustibles y aceites lubricantes entre otros. Los carros tanques especificados en esta categoría son: DOT clases 103, 104, 111 y 115.

Los carros tanques presurizados están destinados a transportar materiales comprimidos, licuados o disueltos a presión, que presentan altas presiones de vapor y que por lo general en condiciones normales su estado físico es gaseoso, un ejemplo de este tipo de materiales es el gas licuado de petróleo, cloro, amoníaco y dióxido de carbono. Debido a que los carros tanques presurizados presentan una estructura más fuerte, en los últimos años han sido especificados para transportar los materiales líquidos más peligrosos, especialmente aquellos que son venenosos por inhalación y que representan mayores

peligros a la salud y al ambiente. Los carros tanques especificados en esta categoría son: DOT clases 105, 109, 112, 114 y 120.

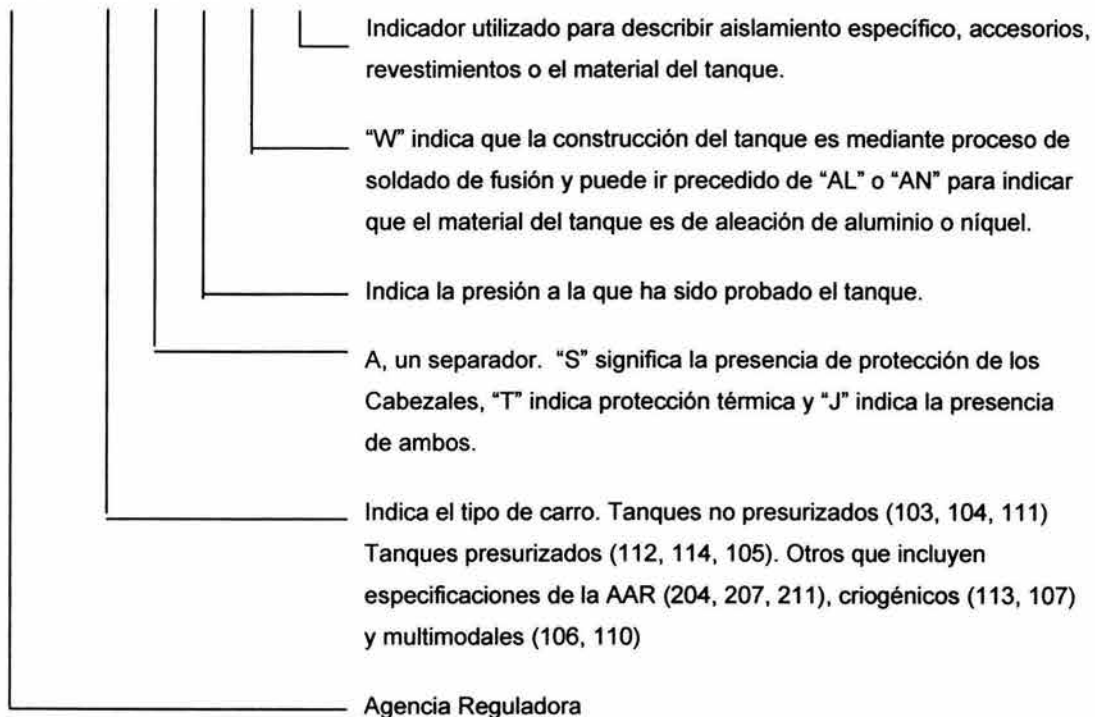
La tercera clasificación incluye a los siguientes tipos de carros tanques:

- Criogénicos (AAR Clase 204 y DOT Clases 107 y 113)
- Tanques Multimodales, que pueden ser separados de la estructura del carro (DOT Clases 106 y 110)
- Carros designados para el transporte de materiales granulados (AAR Clase 207)

### 2.2.2 SISTEMA DE IDENTIFICACION PARA CARROS TANQUES

Los carros tanques cuentan con un sistema de identificación que permite determinar el tipo de carro o la clase a la que pertenece, la presión a la cual ha sido probado el carro, el material con el que está construido y algunos otros indicadores como accesorios, revestimientos o tipo de aislantes. Esta identificación se encuentra rotulada en un costado de cada carro tanque.

DOT – 111 A 100 W 3



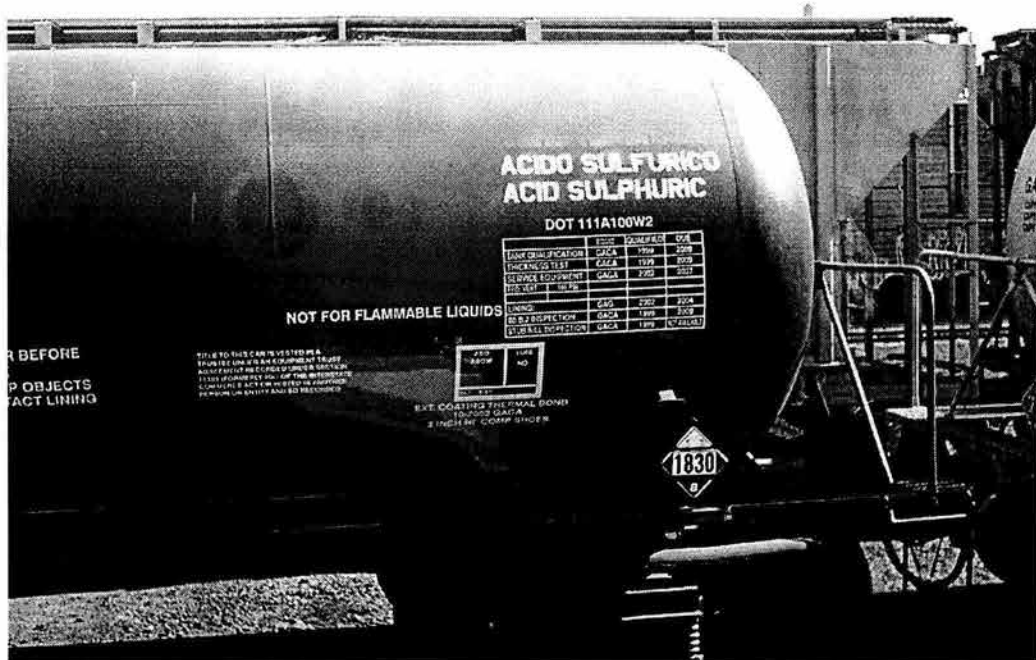


Fig. 4 y 5 Ejemplos de Sistema de Identificación de Carros Tanques

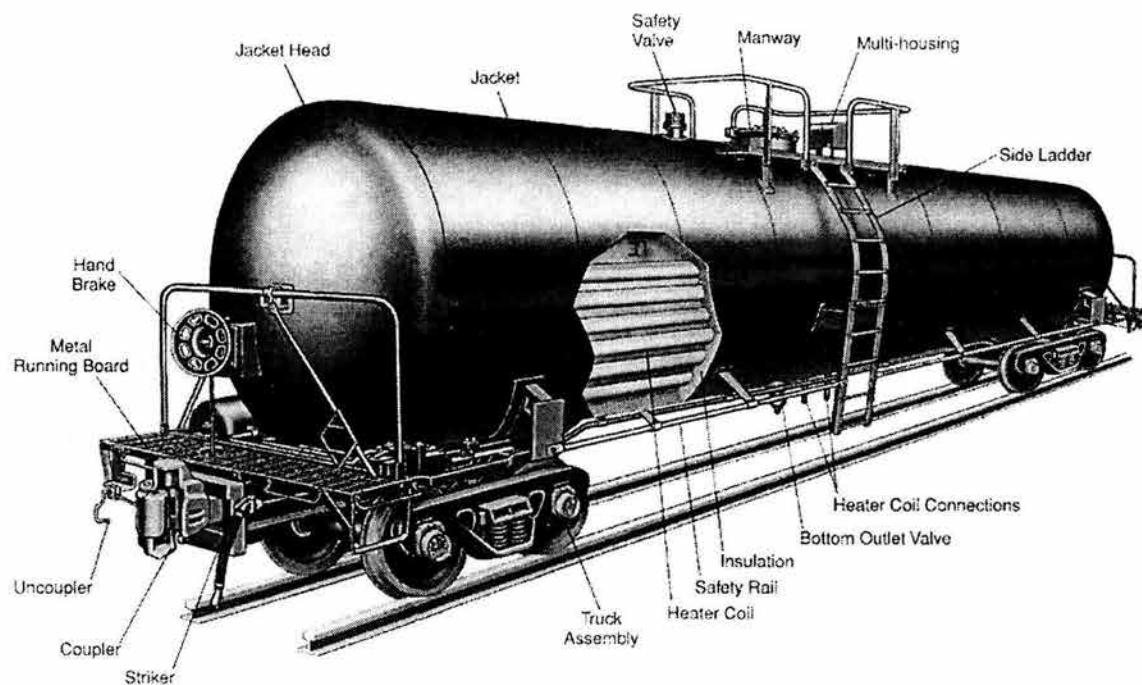


Fig. 6 Principales Componentes de un carro tanque

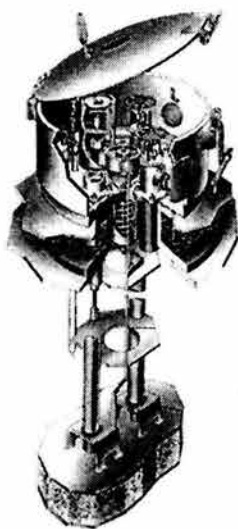


Fig. 7 Accesorios de un carro tanque presurizado.

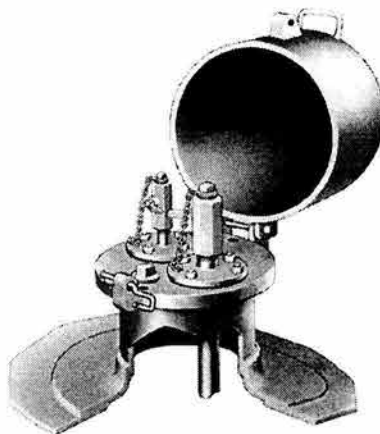


Fig. 8 Accesorios de un carro tanque no presurizado

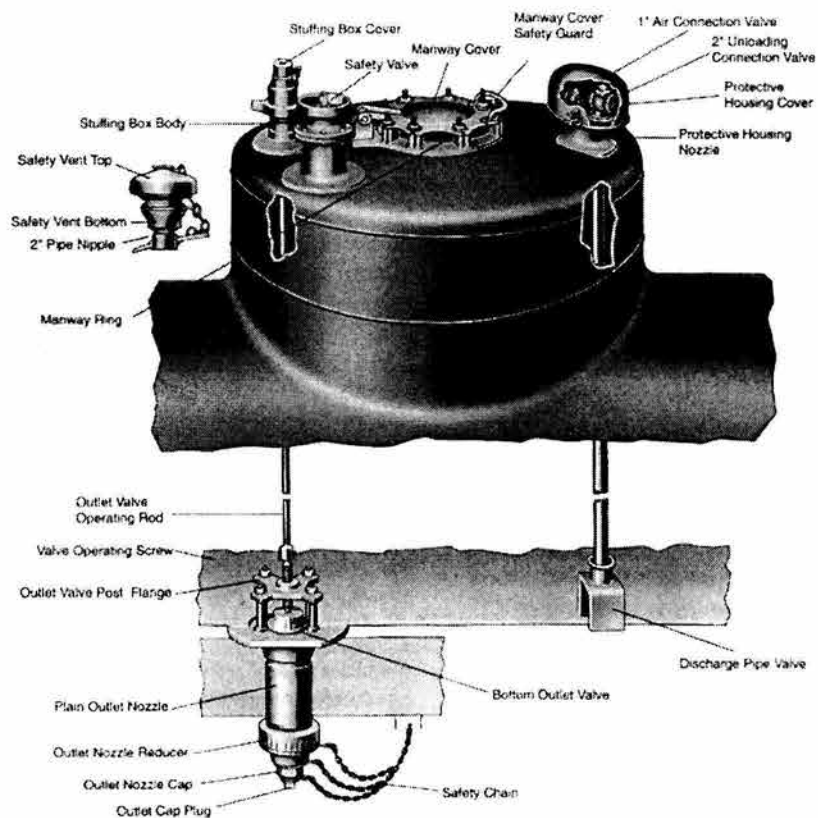


Fig. 9 Accesorios de un carro tanque DOT-103W de servicio general



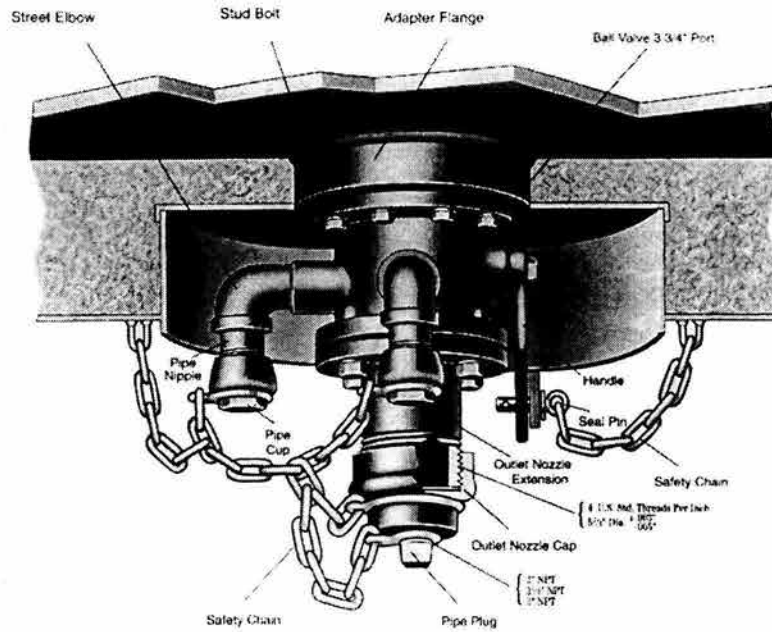


Fig. 10 Válvula de 4", encaquetada, operada en la base del carro tanque



Fig. 11 Disco de ruptura

A continuación se muestran diferentes tipos de carros tanques, sus dimensiones y especificaciones.

### Carro tanque de servicio general con aislamiento térmico DOT 111A100W1

Peso del Carro Tanque: 76,800 lbs

Peso máximo cargado: 263,000 lbs

Aislamiento: 4" fibra de vidrio

Serpentín Exterior: Si, 8L/2T

Presión de Ruptura: 500 psi

Presión de Prueba: 100 psi

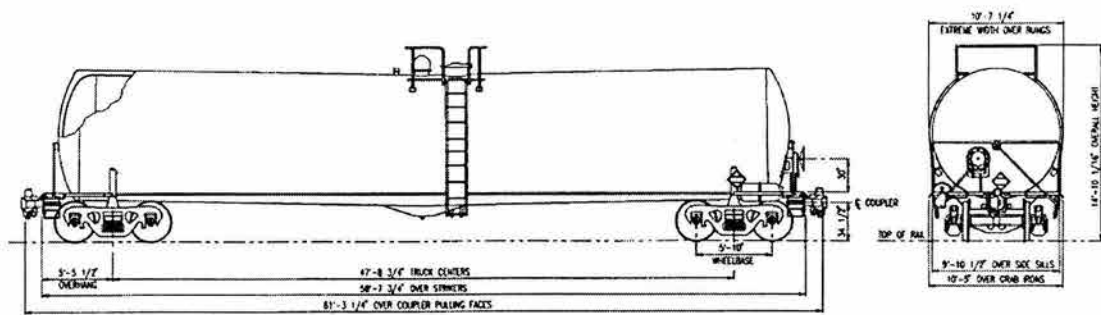


Fig. 11 Diagrama de Carro Tanque DOT-111A100W1 con aislamiento

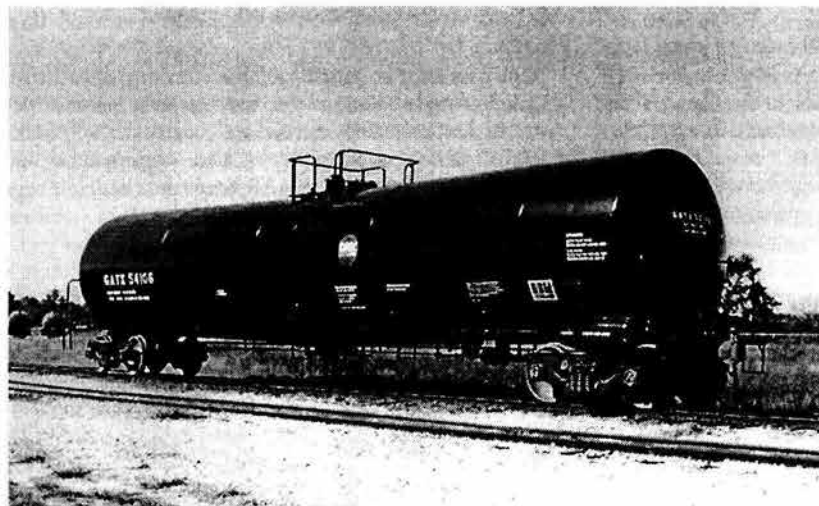


Fig. 12 Carro Tanque de servicio general. Material transportado: Cera de Petróleo

### Carro tanque de servicio general sin aislamiento DOT 111A100W1

Peso del Carro Tanque: 58,500 lbs

Peso máximo cargado: 263,000 lbs

Sin aislamiento

Sin serpentín exterior

Presión de ruptura: 500 psi

Presión de prueba: 100 psi

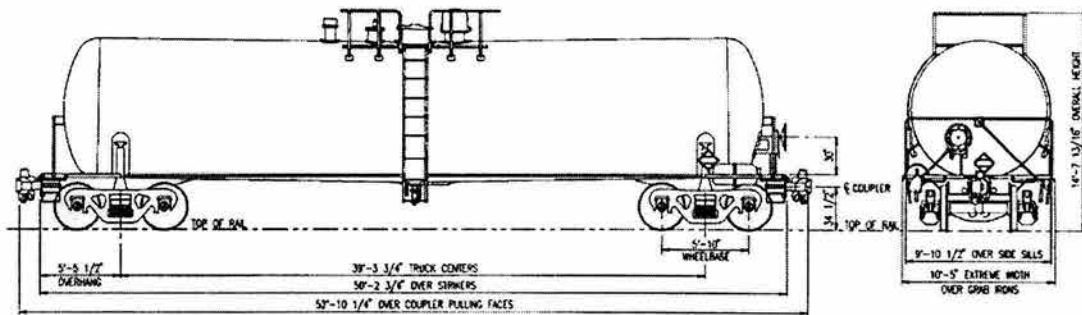


Fig. 13 Diagrama de Carro Tanque DOT 111A100W1 sin aislamiento



Fig. 14 Carro tanque DOT 111A100W1 sin aislamiento. Material transportado: Etilenglicol

### Carro tanque sin aislamiento para el transporte de ácidos DOT 111A100W2

Peso del Carro Tanque: 55,200 lbs

Peso máximo cargado: 263,000 lbs

Sin aislamiento

Sin serpentín exterior

Presión de ruptura: 500 psi

Presión de prueba: 100 psi

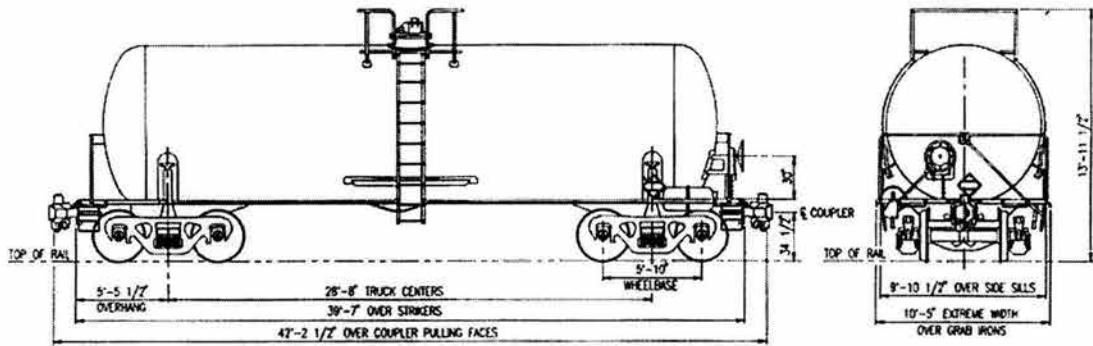


Fig. 15 Diagrama de carro tanque DOT 111A100W2 para transporte de ácidos



Fig. 16 Carro tanque DOT 111A100W2. Material transportado: Ácido Sulfúrico

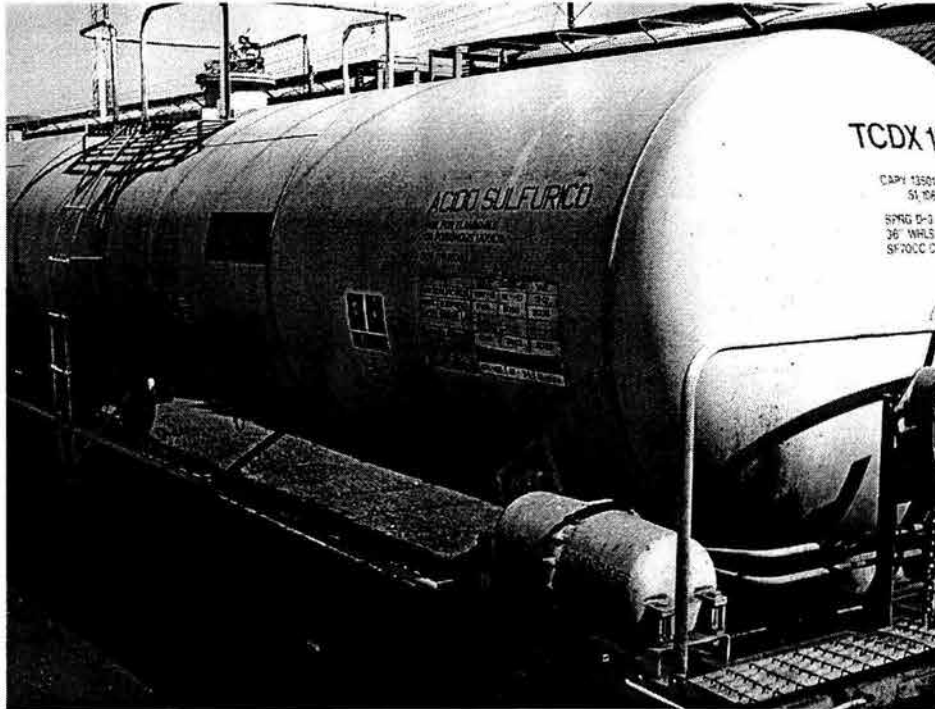


Fig. 17 y 18 Ejemplos de carros tanques DOT-111A100W2 Ácido Sulfúrico

### Carro tanque presurizado con aislamiento DOT 105J400W

Peso del Carro Tanque: 110,400 lbs

Peso máximo cargado: 263,000 lbs

Aislamiento: 3 1/2" fibra de vidrio y fibra de cerámica

Sin serpentín exterior

Presión de ruptura: 1,000 psi

Presión de prueba: 400 psi

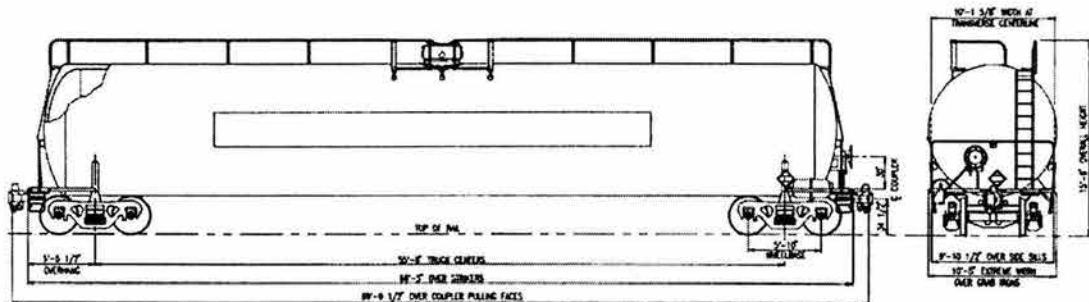


Fig. 19 Diagrama de carro tanque DOT 105J400W con aislamiento

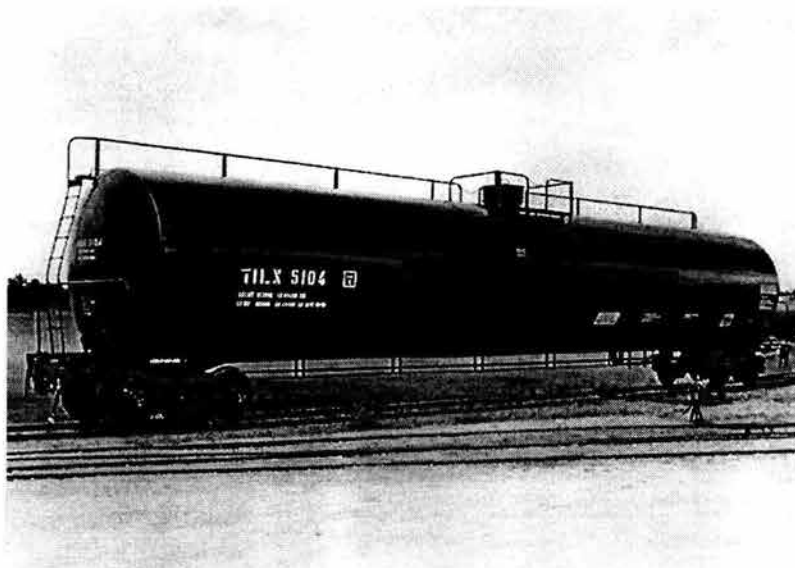


Fig. 20 Carro tanque DOT 105J400W. Material transportado: Gas LP

### Carro tanque presurizado con aislamiento DOT 105J300W

Peso del Carro Tanque: 84,000 lbs

Peso máximo cargado: 263,000 lbs

Aislamiento: 3 ½ " fibra de vidrio y fibra de cerámica

Sin serpentín exterior

Presión de ruptura: 750 psi

Presión de prueba: 300 psi

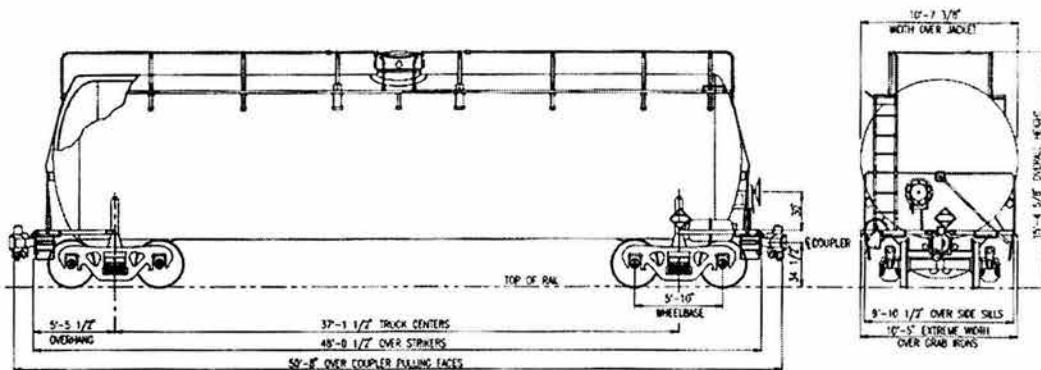


Fig. 22 Carro tanque DOT 105J300W. Material transportado: Cloruro de Vinilo

Carro tanque presurizado con aislamiento DOT 105A500W

Capacidad: 90 Ton.

Presión de ruptura: 1,250 psi

Presión de prueba: 500 psi

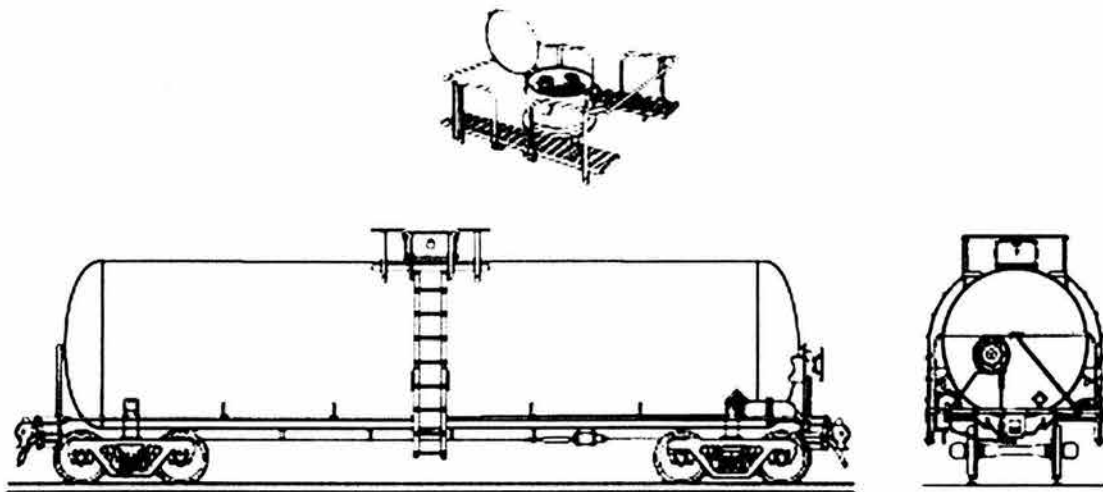


Fig. 23 Diagrama de carro tanque DOT 105A500W. Material transportado: Cloro



### CAPITULO 3. EVALUACION DE PELIGROS POR TRANSPORTE FERROVIARIO DE MATERIALES QUIMICO PELIGROSOS EN LA REPUBLICA MEXICANA

#### 3.1 ACCIDENTES QUÍMICOS FERROVIARIOS EN LA REPUBLICA MEXICANA

El avance de la tecnología y el desarrollo Industrial hacen que cada vez sea más elevada la producción, el almacenamiento, el transporte y el consumo de productos químicos peligrosos, lo que aumenta el riesgo de que puedan existir accidentes e incidentes en alguna de estas etapas.

Si bien no todos los accidentes ocurridos durante el transporte ferroviario de materiales peligrosos son debidamente documentados, existe información periodística que nos permite conocer algunas de las causas que provocan estos accidentes.<sup>15</sup> Entre las principales causas podemos mencionar la falta de mantenimiento a las vías y a los equipos de arrastre, el sobrecalentamiento de los muñones de las ruedas de los equipos de arrastre, sobrecarga en los equipos de arrastre y exceso de velocidad, entre otros.

Por mencionar algunos accidentes ferroviarios que involucraron materiales peligrosos en la República Mexicana y de los cuales se tiene documentación periodística, a continuación se muestra una tabla con las principales características de cada evento:

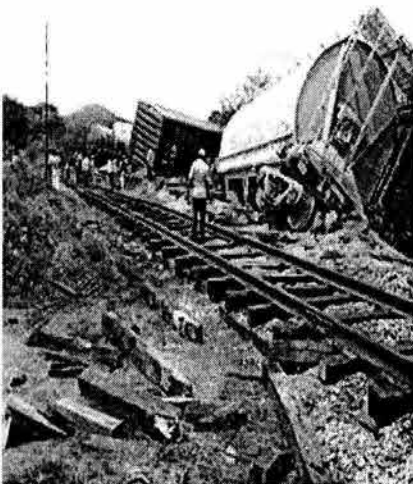
ESTADO	CIUDAD O LUGAR	FECHA	NOMBRE DE LA SUSTANCIA	EVENTO	DAÑOS MATERIALES, HUMANOS Y AMBIENTALES
Estado de México	Ixtlahuaca, Vía del ferrocarril	25 de Julio de 1997	Óxido de propileno	Descarrilamiento y derrame	Contaminación del suelo [16]
Veracruz	Medias Aguas Estación ferroviaria	21 de Agosto de 1997	Amoniaco	Fuga en un vagón	Contaminación del Aire, Contaminación del suelo [17]
San Luis Potosí	Municipio de Tamasopo	21 de diciembre 1997	Cloro	Descarrilamiento de vagones contenedores y fuga	Contaminación de agua, suelo y aire [18]

EVALUACION DE PELIGROS POR TRANSPORTE FERROVIARIO DE MATERIALES QUIMICO  
PELIGROSOS EN LA REPUBLICA MEXICANA

ESTADO	CIUDAD O LUGAR	FECHA	NOMBRE DE LA SUSTANCIA	EVENTO	DAÑOS MATERIALES, HUMANOS Y AMBIENTALES
Michoacán	Morelia, Comunidad de Caltzontzin	14 de enero 1998	Azufre	Incendio Furgones	Contaminación del Aire, Contaminación del suelo [19]
Chiapas	Tapachula, estación Los Toros	10 enero 2000	Diesel y Gasolina	Descarrilamiento 9 carros tanque, derrame del material transportado	Contaminación del Aire, Contaminación del suelo, 2 km de vía dañados, destrucción parcial de los 9 carro tanques [20]
Michoacán	Tramo Caltzontzin-Ziracuaretiro	17 de enero 2000	Alquitrán de Hulla	Descarrilamiento de 9 carros tanque, 2 volcados, derrame de material	Contaminación del Aire, Contaminación del suelo [21]
Oaxaca	Reforma de Pineda	7 de octubre 2000	Diesel y Gasolina	Descarrilamiento de 4 carros tanque, derrame del material transportado	Contaminación del Aire, Contaminación del suelo [22]
Chihuahua	Municipio Uirque, San Rafael	14 de diciembre 2000	Amoniaco	Descarrilamiento 4 carros tanque y derrame	Contaminación del Aire, Contaminación del suelo [23]
Sinaloa	Cruce de vía con carretera Naco-Cananea	13 de febrero 2001	Acido Sulfúrico	Descarrilamiento de 10 carros tanque y derrame	Contaminación del Aire, Contaminación del suelo [24]
Chiapas	Pijijipan	5 julio 2001	Gasolina	Descarrilamiento de 3 de 17 vagones, explosión de uno	Contaminación del Aire, Contaminación del suelo. No hubo víctimas [25]
Chiapas	Patio almacenaje PEMEX	12 de julio 2001	Diesel y Gasolina	Descarrilamiento de 9 carros y derrame	Contaminación del Aire, Contaminación del suelo [26]
Guanajuato	Sn. Fco. Del Rincón a 120 km de León, Gto.	27 de junio 2002	"Peroxido de silicio"	Descarrilamiento de 12 vagones, derrame del material	Contaminación del Aire, Contaminación del suelo [27]
Hidalgo	Municipio Apan, Pachuca	20 de abril 2003	Amoniaco	Fuga en un carro tanque	Contaminación del Aire, Contaminación del suelo, algunos intoxicados [28]

Tabla 3. Relación de algunos accidentes químicos ferroviarios ocurridos entre 1997 y 2003

Fuente: El Universal, La Jornada. 1997-2003 (Referencias: 16 a 28)



**Fig. 24**

7 de Octubre 2000

Descarrilamiento de 4 carros tanque

Diesel, Gasolina y Cemento

Oaxaca

**Fuente:** El Universal



**Fig. 25**

5 Julio 2001

Descarrilamiento 3 vagones, explosión de

un carro tanque con Gasolina

Chiapas

**Fuente:** El Universal

### **3.2 MODELOS PARA COMPUTADORA**

La tecnología toma un papel importante en la evaluación de distintos escenarios de accidentes e incidentes de materiales peligrosos. El uso de computadoras permite contar con la información adecuada y oportuna mediante el acceso a bases de datos y modelos matemáticos o heurísticos que permiten evaluar distintas situaciones con múltiples variables y sus consecuencias.

Existen numerosos programas para computadora que estiman los efectos causados por el escape de un material peligroso, los que actualmente se utilizan, entre otros, son:

ALOHA (Areal Locations Of Hazardous Atmospheres)

ARCHIE (Automated Resource for Chemical Hazard Incident Emulation)

DEGADIS (Dense Gas Dispersion Model)

PHAST (Process Hazard Analysis Software Tool)

TRACE (Toxic Release Analysis of Chemical Emission)

SCRI (Simulación de Contaminación y Riesgos en Industrias)

TSCREEN (Toxic Screening Model)

SIRIA (Sistema de Información Rápida de Impacto Ambiental)

Para seleccionar el modelo que se debe utilizar para la simulación de consecuencias, se deben considerar los siguientes factores.

1. La facultad del modelo para simular la liberación del material de interés
2. La validez del modelo y la aceptación del mismo por agencias reguladoras
3. La disponibilidad de la información previa que requiere el modelo

Para la realización de este trabajo, se seleccionaron los programas ALOHA y ARCHIE, debido a que están avalados por EPA (Environmental Protection Agency) y DOT (Department of Transportation, USA) agencias especializadas en esta área, son modelos que no requieren de entrenamiento especializado para su uso y se encuentran disponibles en Internet sin costo.

- **ALOHA.** Areal Locations Of Hazardous Atmospheres. (*Versión 5.2.3*) Este programa se utiliza para determinar los efectos de gases y vapores tóxicos o derrames de materiales cuyos vapores sean más pesados que el aire o neutros. La información que requiere consiste en datos que provee el usuario e información sobre las propiedades físicas del material que se esté analizando, mismas que están contenidas en su base de datos. De este modelo se obtienen números y gráficos de las dosis y concentraciones a las distancias de interés.
  
- **ARCHIE.** Automated Resource for Chemical Hazard Incident Emulation. (*Versión 1.0*) Este modelo solo proporciona resultados numéricos y puede evaluar los siguientes aspectos:
  - Estimación de la velocidad de descarga de un líquido o un gas.
  - Estimación del área de un charco (pool) de líquido por derrame.
  - Estimación de la cantidad de vapores generados por un charco (pool) de líquido.
  - Evaluación de las consecuencias por dispersión de vapores tóxicos.
  - Evaluación de las consecuencias por radiación en un incendio de un charco de líquido.
  - Evaluación de las consecuencias por radiación de una bola de fuego.
  - Evaluación de las consecuencias de una flama direccionada (Jet Fire).
  - Evaluación de las consecuencias por inflamabilidad de nubes o plumas de vapores.
  - Evaluación de las consecuencias por explosión de nubes de vapor.

- Evaluación de las consecuencias por ondas de sobre presión debido a la ruptura súbita de tanques.
- Evaluación de las consecuencias por explosión de sólidos y líquidos.

Estos modelos necesitan información previa del sitio que se esté analizando y que influye en el comportamiento del material liberado:

1.- Características principales del material como: Propiedades físicas (densidad, solubilidad, límites de inflamabilidad, presión de vapor, etc.); condiciones de almacenamiento (temperatura, presión); Propiedades (TLV, IDLH, etc.).

2.- Tipo de Localidad: urbano o rural (condiciones que afecten el comportamiento del material liberado como árboles, edificios o terreno plano)

3.- Características del derrame: tamaño de ruptura, composición del material liberado, gasto por minuto, forma, dimensiones o profundidad.

4.- Condiciones climáticas: Día, noche, temperatura, nubosidad, humedad, viento (dirección y velocidad), estabilidad o parámetros de turbulencia (mezclado vertical del aire).

Existen otros factores que no son contemplados por estos programas y que sin embargo son importantes y deben ser considerados por el modelador al realizar simulaciones de consecuencias, ya que determinan las decisiones de la persona encargada de atender la emergencia. Estos factores son:

Tipo de localidad: Además de considerar si la zona afectada es urbana o rural, es importante determinar la densidad demográfica del sitio y proximidad de centros de población, escuelas, hospitales, parques, áreas recreativas, zonas comerciales, de oficinas o industriales, bosques o reservas naturales que se encuentren en la zona de afectación.

**Topografía:** Planicies, montañas, pendientes del terreno, etc. que tengan un impacto directo en el resultado de la simulación.

**Patrones del viento:** Tanto la velocidad como la dirección del viento juegan un papel muy importante, la velocidad del viento hace que la nube del gas tóxico o inflamable sea trasladada y diluida. Así mismo, la dirección del viento puede cambiar en cualquier momento y esto modificaría el resultado obtenido en la simulación de consecuencias.

**Tipo de suelo:** Es importante considerar el tipo de suelo presente en la zona afectada, ya que los suelos permeables, como los arenosos u orgánicos, permiten la filtración del material peligroso; en caso contrario a los suelos no permeables como los de arcilla.

**Cuerpos acuíferos receptores:** Mar, ríos, lagos, arroyos o presas que se encuentren en la zona afectada y que puedan resultar contaminados por la liberación de materiales peligrosos.

**Condiciones Climatológicas:** Además de considerar la temperatura ambiente, la humedad, existes otras condiciones del clima que pueden afectar los resultados obtenidos, tal es el caso de la precipitación pluvial, que en algunos casos puede beneficiar el resultado o en otros empeorarlo.

**Ecosistemas:** Es importante tomar en cuenta la afectación que puede sufrir un ecosistema ante la presencia de un material peligroso.

Los resultados que se obtienen de los modelos seleccionados en forma de gráficas o numéricos son:

- a) Áreas de afectación como nubes tóxicas o inflamables.
- b) Diámetros de sobre presión de nubes explosivas.
- c) Dirección de "plumas" y alcance de nubes tóxicas e inflamables
- d) Radios de afectación por radiación térmica
- e) Diámetros y duración de " BLEVES " (Boiling Expanding Vapor Explosion).

## **CAPITULO 4. PLANTEAMIENTO DE ESCENARIOS**

De la lista de materiales peligrosos transportados por ferrocarril en México (*Apéndice 1*), se seleccionaron los 5 materiales que representan el 80 % del volumen transportado por ferrocarril en México.

### **Materiales Peligrosos Seleccionados**

#### **Clase 2.**

- Cloro
- Amoniaco

#### **Clase 3**

- Combustóleo
- Diesel

#### **Clase 8**

- Ácido Sulfúrico

Para conocer las consecuencias de un escape de materiales químico peligrosos durante su transportación por ferrocarril en la República Mexicana, se plantearán distintos escenarios de accidentes e incidentes con los materiales peligrosos seleccionados. Estos serán evaluados con ALOHA y ARCHIE.

Para cada producto se seleccionará una ruta a modo de ejemplo, siendo ésta elegida de forma aleatoria de tal forma que incluya una diversidad de condiciones climatológicas, características topográficas, ecosistemas, etc.

Las variables que se utilizarán para cada escenario, corresponderán a valores estadísticos obtenidos del INEGI de acuerdo a las rutas seleccionadas para cada material peligroso.



Los resultados obtenidos serán representados en tablas y en mapas que identifiquen las áreas afectadas.

Las rutas seleccionadas son:

<b>Material</b>	<b>Estación Origen</b>	<b>Estación Destino</b>
Cloro	Coatzacoalcos, Ver.	Tampico, Tamps.
Amoniaco	Coatzacoalcos, Ver.	Celaya, Gto.
Combustóleo	Monterrey, N.L.	Delicias, Chih.
Diesel	Irapuato, Gto.	Celaya, Gto.
Ácido Sulfúrico	El Tajo, Son.	Nogales, Son.

Tabla 4. Rutas seleccionadas

### ***Planteamiento en ALOHA***

Debido a que ALOHA es un programa que permite analizar la dispersión de gases o de vapores de materiales que son neutros o más pesados que el aire, este programa se utilizará únicamente para el cloro y el amoniaco. A pesar de que el amoniaco es un gas más ligero que el aire, cuando es transportado bajo presión y ocurre una ruptura que genera una pérdida de presión se forman una mezcla de gas y finas gotas llamada aerosol y se comporta como un gas pesado.

En base a las rutas seleccionadas y de acuerdo a estadísticas climáticas de éstas, obtenidas del INEGI, se consideraron dos valores de: temperatura ambiente, velocidad y dirección del viento, humedad y características del terreno. Estos valores corresponden al valor mínimo y máximo de cada variable, de tal forma que los resultados se encuentren dentro del rango que cada ruta presenta. Es importante señalar que el factor de turbulencia seleccionado corresponde a las velocidades de viento mínimas y máximas de cada ruta, siendo condiciones ligeramente moderadas a condiciones neutrales.

Así mismo se seleccionaron 2 posiciones en las que el carro tanque podría encontrarse, posición normal o volteado y en ambas posiciones distintas condiciones del mismo que pudieran presentar fuga o derrame: válvula dañada, ruptura en tanque de tipo circular y ruptura en tanque de tipo rectangular, de distintas dimensiones y en distintas ubicaciones del carro tanque. Esto con el fin de analizar las diferentes opciones que el programa nos permite evaluar.

Para cada producto se plantearon 32 casos, segmentados en 4 grupos:

- Carro tanque volteado con ruptura de 5.08 cm en válvula.
- Carro tanque en posición normal con ruptura de 2.54 cm en válvula superior.
- Carro tanque en posición normal con ruptura de tipo circular en tanque de 3.81 cm a 0.92 m de la base del tanque.
- Carro tanque en posición normal con ruptura de tipo rectangular en tanque de 2.5 x 25.4 cm a 1.5 m de la base del tanque.

Cada grupo se subdividió en 2 grupos considerando dos parámetros de temperatura ambiente y de dirección del viento, en cada subgrupo se plantearon dos parámetros de humedad en el ambiente y nubosidad presente, tomando en cuenta las características del terreno, zona abierta o zona urbana.

Los aspectos que se analizaron con este modelo son:

- Flujo liberado
- Cantidad liberada en 1 hr.
- Distancia afectada a la dosis de interés (IDLH)

### ***Planteamiento en ARCHIE***

Este programa permite analizar la dispersión de gases o vapores, las consecuencias por fuego o explosión y las consecuencias por derrame, por lo que será utilizado para los 5 materiales seleccionados. A pesar de que este programa no utiliza un modelo de dispersión de gases pesados se utilizará para simular las consecuencias del escape del cloro y el amoníaco con el fin de comparar los resultados obtenidos en ambos programas.

Al igual que el planteamiento en ALOHA, se consideraron distintas condiciones climáticas, distintas posiciones en las que el carro tanque pudiera encontrarse, y distintas condiciones del mismo que pudieran presentar fuga o derrame. Los valores de las variables que se utilizaron, fueron los mismos que se evaluaron en ALOHA con el fin de que los resultados obtenidos en ambos programas fueran comparables.

Debido a que este programa no contempla la variable de humedad en el ambiente, se plantearon solo 2 grupos, considerando dos parámetros de temperatura ambiente y de dirección del viento correspondientes a las estadísticas obtenidas del INEGI en cada ruta seleccionada. En cada grupo se consideraron 4 condiciones del carro tanque:

- Carro tanque volteado con ruptura de 5.08 cm en válvula.
- Carro tanque en posición normal con ruptura de 2.54 cm en válvula superior.
- Carro tanque en posición normal con ruptura de tipo circular en tanque de 3.81 cm a 0.92 m de la base del tanque.
- Carro tanque en posición normal con ruptura de tipo rectangular en tanque de 2.5 x 25.4 cm a 1.5 m de la base.

Cabe señalar, que la segunda condición planteada únicamente puede ser evaluada en carro tanques presurizados, por lo que solo se utilizó para el cloro y el amoníaco.

Con este modelo se evaluaron diversos aspectos dependiendo de las características del material peligroso analizado:

- Velocidad de descarga de un líquido o gas.
- Área de un charco de líquido por derrame
- Cantidad de vapores generados por un charco de líquido.
- Dispersión de vapores tóxicos.
- Radiación en un incendio de un charco de líquido.

## CAPITULO 5. DISCUSION Y RESULTADOS

Para la elaboración de este trabajo, se buscaron antecedentes de accidentes ferroviarios en los que estuvieran involucrados materiales químico peligrosos, de tal forma que se tuvieran parámetros fidedignos que nos permitieran determinar las zonas de afectación en caso de que se presentara un accidente durante el transporte de estos materiales en la República Mexicana. Sin embargo, la información que se encuentra disponible al público en general no es suficiente, ya que principalmente contempla información periodística que no incluye los detalles del accidente que nos pudieran dar los parámetros requeridos y por ser información confidencial, las empresas ferroviarias no permiten el acceso a la misma.

Debido a lo anterior, y con el objeto de establecer un punto de inicio en la evaluación de las zonas que pueden ser afectadas por el transporte ferroviario de materiales químico peligrosos en la República Mexicana, se consideraron dos parámetros como base para este estudio, un límite inferior y uno superior tomando en cuenta las condiciones presentes en las rutas propuestas.

A continuación se presentan los resultados obtenidos para el cloro y el amoníaco en los dos programas seleccionados, ALOHA y ARCHIE. Las secuencias de las simulaciones se pueden encontrar en el apéndice 2 y 3 de este trabajo.

Posición Tanque	Ruptura	Tamaño	Temp. Amb. °C	Viento Km/hr	Estabilidad	Humedad %	Nubosidad (0 - 10)	Zona	Max. Flujo liberado (Kg / min)	Cantidad liberada en 1 hr (Kg)	Radio afectado (Km)
Volteado	Válvula	5.08 cm a 1.22 m base	10	8.04	C	25	5	Abierta	614	29,541	4.7
Volteado	Válvula	5.08 cm a 1.22 m base	10	8.04	C	25	5	Urbana	614	29,541	3.8
Volteado	Válvula	5.08 cm a 1.22 m base	10	8.04	D	99	10	Abierta	614	29,541	5.7
Volteado	Válvula	5.08 cm a 1.22 m base	10	8.04	D	99	10	Urbana	614	29,541	4.7
Volteado	Válvula	5.08 cm a 1.22 m base	25.5	20.9	D	25	5	Abierta	614	29,541	3.7
Volteado	Válvula	5.08 cm a 1.22 m base	25.5	20.9	D	25	5	Urbana	614	29,541	3.1
Volteado	Válvula	5.08 cm a 1.22 m base	25.5	20.9	D	99	10	Abierta	614	29,541	3.7
Volteado	Válvula	5.08 cm a 1.22 m base	25.5	20.9	D	99	10	Urbana	614	29,541	3.1

Tabla 5. Resultados obtenidos de la simulación de consecuencias en ALOHA para cloro

EVALUACION DE PELIGROS POR TRANSPORTE FERROVIARIO DE MATERIALES QUIMICO  
PELIGROSOS EN LA REPUBLICA MEXICANA

Posición Tanque	Ruptura	Tamaño	Temp. Amb. °C	Viento Km/hr	Estabilidad	Humedad %	Nubosidad (0 - 10)	Zona	Max. Flujo liberado (Kg / min)	Cantidad liberada en 1 hr (Kg)	Radio afectado (Km)
Normal	Válvula	2.54 cm a 2.44 m base	10	8.04	C	25	5	Abierta	21.2	1,206	0.812
Normal	Válvula	2.54 cm a 2.44 m base	10	8.04	C	25	5	Urbana	21.2	1,206	0.665
Normal	Válvula	2.54 cm a 2.44 m base	10	8.04	D	99	10	Abierta	21.2	1,206	1
Normal	Válvula	2.54 cm a 2.44 m base	10	8.04	D	99	10	Urbana	21.2	1,206	0.829
Normal	Válvula	2.54 cm a 2.44 m base	25.5	20.9	D	25	5	Abierta	21.2	1,206	0.641
Normal	Válvula	2.54 cm a 2.44 m base	25.5	20.9	D	25	5	Urbana	21.2	1,206	0.528
Normal	Válvula	2.54 cm a 2.44 m base	25.5	20.9	D	90	10	Abierta	21.2	1,206	0.641
Normal	Válvula	2.54 cm a 2.44 m base	25.5	20.9	D	90	10	Urbana	21.2	1,206	0.529
Normal	Circular	3.81 cm a 0.92 m base	10	8.04	C	25	5	Abierta	1,030	42,855	6.2
Normal	Circular	3.81 cm a 0.92 m base	10	8.04	C	25	5	Urbana	1,030	42,855	5
Normal	Circular	3.81 cm a 0.92 m base	10	8.04	D	99	10	Abierta	1,030	42,855	7.3
Normal	Circular	3.81 cm a 0.92 m base	10	8.04	D	99	10	Urbana	1,030	42,855	5.9
Normal	Circular	3.81 cm a 0.92 m base	25.5	20.9	D	25	5	Abierta	1,030	42,855	4.9
Normal	Circular	3.81 cm a 0.92 m base	25.5	20.9	D	25	5	Urbana	1,030	42,855	4
Normal	Circular	3.81 cm a 0.92 m base	25.5	20.9	D	99	10	Abierta	1,030	42,855	4.9
Normal	Circular	3.81 cm a 0.92 m base	25.5	20.9	D	99	10	Urbana	1,030	42,855	4
Normal	Rectangular	2.5 x 25.4 cm a 1.5 m base	10	8.04	C	25	5	Abierta	5,710	21,289	7.5
Normal	Rectangular	2.5 x 25.4 cm a 1.5 m base	10	8.04	C	25	5	Urbana	5,710	21,289	7.1
Normal	Rectangular	2.5 x 25.4 cm a 1.5 m base	10	8.04	D	99	10	Abierta	5,710	21,289	7.6
Normal	Rectangular	2.5 x 25.4 cm a 1.5 m base	10	8.04	D	99	10	Urbana	5,710	21,289	7.2
Normal	Rectangular	2.5 x 25.4 cm a 1.5 m base	25.5	20.9	D	25	5	Abierta	5,710	21,289	9.3
Normal	Rectangular	2.5 x 25.4 cm a 1.5 m base	25.5	20.9	D	25	5	Urbana	5,710	21,289	8.4
Normal	Rectangular	2.5 x 25.4 cm a 1.5 m base	25.5	20.9	D	99	10	Abierta	5,710	21,289	9.3
Normal	Rectangular	2.5 x 25.4 cm a 1.5 m base	25.5	20.9	D	99	10	Urbana	5,710	21,289	8.4

Cont. Tabla 5. Resultados obtenidos de la simulación de consecuencias en ALOHA para cloro

**EVALUACION DE PELIGROS POR TRANSPORTE FERROVIARIO DE MATERIALES QUIMICO  
PELIGROSOS EN LA REPUBLICA MEXICANA**

Temp. Ambiente °C	10	10	10	10	25.5	25.5	25.5	25.5
Viento Km/h	8.04	8.04	8.04	8.04	20.9	20.9	20.9	20.9
Estabilidad	C	C	C	C	D	D	D	D
Ruptura en	Válvula	Válvula	Tanque	Tanque	Válvula	Válvula	Tanque	Tanque
Tipo / Posición Tanque	CT volteado	CT normal	Circular	Rectangular	CT volteado	CT normal	Circular	Rectangular
Diametro ruptura (cm)	5.08	2.54	3.81	9.04 (2.5 x 25.4)	5.08	2.54	3.81	9.04 (2.5 x 25.4)
Altura Líquido (m)	1.95	1.95	1.95	1.95	1.95	1.95	1.95	1.95
Coef. Descarga	0.98	0.98	0.62	0.83	0.98	0.98	0.62	0.83
Cp/Cv		1.4				1.4		
Vel. Descarga (Kg/min)	3,682.2	45.3	1,310.4	9,881.1	3,682.2	45.3	1,310.4	9,881.1
Vol. Liberado (Kg)	72,575	72,575	72,575	72,575	72,575	72,575	72,575	72,575
Tiempo Descarga (min)	19.8	1604.3	55.4	7.35	19.8	1604.3	55.4	7.35
Vol. Liberado en 30 min. (Kg)	NA	1,358	39,311	NA	NA	1,358	39,311	NA
Estado	2 fases	Gas	2 fases	2 fases	2 fases	Gas	2 fases	2 fases
Altura Descarga (m)	1.22	2.44	0.915	1.525	1.22	2.44	0.915	1.525
Distancia Afectada (Km)	7.88	0.72	4.57	9.26	13.27	0.79	6.60	21.86
Conc. Máxima (ppm)	920,004	2,735	591,030	1,000,000	369,579	1,125	233,127	634,267
Distancia de Conc. Max (m)	10.36	21.6	7.3	12.8	16.45	33.8	12.49	21.03

Tabla 6. Resultados obtenidos de la simulación de consecuencias en ARCHIE para cloro

EVALUACION DE PELIGROS POR TRANSPORTE FERROVIARIO DE MATERIALES QUIMICO  
PELIGROSOS EN LA REPUBLICA MEXICANA

Posición Tanque	Ruptura	Tamaño	Temp. Amb. °C	Viento Km/hr	Estabilidad	Humedad %	Nubosidad (0 - 10)	Zona	Max. Flujo liberado (Kg / min)	Cantidad liberada en 1 hr (Kg)	Radio afectado (Km)
Volteado	Válvula	5.08 cm a 1.45 m base	10	8.04	C	25	5	Abierta	368	19,621	1.3
Volteado	Válvula	5.08 cm a 1.45 m base	10	8.04	C	25	5	Urbana	368	19,621	1
Volteado	Válvula	5.08 cm a 1.45 m base	10	8.04	D	99	10	Abierta	368	19,621	1.3
Volteado	Válvula	5.08 cm a 1.45 m base	10	8.04	D	99	10	Urbana	368	19,621	1
Volteado	Válvula	5.08 cm a 1.45 m base	25.5	20.9	D	25	5	Abierta	368	19,621	0.996
Volteado	Válvula	5.08 cm a 1.45 m base	25.5	20.9	D	25	5	Urbana	368	19,621	0.812
Volteado	Válvula	5.08 cm a 1.45 m base	25.5	20.9	D	99	10	Abierta	368	19,621	1
Volteado	Válvula	5.08 cm a 1.45 m base	25.5	20.9	D	99	10	Urbana	368	19,621	0.811
Normal	Válvula	2.54 cm a 2.89 m base	10	8.04	C	25	5	Abierta	11.6	668	0.12
Normal	Válvula	2.54 cm a 2.89 m base	10	8.04	C	25	5	Urbana	11.6	668	0.075
Normal	Válvula	2.54 cm a 2.89 m base	10	8.04	D	99	10	Abierta	11.6	668	0.172
Normal	Válvula	2.54 cm a 2.89 m base	10	8.04	D	99	10	Urbana	11.6	668	0.107
Normal	Válvula	2.54 cm a 2.89 m base	25.5	20.9	D	25	5	Abierta	11.6	668	0.107
Normal	Válvula	2.54 cm a 2.89 m base	25.5	20.9	D	25	5	Urbana	11.6	668	0.067
Normal	Válvula	2.54 cm a 2.89 m base	25.5	20.9	D	99	10	Abierta	11.6	668	0.107
Normal	Válvula	2.54 cm a 2.89 m base	25.5	20.9	D	99	10	Urbana	11.6	668	0.067
Normal	Circular	3.81 cm a 0.92 m base	10	8.04	C	25	5	Abierta	728	33,589	1.8
Normal	Circular	3.81 cm a 0.92 m base	10	8.04	C	25	5	Urbana	728	33,589	1.4
Normal	Circular	3.81 cm a 0.92 m base	10	8.04	D	99	10	Abierta	728	33,589	1.8
Normal	Circular	3.81 cm a 0.92 m base	10	8.04	D	99	10	Urbana	728	33,589	1.5
Normal	Circular	3.81 cm a 0.92 m base	25.5	20.9	D	25	5	Abierta	728	33,589	1.4
Normal	Circular	3.81 cm a 0.92 m base	25.5	20.9	D	25	5	Urbana	728	33,589	1.2
Normal	Circular	3.81 cm a 0.92 m base	25.5	20.9	D	99	10	Abierta	728	33,589	1.4
Normal	Circular	3.81 cm a 0.92 m base	25.5	20.9	D	99	10	Urbana	728	33,589	1.2
Normal	Rectangular	2.5 x 25.4 cm a 1.5 m base	10	8.04	C	25	5	Abierta	4,100	20,956	4.1
Normal	Rectangular	2.5 x 25.4 cm a 1.5 m base	10	8.04	C	25	5	Urbana	4,100	20,956	3.3
Normal	Rectangular	2.5 x 25.4 cm a 1.5 m base	10	8.04	D	99	10	Abierta	4,100	20,956	4.2
Normal	Rectangular	2.5 x 25.4 cm a 1.5 m base	10	8.04	D	99	10	Urbana	4,100	20,956	3.4

Tabla 7. Resultados obtenidos de la simulación de consecuencias en ALOHA para amoniaco



EVALUACION DE PELIGROS POR TRANSPORTE FERROVIARIO DE MATERIALES QUIMICO  
PELIGROSOS EN LA REPUBLICA MEXICANA

Posición Tanque	Ruptura	Tamaño	Temp. Amb. °C	Viento Km/hr	Estabilidad	Humedad %	Nubosidad (0 - 10)	Zona	Max. Flujo liberado (Kg / min)	Cantidad liberada en 1 hr (Kg)	Radio afectado (Km)
Normal	Rectangular	2.5 x 25.4 cm a 1.5 m base	25.5	20.9	D	25	5	Abierta	4,100	20,956	3.4
Normal	Rectangular	2.5 x 25.4 cm a 1.5 m base	25.5	20.9	D	25	5	Urbana	4,100	20,956	2.8
Normal	Rectangular	2.5 x 25.4 cm a 1.5 m base	25.5	20.9	D	99	10	Abierta	4,100	20,956	3.4
Normal	Rectangular	2.5 x 25.4 cm a 1.5 m base	25.5	20.9	D	99	10	Urbana	4,100	20,956	2.8

Cont. Tabla 7. Resultados obtenidos de la simulación de consecuencias en ALOHA para amoniaco

Temp. Ambiente °C	10	10	10	10	25.5	25.5	25.5	25.5
Viento Km/hr	8.04	8.04	8.04	8.04	20.9	20.9	20.9	20.9
Estabilidad	C	C	C	C	D	D	D	D
Ruptura en	Válvula	Válvula	Tanque	Tanque	Válvula	Válvula	Tanque	Tanque
Tipo / Posición Tanque	CT volteado	CT normal	Circular	Rectangular	CT volteado	CT normal	Circular	Rectangular
Diametro ruptura (cm)	5.08	2.54	3.81	9.04 (2.5 x 25.4)	5.08	2.54	3.81	9.04 (2.5 x 25.4)
Altura Líquido (m)	2.28	2.28	2.28	2.28	2.28	2.28	2.28	2.28
Coef. Descarga	0.98	0.98	0.62	0.83	0.98	0.98	0.62	0.83
Cp/Cv		1.3				1.3		
Vel. Descarga (Kg/min)	1,974.9	16.3	702.8	5,299.8	1,974.9	16.3	702.8	5,299.8
Vol. Liberado (Kg)	49,895	49,895	49,895	49,895	49,895	49,895	49,895	49,895
Tiempo Descarga (min)	25	3,070	71	9	25	3,070	71	9
Vol. Liberado en 30 min. (Kg)	NA	489	21,084	NA	NA	489	21,084	NA
Estado	2 fases	Gas	2 fases	2 fases	2 fases	Gas	2 fases	2 fases
Altura Descarga (m)	1.45	2.89	0.92	1.5	1.45	2.89	0.92	1.5

Tabla 8. Resultados obtenidos de la simulación de consecuencias en ARCHIE para amoniaco

EVALUACION DE PELIGROS POR TRANSPORTE FERROVIARIO DE MATERIALES QUIMICO  
PELIGROSOS EN LA REPUBLICA MEXICANA

---

<b>Distancia Afectada (Km)</b>	1.93	0.14	1.10	3.25	2.40	0.13	1.27	4.51
<b>Conc. Maxima (ppm)</b>	1,000,000	2,883	1,000,000	1,000,000	585,123	1,189	520,295	1,000,000
<b>Distancia de Conc. Max (m)</b>	12.5	26.2	7.6	13.1	19.8	40.0	12.2	20.1

Cont. **Tabla 8.** Resultados obtenidos de la simulación de consecuencias en ARCHIE para amoniaco

En ambos programas se consideró el IDLH (Immediately Dangerous to Life or Health) de cada material como la dosis o concentración de interés, 10 ppm para cloro y 300 ppm para amoniaco.

Como se mencionó en el capítulo anterior, ALOHA se utiliza para analizar la dispersión de gases o vapores de materiales que son neutros o más pesados que el aire y ARCHIE además de determinar las consecuencias por fuego y explosión, modela la dispersión de gases o vapores de materiales que son neutros. Adicionalmente, ALOHA considera cambios en el flujo conforme avanza el tiempo y toma en cuenta el efecto de liberación de presión dentro del tanque, mientras que ARCHIE utiliza el valor máximo del flujo liberado de forma constante hasta liberarse todo el contenido del tanque, por lo que éste último obtiene valores más altos.

Por lo anterior, podemos determinar que no es correcto realizar una comparación de los resultados obtenidos con ambos programas, ya que los criterios de evaluación no son los mismos. Sin embargo, al hacerlo, observamos que el resultado coincide con lo esperado, los resultados de ARCHIE son bastante más elevados que los de ALOHA.

La razón por la que se realizó la simulación de consecuencias de estos materiales en los dos programas, aún sabiendo que los resultados no podrían ser comparables, fue para demostrar la importancia que existe en conocer a fondo los modelos en que se basan los programas utilizados, con el objeto de obtener resultados confiables.

ARCHIE también nos permite determinar el área de un charco líquido por derrame, los vapores generados por un charco líquido y la radiación por el incendio de un charco líquido. Estas consecuencias fueron evaluadas para los 3 materiales seleccionados restantes, ácido sulfúrico, diesel y combustóleo.

A continuación se presentan los resultados obtenidos con este programa para los materiales restantes. Los resultados de las simulaciones pueden encontrarse en el apéndice 2 y 3 de este trabajo.

Temp. Ambiente °C	10	10	10	25.5	25.5	25.5
Viento Km/hr	8.04	8.04	8.04	20.9	20.9	20.9
Estabilidad	C	C	C	D	D	D
Ruptura en	Válvula	Tanque	Tanque	Válvula	Tanque	Tanque
Posición Tanque / Tipo Ruptura	CT volteado	Circular	Rectangular	CT volteado	Circular	Rectangular
Diametro (cm)	5.08	3.81	9.04 (2.5 x 25.4)	5.08	3.81	9.04 (2.5 x 25.4)
Altura Líquido (m)	2.75	2.75	2.75	2.75	2.75	2.75
Coef. Descarga	0.98	0.62	0.83	0.98	0.62	0.83
Vel. Descarga (Kg/min)	493	176	1,323	493	176	1,323
Vol. Liberado (Kg)	81,646.6	81,646.6	81,646.6	81,646.6	81,646.6	81,646.6
Tiempo Descarga (min.)	165.6	465.3	61.8	165.6	465.3	61.8
Vol. Liberado en 30 min. (Kg)	14,794	5,265	39,697	14,794	5,265	39,697

Tabla 9. Resultados obtenidos de la simulación de consecuencias en ARCHIE para ácido sulfúrico

EVALUACION DE PELIGROS POR TRANSPORTE FERROVIARIO DE MATERIALES QUIMICO  
PELIGROSOS EN LA REPUBLICA MEXICANA

---

<b>Estado</b>	Líquido	Líquido	Líquido	Líquido	Líquido	Líquido
<b>Presión de vapor a T. amb (mm Hg)</b>	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
<b>Area Max. De Charco (m2)</b>	164,041	77,378	336,282	125,216	59,064	256,691
<b>Diámetro Charco Circular (m)</b>	457.0	313.9	654.4	399.3	274.3	571.7
<b>Lado Charco Cuadrado (m)</b>	405.0	278.2	579.9	353.9	243.0	506.7
<b>Vel. De Evaporación (Kg/min)</b>	0.306	0.144	0.902	0.494	0.232	1.011
<b>Tiempo de Evaporación (min.)</b>	48,254.1	36,404.8	63,159.7	30,079.6	22,693.2	39,371.2
<b>Distancia Afectada (m)</b>	73.15	49.07	106.98	89.61	59.74	132.28

Cont. Tabla 9. Resultados obtenidos de la simulación de consecuencias en ARCHIE para ácido sulfúrico

EVALUACION DE PELIGROS POR TRANSPORTE FERROVIARIO DE MATERIALES QUIMICO  
PELIGROSOS EN LA REPUBLICA MEXICANA

Temp. Ambiente °C	18	18	18	22	22	22
Viento Km/hr	8.04	8.04	8.04	11.26	11.26	11.26
Estabilidad	C	C	C	B	B	B
Ruptura en	Válvula	Tanque	Tanque	Válvula	Tanque	Tanque
Posición Tanque / Tipo Ruptura	CT volteado	Circular	Rectangular	CT volteado	Circular	Rectangular
Diámetro (cm)	5.08	3.81	9.04 (2.5 x 25.4)	5.08	3.81	9.04 (2.5 x 25.4)
Altura Líquido (m)	2.75	2.75	2.75	2.75	2.75	2.75
Coef. Descarga	0.98	0.62	0.83	0.98	0.62	0.83
Vel. Descarga (Kg/min)	277.3	98.7	744.2	277.3	98.7	744.2
Vol. Liberado (Kg)	58,059.8	58,059.8	58,059.8	58,059.8	58,059.8	58,059.8
Tiempo Descarga (min.)	209.4	588.4	78.1	209.4	588.4	78.1
Vol. Liberado en 30 min. (Kg)	8,320	2,961	22,325	8,320	2,961	22,325
Estado	Líquido	Líquido	Líquido	Líquido	Líquido	Líquido
Presión de vapor a T. amb (mm Hg)	1.88	1.88	1.88	2.27	2.27	2.27
Area Max. De Charco (m2)	7,105	3,351	14,565	6,029	2,844	12,359

Tabla 10. Resultados obtenidos de la simulación de consecuencias en ARCHIE para diesel

EVALUACION DE PELIGROS POR TRANSPORTE FERROVIARIO DE MATERIALES QUIMICO  
PELIGROSOS EN LA REPUBLICA MEXICANA

<b>Diámetro Charco Circular (m)</b>	95.1	65.3	136.2	87.6	60.2	125.5
<b>Lado Charco Cuadrado (m)</b>	84.3	57.9	120.7	77.7	53.3	111.2
<b>Vel. De Evaporación (Kg/min)</b>	51.7	24.4	105.9	68.8	32.4	141.1
<b>Tiempo de Evaporación (min.)</b>	161.2	121.6	211.0	121.0	91.3	158.3
<b>Area de Charco con Incendio (m2)</b>	153	54	410	153	54	410
<b>Radio de Charco con Incendio (m)</b>	7.0	4.2	11.4	7.0	4.2	11.4
<b>Altura de la Flama (m)</b>	14.0	9.8	19.5	14.0	9.8	19.5
<b>Radio de zona de fatalidad (m)</b>	11.6	7.0	19.2	11.6	7.0	19.2
<b>Radio de zona Afectada (m)</b>	16.8	10.1	27.1	16.8	10.1	27.1

Cont. Tabla 10. Resultados obtenidos de la simulación de consecuencias en ARCHIE para diesel

EVALUACION DE PELIGROS POR TRANSPORTE FERROVIARIO DE MATERIALES QUIMICO  
PELIGROSOS EN LA REPUBLICA MEXICANA

Temp. Ambiente °C	5	5	5	30	30	30
Viento Km/hr	8.04	8.04	8.04	24.1	24.1	24.1
Estabilidad	C	C	C	C	C	C
Ruptura en	Válvula	Tanque	Tanque	Válvula	Tanque	Tanque
Posición Tanque / Tipo Ruptura	CT volteado	Circular	Rectangular	CT volteado	Circular	Rectangular
Diámetro (cm)	5.08	3.81	9.04 (2.5 x 25.4)	5.08	3.81	9.04 (2.5 x 25.4)
Altura Líquido (m)	2.75	2.75	2.75	2.75	2.75	2.75
Coef. Descarga	0.98	0.62	0.83	0.98	0.62	0.83
Vel. Descarga (Kg/min)	338.0	120.3	907.0	338.0	120.3	907.0
Vol. Liberado (Kg)	70,760.4	70,760.4	70,760.4	70,760.4	70,760.4	70,760.4
Tiempo Descarga (min.)	209.4	588.4	78.1	209.4	588.4	78.1
Vol. Liberado en 30 min. (Kg)	10,139	3,609	27,209	10,139	3,609	27,209
Estado	Líquido	Líquido	Líquido	Líquido	Líquido	Líquido
Presión de vapor a T. amb (mm Hg)	0.835	0.835	0.835	2.08	2.08	2.08
Area Max. De Charco (m2)	9,929	4,684	20,355	5,385	2,541	11,041

Tabla 11. Resultados obtenidos de la simulación de consecuencias en ARCHIE para combustóleo

EVALUACION DE PELIGROS POR TRANSPORTE FERROVIARIO DE MATERIALES QUIMICO  
PELIGROSOS EN LA REPUBLICA MEXICANA

<b>Diámetro Charco Circular (m)</b>	112.4	77.2	161.0	82.8	56.9	118.6
<b>Lado Charco Cuadrado (m)</b>	99.7	68.5	142.7	73.4	50.4	105.1
<b>Vel. De Evaporación (Kg/min)</b>	42.4	20.0	86.8	123.5	58.2	253.2
<b>Tiempo de Evaporación (min.)</b>	239.6	180.8	313.6	82.2	62.0	107.5
<b>Area de Charco con Incendio (m2)</b>	73	26	197	73	26	197
<b>Radio de Charco con Incendio (m)</b>	4.8	2.9	7.9	4.8	2.9	7.9
<b>Altura de la Flama (m)</b>	19.2	13.4	26.8	19.2	13.4	26.8
<b>Radio de zona de fatalidad (m)</b>	8.2	4.9	13.1	8.2	4.9	13.1
<b>Radio de zona Afectada (m)</b>	11.6	7.0	18.9	11.6	7.0	18.9

Cont. Tabla 11. Resultados obtenidos de la simulación de consecuencias en ARCHIE para combustóleo



Como podemos observar, los resultados obtenidos con estos programas nos presentan un resultado puntual, es decir, el resultado que se obtiene es un radio de afectación en la zona en la que se planteó el accidente. Sin embargo, para efectos de este trabajo, es necesario aplicar estos modelos a un sistema de transporte, en este caso, el sistema de transporte ferroviario mexicano.

Si consideramos que en una ruta tenemos toda una variedad de climas y condiciones ambientales, debemos extrapolar los resultados obtenidos a lo largo de la ruta propuesta por la cual se transporta el material peligroso, de tal forma que el resultado será representado en forma de un área que cubra las rutas seleccionadas para cada material.

La forma en la que se presentan estos resultados, consiste en un área trazada en cada ruta seleccionada para cada material y que corresponde al valor máximo obtenido para cada material en el programa adecuado, es decir, para el cloro y el amoníaco se consideraron los resultados máximos obtenidos en ALOHA y para el ácido sulfúrico, el diesel y el combustóleo se consideraron los resultados máximos obtenidos en ARCHIE.

A continuación se presentan los mapas correspondientes a las rutas seleccionadas por material con el resultado obtenido en los programas de simulación de consecuencias correspondientes.











## **CAPITULO 6. CONCLUSIONES**

De acuerdo al análisis de los resultados obtenidos, podemos concluir que, de los materiales estudiados, los que representan mayor peligro por su toxicidad y área de afectación al ambiente y a la población son el cloro y el amoniaco.

En cuanto a los materiales inflamables, éstos generan una radiación radial con un área de alcance delimitada por la cantidad de material y las condiciones del derrame, por lo que físicamente no pueden alcanzar distancias largas y quedarán contenidos en el área de vía, con la posibilidad de afectación de la población que radique en un radio cercano a dicha vía.

Así mismo, de los dos programas utilizados en este trabajo, ALOHA es el indicado para evaluar las zonas de afectación por dispersión de gases o vapores de materiales neutros o más densos que el aire, mientras que ARCHIE es el programa indicado para evaluar las zonas de afectación por dispersión de gases o vapores de materiales neutros, así como para determinar las consecuencias de un escape de materiales inflamables.

Debido a que los programas de simulación de consecuencias utilizan diferentes modelos, es importante conocer las limitaciones de cada programa para evitar obtener resultados erróneos que conlleven a una deficiente evaluación del caso a tratar.

Finalmente, al elaborar este trabajo, se confirmó que es de vital importancia contar con sistemas efectivos de reporte de accidentes que nos permitan generar estadísticas confiables para realizar estudios de esta naturaleza con otras sustancias transportadas por ferrocarril. Por lo que este trabajo, representa una base para la elaboración de dichos estudios.

EVALUACION DE PELIGROS POR TRANSPORTE FERROVIARIO DE MATERIALES QUIMICO  
PELIGROSOS EN LA REPUBLICA MEXICANA

APENDICE 1

Tabla 2. Lista de Materiales Peligrosos transportados por Ferrocarril en la República Mexicana

CODIGO	DESCRIPCION DEL PRODUCTO	DIVISION DE RIESGO	CLAVE ONU
<b>Clase 1: Explosivos</b>			
4901546	NITRATO DE AMONIO (USO INDUSTRIAL)	1.1D	UN-0222
4901705	EXPLOSIVOS NE (DIVISIÓN 1.5)	1.5D	UN-0482
<b>Clase 2: Gases</b>			
4905510	DIMETILAMINA, ANHIDRA	2.1	UN-1032
4905414	METILAMINA, ANHIDRA	2.1	UN-1061
4905540	TRIMETILAMINA, ANHIDRA	2.1	UN-1083
4905705	BUTADIENOS, ESTABILIZADOS (DE ALCOHOL)	2.1	UN-1010
4905704	BUTADIENOS, ESTABILIZADOS (DE PETROLEO)	2.1	UN-1010
4905792	CLORURO DE VINILO, ESTABILIZADO	2.1	UN-1086
4905712	CLORURO DE ETILO	2.1	UN-1037
4905761	CLORURO DE METILO (GAS REFRIGERANTE R 40)	2.1	UN-1063
4905784	PROPILENO	2.1	UN-1077
4905707	BUTANO O MEZCLAS DE BUTANO	2.1	UN-1011
4905752	GASES DE PETROLEO LICUADO	2.1	UN-1075
4904240	AMONIACO ANHIDRO (USO INDUSTRIAL 35-50% AMONIACO)	2.2	UN-2073
4004275	FERTILIZANTE AMONIACO SOLUCION MENOR 35%	2.2	UN-2073
4904535	DIOXIDO DE CARBONO	2.2	UN-1013
4904516	DICLORODIFLUOROMETANO ( GAS REFRIGERANTE R 12)	2.2	UN-1028
4904509	DIOXIDO DE CARBONO LIQUIDO REFRIGERADO	2.2	UN-2187
4904503	ARGON, LIQUIDO REFRIGERADO	2.2	UN-1951
4904560	CLOROTRIFLUOMETANO (GAS REFRIGERANTE R-13)	2.2	UN-1022
4904251	AMONIACO ANHIDRO (USO FERTILIZANTE 35-50% AMONIACO)	2.2	UN-1043
4904250	AMONIACO ANHIDRO (USO FERTILIZANTE MAS DEL 50% AMONIACO)	2.2	UN-1043
4904570	GASES REFRIGENTES NE	2.2	UN-1078
4904894	DISPOSITIVOS DE GAS COMPRIMIDO PARA INFLAR BOLSAS INFLABLES o MODULOS DE GAS COMPRIMIDO DE BOLSAS INFLABLES o PRETENSORES DE GAS COMPRIMIDO DE CINTURONES DE SEGURIDAD	2.2	UN-3353
4920518	BROMURO DE METILO	2.3	UN-1062
4920550	INSECTICIDA GASEOSO TOXICO, NE	2.3	UN-1967
4920353	OXIDO DE ETILENO	2.3 / 2.1	UN-1040
4920523	CLORO	2.3 / 8	UN-1017
4904210	AMONIACO ANHIDRO (USO INDUSTRIAL MAS DEL 50% DE AMONIACO)	2.3 / 8	UN-1005
4920508	DIOXIDO DE AZUFRE	2.3 / 8	UN-1079



EVALUACION DE PELIGROS POR TRANSPORTE FERROVIARIO DE MATERIALES QUIMICO  
PELIGROSOS EN LA REPUBLICA MEXICANA

Tabla 2. Lista de Materiales Peligrosos transportados por Ferrocarril en la República Mexicana

CODIGO	DESCRIPCION DEL PRODUCTO	DIVISION DE RIESGO	CLAVE ONU
<b>Clase 3: Líquidos Inflamables</b>			
4906620	OXIDO DE PROPILENO	3	UN-1280
4907210	ACETALDEHIDO	3	UN-1089
4908151	SULFURO DE METILO (DIMETILO)	3	UN-1164
4908255	PENTANOS	3	UN-1265
4908112	ETER DE PETROLEO	3	UN-1271
4909153	CLOROBENCENO	3	UN-1134
4909223	OXIDO DE MESITILO	3	UN-1229
4907215	ACRILATO DE ETILO, ESTABILIZADO	3	UN-1917
4907219	DICICLOPENTADIENO	3	UN-2048
4909130	ALCOHOLES BUTILICOS, BUTANOS	3	UN-1120
4909128	ACETATO DE BUTILO	3	UN-1123
4910139	ACEITE DE ALQUITRAN DE HULLA	3	UN-1136
4908195	ETER DI ISOPROPILICO	3	UN-1159
4909210	ACETATO DE ISOPROPILO	3	UN-1220
4909242	METIL BUTIL CETONA	3	UN-1224
4907250	MONOMERO DE METACRILATO DE METILO	3	UN-1247
4909216	METIL PROPIL CETONA	3	UN-1249
4909305	TOLUENO	3	UN-1294
4907270	ACETATO DE VINILO, ESTABILIZADO	3	UN-1301
4907265	MONOMERO DE ESTIRENO, ESTABILIZADO	3	UN-2055
4907263	ACRILATO DE ISOBUTILO, ESTABILIZADO	3	UN-2527
4908105	ACETONA SINTETICA NE	3	UN-1090
4908132	CICLOHEXANO	3	UN-1145
4909243	METIL ETIL CETONA	3	UN-1193
4908175	GASOLINA	3	UN-1203
4908176	GASOLINA NATURAL	3	UN-1203
4908183	HEXANOS	3	UN-1208
4909205	ISOPROPANOL (ALCOHOL ISOPROPILICO)	3	UN-1219
4909244	METIL ISOBUTIL CETONA	3	UN-1245
4910447	ACEITE DE PETROLEO NE	3	UN-1268
4910256	NAFTA DE PETROLEO	3	UN-1268
4910243	PETROLEO PARCIALMENTE REFINADO	3	UN-1268
4912414	ESPIRITUS DE TREMENTINA	3	UN-1299
4910313	TREMENTINA (AGUARRAS)	3	UN-1299
4912646	ALCOHOL GRASO NO COMESTIBLE	3	UN-1987
4910111	ALCOHOL LAURICO ETOXILADO	3	UN-1987
4912259	LIQUIDOS FLAMABLES NE (NONENO)	3	UN-1993
4909159	ALCOHOL ETILICO, ETANOL	3	UN-1170
4909363	ALCOHOL DESNATURALIZADO	3	UN-1987
4912215	ACRILATO DE BUTILO, ESTABILIZADO	3	UN-2348

**Tabla 2.** Lista de Materiales Peligrosos transportados por Ferrocarril en la República Mexicana

CODIGO	DESCRIPCION DEL PRODUCTO	DIVISION DE RIESGO	CLAVE ONU
4912043	METIL ISOBUTIL CARBINOL	3	UN-2053
4909135	N, N-DIMETILFORMAMIDA	3	UN-2265
4912224	ETIL AMIL CETONA	3	UN-2271
4909149	ALCOHOL DIACETONA	3	UN-1148
4912062	ETER MONOETILICO DEL ETILENGLICOL	3	UN-1188
4912187	DIESEL	3	UN-1202
4914108	ACRILATO DE ETILHEXIL	3	UN-8027
4912344	COMBUSTOLEO	3	UN-1993
4909333	PEZ GRIEGA O COLOFONIA, ACEITE	3	UN-1286
4910220	ALQUITRANES LIQUIDOS	3	UN-1999
4912003	ASFALTO LIQUIDO	3	UN-1999
4908106	ACETONA NATURAL NE	3	UN-1091
4910156	PINTURAS DE ACEITE	3	UN-1263
4910423	PERFUMERIA (CON LIMITE DE RESPONSABILIDAD)	3	UN-1266
4910165	ACEITE DE PETROLEO CRUDO	3	UN-1267
4909103	ALCOHOLES NE, CETILICO, ESTEARICO (NO LICORES)	3	UN-1987
4912381	ALFAMETIL ESTIRENO	3	UN-1993
4910491	PETROLEO REFINADO	3	UN-1993
4912631	ISOPROPENILBENCENO	3	UN-2303
4908160	PROPANOTIOLES	3	UN-2402
4910225	BEBIDAS ALCOHOLICAS N.E.	3	UN-3065
4907613	ETER GLICOL	3	UN-3271
4906420	ACRILONITRILLO ESTABILIZADO	3 / 6.1	UN-1093
4908125	BISULFURO DE CARBONO	3 / 6.1	UN-1131
4907610	DIMETILDICLOROSILANO	3 / 8	UN-1162
4909230	METANOL O METANOL SOLUCION	3 / 6.1	UN-1230
4909141	ALCOHOL DESNATURALIZADO (TOXICO)	3 / 6.1	UN-1986
4910404	ALCOHOL INFLAMABLE TOXICO, CON METANOL SOLIDIFICADO	3 / 6.1	UN-1986
4909206	MEZCLA ISOPROPANOL Y METANOL	3 / 6.1	UN-1993
4907631	DIMETILCLOROSILANO	3 / 8	UN-2924

**Clase 4: Sólidos Inflamables**

4917334	NAFTALENO CRUDO O REFINADO	4.1	UN-1334
4917473	NAFTALENO, FUNDIDO	4.1	UN-2304
4917469	AZUFRE CRUDO O ROCA DE AZUFRE, EN ESTADO SOLIDO	4.1	UN-1350
4917402	AZUFRE LAVADO, PULVERIZADO O REFINADO, EN ESTADO SOLIDO O LIQUIDO.	4.1	UN-1350
4917403	AZUFRE CRUDO, EN ESTADO LIQUIDO	4.1	UN-2448
4917508	MAGNESIO O ALEACIONES DE MAGNESIO	4.1	UN-1869
4917415	DESPERDICIOS DE ALGODÓN, NE	4.1	UN-1325
4916159	CATALIZADOR DE NIQUEL	4.2	UN-2881

EVALUACION DE PELIGROS POR TRANSPORTE FERROVIARIO DE MATERIALES QUIMICO  
PELIGROSOS EN LA REPUBLICA MEXICANA

**Tabla 2.** Lista de Materiales Peligrosos transportados por Ferrocarril en la República Mexicana

CODIGO	DESCRIPCION DEL PRODUCTO	DIVISION DE RIESGO	CLAVE ONU
4916181	SULFURO DE SODIO ANHIDRO CON MENOS DEL 30 % DE AGUA	4.2	UN-1385
4916179	HIDROSULFITO DE SODIO	4.2	UN-1384
4916290	CARBON ACTIVADO	4.2	UN-1362
4916168	DESECHOS DE ALGODÓN ACEITOSOS	4.2	UN-1364
4916177	OXIDO DE HIERRO AGOTADO O HIERRO ESPONJOSO AGOTADO	4.2	UN-1376
4916408	CARBURO DE CALCIO	4.3	UN-1402
4916456	SODIO (METALICO)	4.3	UN-1428
4916434	MAGNESIO EN POLVO O ALEACIONES DE MAGNESIO EN POLVO	4.3	UN-1418
4916437	BOROHIDRURO DE SODIO	4.3	UN-1426
4916492	ZINC, CENIZAS DE	4.3	UN-1435
4916172	FOSFORO BLANCO O AMARILLO, FUNDIDO	4.2 / 6.1	UN-2447
4916141	FOSFORO BLANCO O AMARILLO, SECO O BAJO AGUA	4.2 / 6.1	UN-1381
4916466	ZINC EN POLVO	4.3 / 4.2	UN-1436
4916310	FOSFURO DE CALCIO	4.3 / 6.1	UN-1360

**Clase 5: Oxidantes y Peróxidos**

4918540	PEROXIDO DE SODIO	5.1	UN-1504
4918311	NITRATO DE AMONIO (USO INDUSTRIAL)	5.1	UN-1942
4918310	NITRATO DE AMONIO (USO FERTILIZANTE)	5.1	UN-2067
4918774	NITRATO DE AMONIO LIQUIDO, FERTILIZANTE	5.1	UN-2426
4918360	CLORITO DE SODIO	5.1	UN-1496
4918737	NITRATO DE POTASIO	5.1	UN-1486
4918723	CLORATO DE SODIO	5.1	UN-1495
4918746	NITRATO DE SODIO	5.1	UN-1498
4918751	PERMANGANATO DE SODIO	5.1	UN-1503
4918779	DIOXIDO DE PLOMO, SEDIMETO	5.1	UN-1872
4918733	LIQUIDOS OXIDANTES NE	5.1	UN-3139
4918510	ACIDO CROMICO, SOLIDO	5.1 / 8	UN-1463
4918335	PEROXIDO DE HIDROGENO (MAS DE 60%) ESTABILIZADO	5.1 / 8	UN-2015
4918775	PEROXIDO DE HIDROGENO (20-60%)	5.1 / 8	UN-2014
4918689	PEROXIDO DE HIDROGENO (8-20%)	5.1 / 8	UN-2014
4918972	PEROXIDO DE BENZOILO, LIQUIDO	5.2	UN-3101
4918973	PEROXIDO DE BENZOILO, SOLIDO	5.2	UN-3102

**Clase 6: Tóxicos Agudos y Agentes Infecciosos**

4921401	ACETONA CIANHIDRINA ESTABILIZADA	6.1	UN-1541
4921220	FENOL SOLIDO	6.1	UN-1671
4921598	FENOL FUNDIDO	6.1	UN-2312
4921210	FENOL EN SOLUCION	6.1	UN-2821
4923207	ARSENICO METALICO	6.1	UN-1558
4923115	TRIOXIDO DE ARSENICO, ARSENICO BLANCO	6.1	UN-1561

EVALUACION DE PELIGROS POR TRANSPORTE FERROVIARIO DE MATERIALES QUIMICO  
PELIGROSOS EN LA REPUBLICA MEXICANA

**Tabla 2.** Lista de Materiales Peligrosos transportados por Ferrocarril en la República Mexicana

CODIGO	DESCRIPCION DEL PRODUCTO	DIVISION DE RIESGO	CLAVE ONU
4923228	CIANURO DE SODIO SOLIDO	6.1	UN-1689
4923227	CIANURO DE SODIO, LICOR DE	6.1	UN-1689
4913175	ORTO TOLUIDINA	6.1	UN-1708
4921483	TOLUIDINAS	6.1	UN-1708
4921209	CLORURO DE BENCILO	6.1 / 8	UN-1738
4921831	TETRACLORURO DE CARBONO	6.1	UN-1846
4925193	FLUORURO DE AMONIO	6.1	UN-2505
4921459	CLORONITROBENCENO	6.1	UN-1578
4921410	ANILINA	6.1	UN-1547
4925224	CLOROFORMO	6.1	UN-1888
4925202	TETRACLOROETILENO O PERCLOROETILENO	6.1	UN-1897
4925123	ACRILAMIDA	6.1	UN-2074
4921841	SULFURO DE ANTIMONIO (MINERAL CONCETRADO DE)	6.1	UN-1325
4925175	TOLUEN DIAMINA	6.1	UN-1709
4925033	PLAGUICIDA ORGANOFOSFORADO TOXICO, LIQUIDO	6.1	UN-3018
4921405	SULFATO DE DIMETILO	6.1 / 8	UN-1595
4921445	ADITIVO ANTIDETONATE PARA GASOLINA	6.1 / 3	UN-1649

**Clase 7: Radiactivos**

**Clase 8: Corrosivos**

4932302	CLORURO DE ALUMINO ANHIDRO	8	UN-1726
4935675	ACRILATO DE HIDROXIETILO	8	UN-1760
4935626	MONOISOPROPANOLAMINA	8	UN-8027
4931320	ACIDO FORMICO	8	UN-1779
4930228	ACIDO CLORHIDRICO (MURIATICO)	8	UN-1789
4930248	ACIDO FOSFORICO (INDUSTRIAL, GRADO ALIMENTICO)	8	UN-1805
4930247	ACIDO FOSFORICO (SOLUCION >77%) FERTILIZANTE	8	UN-1805
4935225	HIDROXIDO DE POTASIO SOLIDO	8	UN-1813
4935235	SOSA CAUSTICA (HIDROXIDO DE SODIO) SOLIDA, EN ESCAMAS O GRANULOS	8	UN-1823
4935240	SOSA CAUSTICA (HIDROXIDO DE SODIO) LIQUIDA	8	UN-1824
4930040	ACIDO SULFURICO	8	UN-1830
4931447	ACIDO PROPIONICO	8	UN-1848
4935614	DIETILENTRIAMINA	8	UN-2079
4936330	ANHIDRIDO MALEICO	8	UN-2215
4936606	CLORURO DE ALUMINO, SOLUCION	8	UN-2581
4931401	ACIDO ACETICO EN SOLUCION	8	UN-2790
4934223	ANHIDRO FTALICO	8	UN-2214
4932303	BIFLUORURO DE AMONIO, SOLIDO	8	UN-1727
4930206	ACIDO CROMICO EN SOLUCION	8	UN-1755
4931404	ACIDOS ORGANICOS O INORGANICOS NE, LIQUIDOS	8	UN-1760
4935510	ACRILATO DE HIDROXIPROPILO	8	UN-1760
4930253	LIQUIDOS CORROSIVOS, NE (ACIDOS IMPUROS)	8	UN-1760

EVALUACION DE PELIGROS POR TRANSPORTE FERROVIARIO DE MATERIALES QUIMICO  
PELIGROSOS EN LA REPUBLICA MEXICANA

**Tabla 2.** Lista de Materiales Peligrosos transportados por Ferrocarril en la República Mexicana

CODIGO	DESCRIPCION DEL PRODUCTO	DIVISION DE RIESGO	CLAVE ONU
4936351	SULFATO DE ALUMINIO EN SOLUCION	8	UN-1760
4936331	CLORURO FERRICO ANHIDRO	8	UN-1773
4930026	ACIDO FLUOROSILICICO	8	UN-1778
4932378	HIPOCLORITO DE SODIO EN SOLUCION	8	UN-1791
4930218	ACIDO NITRICO Y SULFURICO MEZCLADOS	8	UN-1796
4935230	HIDROXIDO DE POTASIO EN SOLUCION	8	UN-1814
4935260	ALUMINATO DE SODIO EN SOLUCION	8	UN-1819
4936308	LODO ACIDO	8	UN-1906
4932342	CLORURO FERRICO EN BRUTO (CON MAS DEL 50% DE AGUA)	8	UN-2582
4932343	CLORURO FERRICO NO EN BRUTO LIQUIDO	8	UN-2582
4932348	BISULFITO DE AMONIO EN SOLUCION	8	UN-2693
4932376	BISULFITO DE SODIO LIQUIDO	8	UN-2693
4936339	BISULFITO DE SODIO SECO	8	UN-2693
4936556	ACUMULADORES ELECTRICOS DE ELECTROLITO ACIDO	8	UN-2794
4936523	BATERIAS O ACUMULADORES HUMEDOS NO DERRAMABLES	8	UN-2800
4936340	ALUMINATO DE SODIO, SOLIDO	8	UN-2812
4932377	BISULFATO DE SODIO EN SOLUCION	8	UN-2837
4936535	PINTURAS Y PRODUCTOS PARA PINTURAS, BARNICES, BARNIZ	8	UN-3066
4935284	BOROHIDRURO E HIDROXIDO DE SODIO	8	UN-3320
4930204	ACIDO CLOROSULFONICO	8	UN-1754
4930024	ACIDO FLUORHIDRICO, ANHIDRO	8 / 6.1	UN-1052
4930022	ACIDO FLUORHIDRICO EN SOLUCION	8 / 6.1	UN-1790
4931201	ACIDO NITRICO FUMANTE ROJO	8/6.1/5.1	UN-2032
4930223	ACIDO NITRICO	8 / 5.1	UN-2031
4931405	ACIDO ACRILICO ESTABILIZADO	8 / 3	UN-2218
4931304	ANHIDRIDO ACETICO	8 / 3	UN-1715
4930030	OLEUM (ACIDO SULFURICO FUMANTE)	8 / 6.1	UN-1831
4935628	ETILEN DIAMINA	8 / 3	UN-1604
4931303	ACIDO ACETICO (GLACIAL)	8 / 3	UN-2789
4930050	TRIOXIDO DE AZUFRE, ESTABILIZADO	8 / 6.1	UN-1829
4932307	BIFLUORURO DE AMONIO EN SOLUCION	8 / 6.1	UN-2817

**Clase 9: Varios**

4941204	CREOSOTA	9	UN-8027
4966342	ACIDO BENZOICO, SECO	9	UN-9094
4940318	DIOXIDO DE CARBONO SOLIDO O HIELO SECO	9	UN-1845
4966380	FOSFATO DE SODIO DIBASICO	9	UN-9147
4963306	SULFATO DE ALUMINIO Y SODIO	9	UN-3077
4963303	SULFATO DE ALUMINIO, SECO	9	UN-9078
4963832	SULFATO FERROSO (SOLIDO)	9	UN-9125
4960187	ALQUITRAN DE HULLA	9	UN-3082

EVALUACION DE PELIGROS POR TRANSPORTE FERROVIARIO DE MATERIALES QUIMICO  
PELIGROSOS EN LA REPUBLICA MEXICANA

---

**Tabla 2.** Lista de Materiales Peligrosos transportados por Ferrocarril en la República Mexicana

CODIGO	DESCRIPCION DEL PRODUCTO	DIVISION DE RIESGO	CLAVE ONU
4960195	ALQUITRAN DE PETROLEO	9	UN-3082
4966375	FOSFATO DE SODIO TRIBASICO	9	UN-9148
4963841	SULFATO FERROSO SOLUCION, MAS DE 50% AGUA	9	UN-9125
4963837	SULFATO FERROSO SOLUCION, MENOS DE 50% AGUA	9	UN-9125
4966333	INFLADORES DE BOLSAS DE AIRE O DISPOSITIVO DE AIRE PARA BOLSA O CINTURON DE SEGURIDAD PRETENCIONADO O DISPOSITIVO DE CINTURON DE SEGURIDAD	9	UN-3268

## **APENDICE 2**

### **Resultados de simulaciones efectuadas en ALOHA**

(Las siguientes páginas no pueden ser numeradas debido a que se imprimieron directamente del programa de simulación)

**SITE DATA INFORMATION:**

Location: COATZACOALCOS, VERACRUZ  
Building Air Exchanges Per Hour: 0.47 (sheltered single storied)  
Time: March 30, 2004 1454 hours ST (user specified)

**CHEMICAL INFORMATION:**

Chemical Name: CHLORINE    Molecular Weight: 70.91 kg/kmol  
TLV-TWA: 0.5 ppm    IDLH: 10 ppm  
Footprint Level of Concern: 10 ppm  
Boiling Point: -29.25° F  
Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm  
Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

**ATMOSPHERIC INFORMATION: (MANUAL INPUT OF DATA)**

Wind: 5 mph from SE at 3 meters  
No Inversion Height  
Stability Class: C    Air Temperature: 50° F  
Relative Humidity: 25%    Ground Roughness: open country  
Cloud Cover: 5 tenths

**SOURCE STRENGTH INFORMATION:**

Leak from short pipe or valve in horizontal cylindrical tank  
Tank Diameter: 8 feet    Tank Length: 42.5 feet  
Tank Volume: 15,981 gallons  
Tank contains liquid  
Internal Temperature: 20° F  
Chemical Mass in Tank: 80 tons  
Tank is 81% full  
Circular Opening Diameter: 2 inches  
Opening is 4.00 feet from tank bottom  
Release Duration: ALOHA limited the duration to 1 hour  
Max Computed Release Rate: 1,360 pounds/min  
Max Average Sustained Release Rate: 1,350 pounds/min  
(averaged over a minute or more)  
Total Amount Released: 65,126 pounds  
Note: The chemical escaped as a mixture of gas and aerosol (two phase flow).

**FOOTPRINT INFORMATION:**

Model Run: Heavy Gas  
User-specified LOC: equals IDLH (10 ppm)  
Max Threat Zone for LOC: 2.9 miles



Time: March 30, 2004 1454 hours ST (user specified)

Chemical Name: CHLORINE

Wind: 5 mph from SE at 3 meters

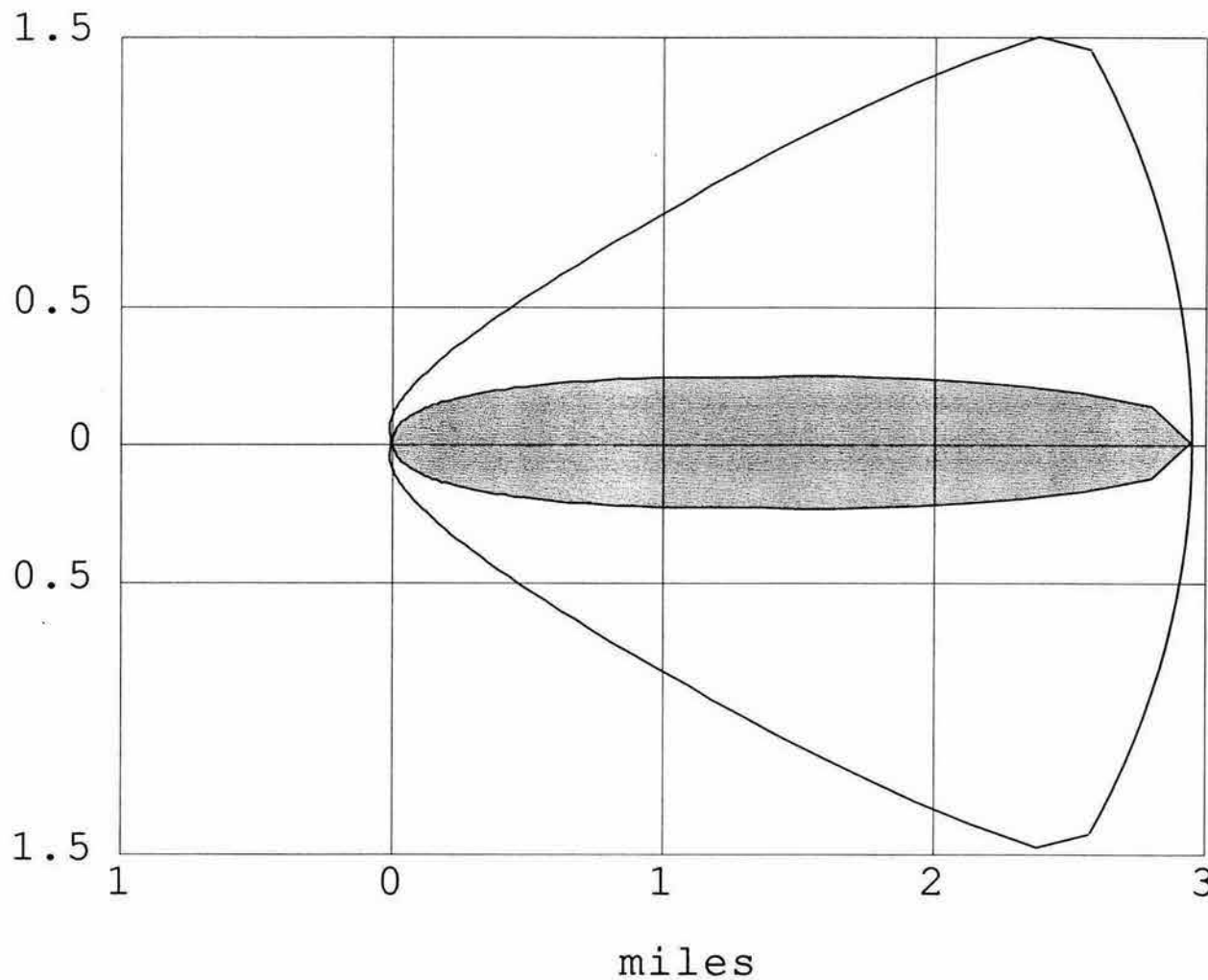
**FOOTPRINT INFORMATION:**

Model Run: Heavy Gas

User-specified LOC: equals IDLH (10 ppm)

Max Threat Zone for LOC: 2.9 miles

miles



**SITE DATA INFORMATION:**

Location: COATZACOALCOS, VERACRUZ  
Building Air Exchanges Per Hour: 0.89 (sheltered single storied)  
Time: March 30, 2004 1546 hours ST (user specified)

**CHEMICAL INFORMATION:**

Chemical Name: CHLORINE Molecular Weight: 70.91 kg/kmol  
TLV-TWA: 0.5 ppm IDLH: 10 ppm  
Footprint Level of Concern: 10 ppm  
Boiling Point: -29.25° F  
Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm  
Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

**ATMOSPHERIC INFORMATION: (MANUAL INPUT OF DATA)**

Wind: 13 mph from se at 3 meters  
No Inversion Height  
Stability Class: D Air Temperature: 78° F  
Relative Humidity: 99% Ground Roughness: urban or forest  
Cloud Cover: 10 tenths

**SOURCE STRENGTH INFORMATION:**

Leak from short pipe or valve in horizontal cylindrical tank  
Tank Diameter: 8 feet Tank Length: 42.5 feet  
Tank Volume: 15,981 gallons  
Tank contains liquid  
Internal Temperature: 20° F  
Chemical Mass in Tank: 80 tons  
Tank is 81% full  
Circular Opening Diameter: 1 inches  
Opening is 8.00 feet from tank bottom  
Release Duration: ALOHA limited the duration to 1 hour  
Max Computed Release Rate: 46.8 pounds/min  
Max Average Sustained Release Rate: 46.8 pounds/min  
(averaged over a minute or more)  
Total Amount Released: 2,659 pounds  
Note: The chemical escaped from the tank as a gas.

**FOOTPRINT INFORMATION:**

Model Run: Heavy Gas  
User-specified LOC: equals IDLH (10 ppm)  
Max Threat Zone for LOC: 580 yards



Time: March 30, 2004 1546 hours ST (user specified)

Chemical Name: CHLORINE

Wind: 13 mph from se at 3 meters

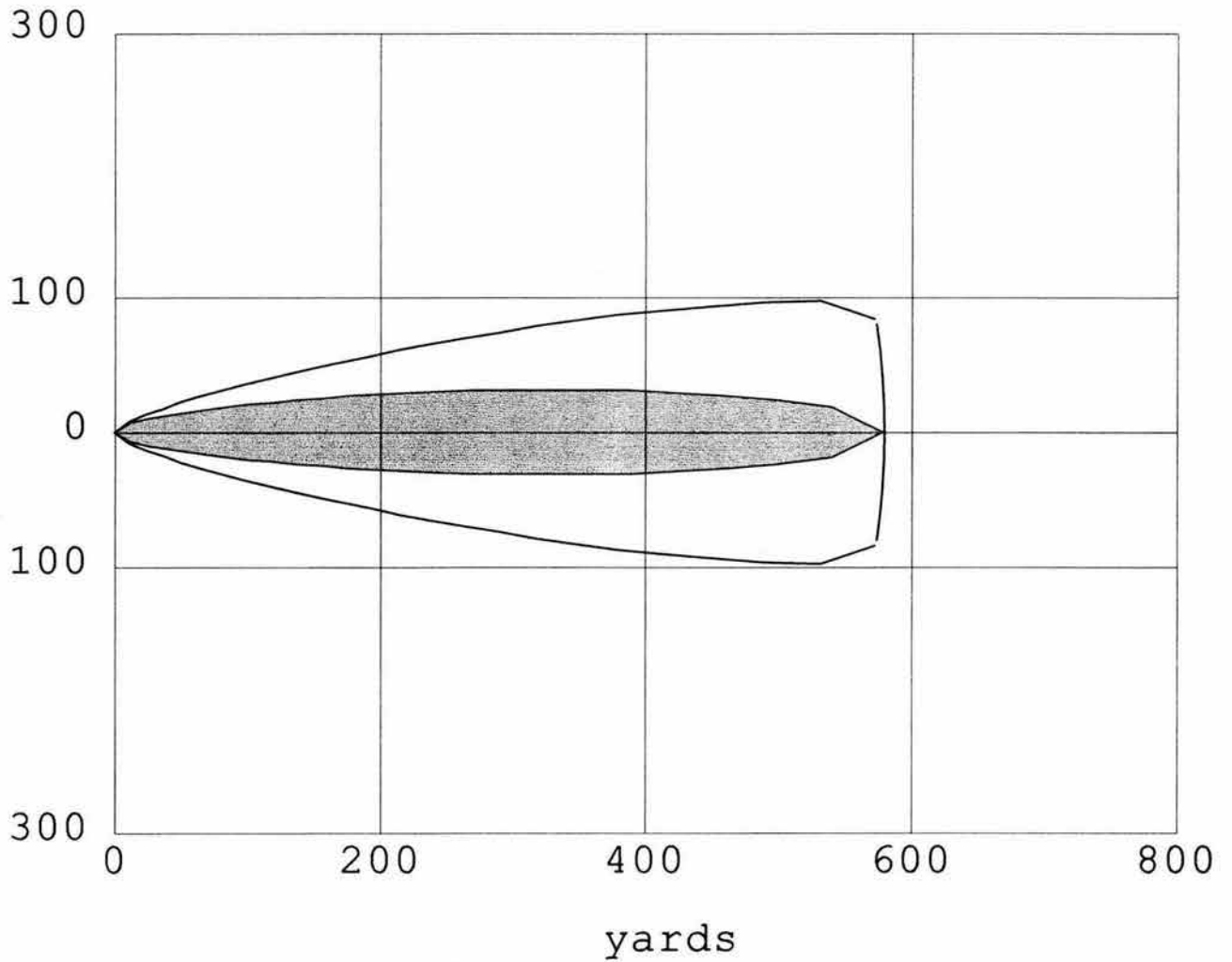
**FOOTPRINT INFORMATION:**

Model Run: Heavy Gas

User-specified LOC: equals IDLH (10 ppm)

Max Threat Zone for LOC: 580 yards

yards



**SITE DATA INFORMATION:**

Location: COATZACOALCOS, VERACRUZ  
Building Air Exchanges Per Hour: 0.47 (sheltered single storied)  
Time: March 30, 2004 1531 hours ST (user specified)

**CHEMICAL INFORMATION:**

Chemical Name: CHLORINE      Molecular Weight: 70.91 kg/kmol  
TLV-TWA: 0.5 ppm              IDLH: 10 ppm  
Footprint Level of Concern: 10 ppm  
Boiling Point: -29.25° F  
Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm  
Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

**ATMOSPHERIC INFORMATION: (MANUAL INPUT OF DATA)**

Wind: 5 mph from se at 3 meters  
No Inversion Height  
Stability Class: D              Air Temperature: 50° F  
Relative Humidity: 99%      Ground Roughness: open country  
Cloud Cover: 10 tenths

**SOURCE STRENGTH INFORMATION:**

Leak from hole in horizontal cylindrical tank  
Tank Diameter: 8 feet      Tank Length: 42.5 feet  
Tank Volume: 15,981 gallons  
Tank contains liquid  
Internal Temperature: 20° F  
Chemical Mass in Tank: 80 tons  
Tank is 81% full  
Circular Opening Diameter: 1.5 inches  
Opening is 3 feet from tank bottom  
Release Duration: ALOHA limited the duration to 1 hour  
Max Computed Release Rate: 2,280 pounds/min  
Max Average Sustained Release Rate: 2,260 pounds/min  
(averaged over a minute or more)  
Total Amount Released: 94,478 pounds  
Note: The chemical escaped as a mixture of gas and aerosol (two phase flow).

**FOOTPRINT INFORMATION:**

Model Run: Heavy Gas  
User-specified LOC: equals IDLH (10 ppm)  
Max Threat Zone for LOC: 4.6 miles



Time: March 30, 2004 1531 hours ST (user specified)

Chemical Name: CHLORINE

Wind: 5 mph from se at 3 meters

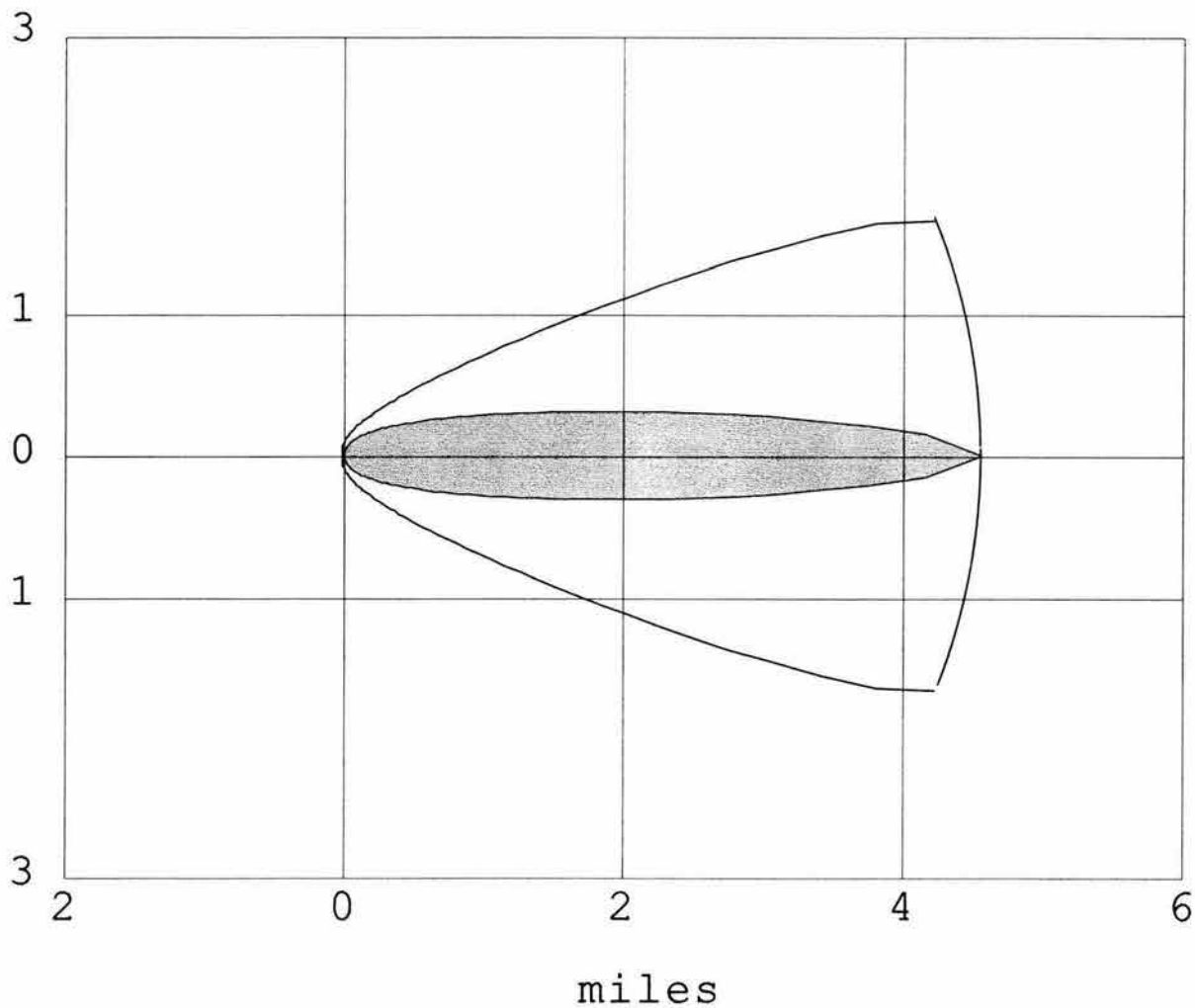
**FOOTPRINT INFORMATION:**

Model Run: Heavy Gas

User-specified LOC: equals IDLH (10 ppm)

Max Threat Zone for LOC: 4.6 miles

miles



**SITE DATA INFORMATION:**

Location: COATZACOALCOS, VERACRUZ  
Building Air Exchanges Per Hour: 0.47 (sheltered single storied)  
Time: March 30, 2004 1510 hours ST (user specified)

**CHEMICAL INFORMATION:**

Chemical Name: CHLORINE      Molecular Weight: 70.91 kg/kmol  
TLV-TWA: 0.5 ppm              IDLH: 10 ppm  
Footprint Level of Concern: 10 ppm  
Boiling Point: -29.25° F  
Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm  
Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

**ATMOSPHERIC INFORMATION: (MANUAL INPUT OF DATA)**

Wind: 5 mph from SE at 3 meters  
No Inversion Height  
Stability Class: D              Air Temperature: 50° F  
Relative Humidity: 99%      Ground Roughness: open country  
Cloud Cover: 10 tenths

**SOURCE STRENGTH INFORMATION:**

Leak from short pipe or valve in horizontal cylindrical tank  
Tank Diameter: 8 feet      Tank Length: 42.5 feet  
Tank Volume: 15,981 gallons  
Tank contains liquid  
Internal Temperature: 20° F  
Chemical Mass in Tank: 80 tons  
Tank is 81% full  
Circular Opening Diameter: 2 inches  
Opening is 4.00 feet from tank bottom  
Release Duration: ALOHA limited the duration to 1 hour  
Max Computed Release Rate: 1,360 pounds/min  
Max Average Sustained Release Rate: 1,350 pounds/min  
(averaged over a minute or more)  
Total Amount Released: 65,126 pounds  
Note: The chemical escaped as a mixture of gas and aerosol (two phase flow).

**FOOTPRINT INFORMATION:**

Model Run: Heavy Gas  
User-specified LOC: equals IDLH (10 ppm)  
Max Threat Zone for LOC: 3.5 miles

Time: March 30, 2004 1510 hours ST (user specified)

Chemical Name: CHLORINE

Wind: 5 mph from SE at 3 meters

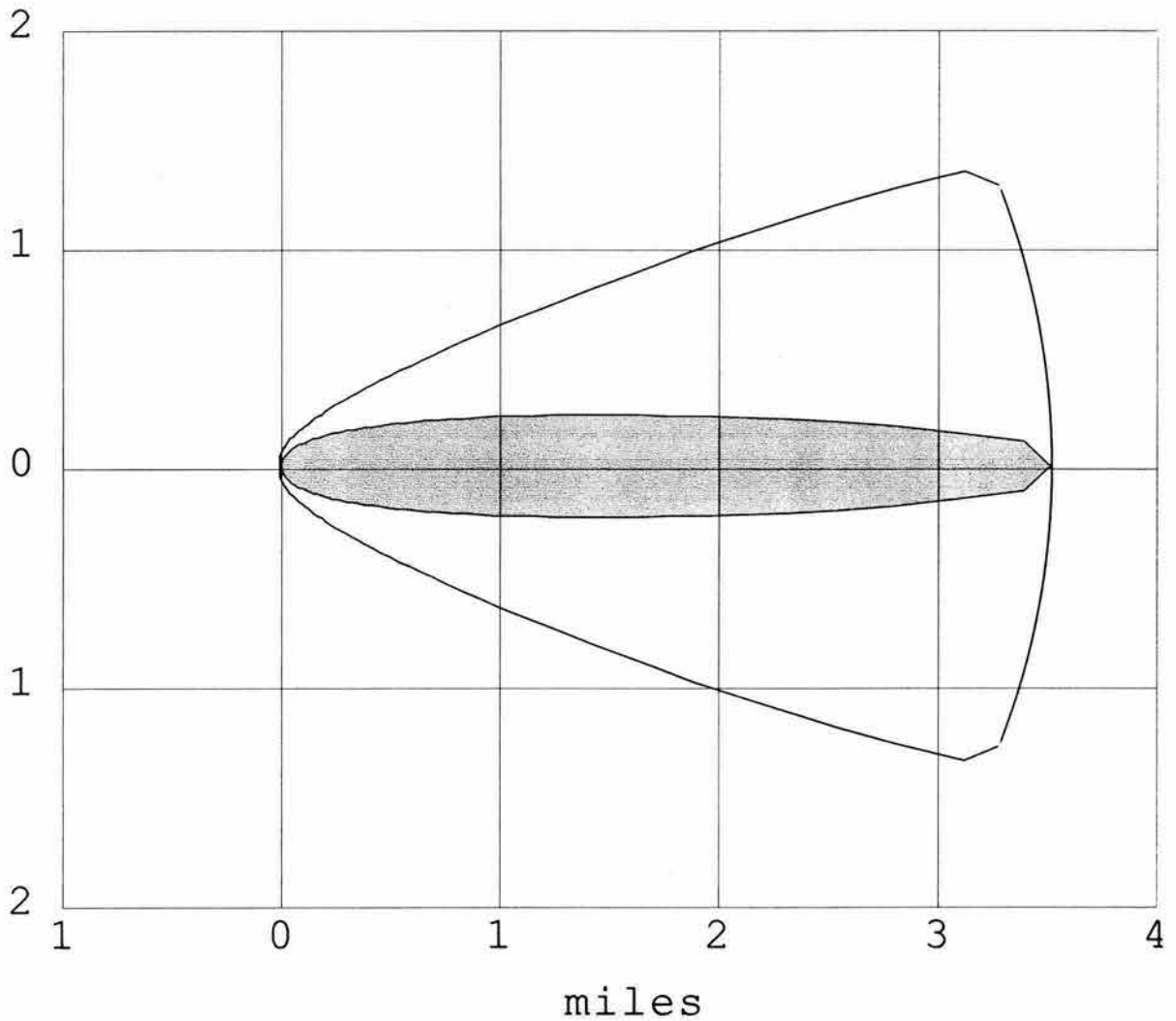
**FOOTPRINT INFORMATION:**

Model Run: Heavy Gas

User-specified LOC: equals IDLH (10 ppm)

Max Threat Zone for LOC: 3.5 miles

miles



**SITE DATA INFORMATION:**

Location: COATZACOALCOS, VERACRUZ  
Building Air Exchanges Per Hour: 0.47 (sheltered single storied)  
Time: March 30, 2004 1531 hours ST (user specified)

**CHEMICAL INFORMATION:**

Chemical Name: CHLORINE    Molecular Weight: 70.91 kg/kmol  
TLV-TWA: 0.5 ppm    IDLH: 10 ppm  
Footprint Level of Concern: 10 ppm  
Boiling Point: -29.25° F  
Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm  
Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

**ATMOSPHERIC INFORMATION: (MANUAL INPUT OF DATA)**

Wind: 5 mph from se at 3 meters  
No Inversion Height  
Stability Class: C    Air Temperature: 50° F  
Relative Humidity: 25%    Ground Roughness: open country  
Cloud Cover: 5 tenths

**SOURCE STRENGTH INFORMATION:**

Leak from short pipe or valve in horizontal cylindrical tank  
Tank Diameter: 8 feet    Tank Length: 42.5 feet  
Tank Volume: 15,981 gallons  
Tank contains liquid  
Internal Temperature: 20° F  
Chemical Mass in Tank: 80 tons  
Tank is 81% full  
Circular Opening Diameter: 1 inches  
Opening is 8.00 feet from tank bottom  
Release Duration: ALOHA limited the duration to 1 hour  
Max Computed Release Rate: 46.8 pounds/min  
Max Average Sustained Release Rate: 46.8 pounds/min  
(averaged over a minute or more)  
Total Amount Released: 2,659 pounds  
Note: The chemical escaped from the tank as a gas.

**FOOTPRINT INFORMATION:**

Model Run: Heavy Gas  
User-specified LOC: equals IDLH (10 ppm)  
Max Threat Zone for LOC: 888 yards





Time: March 30, 2004 1531 hours ST (user specified)

Chemical Name: CHLORINE

Wind: 5 mph from se at 3 meters

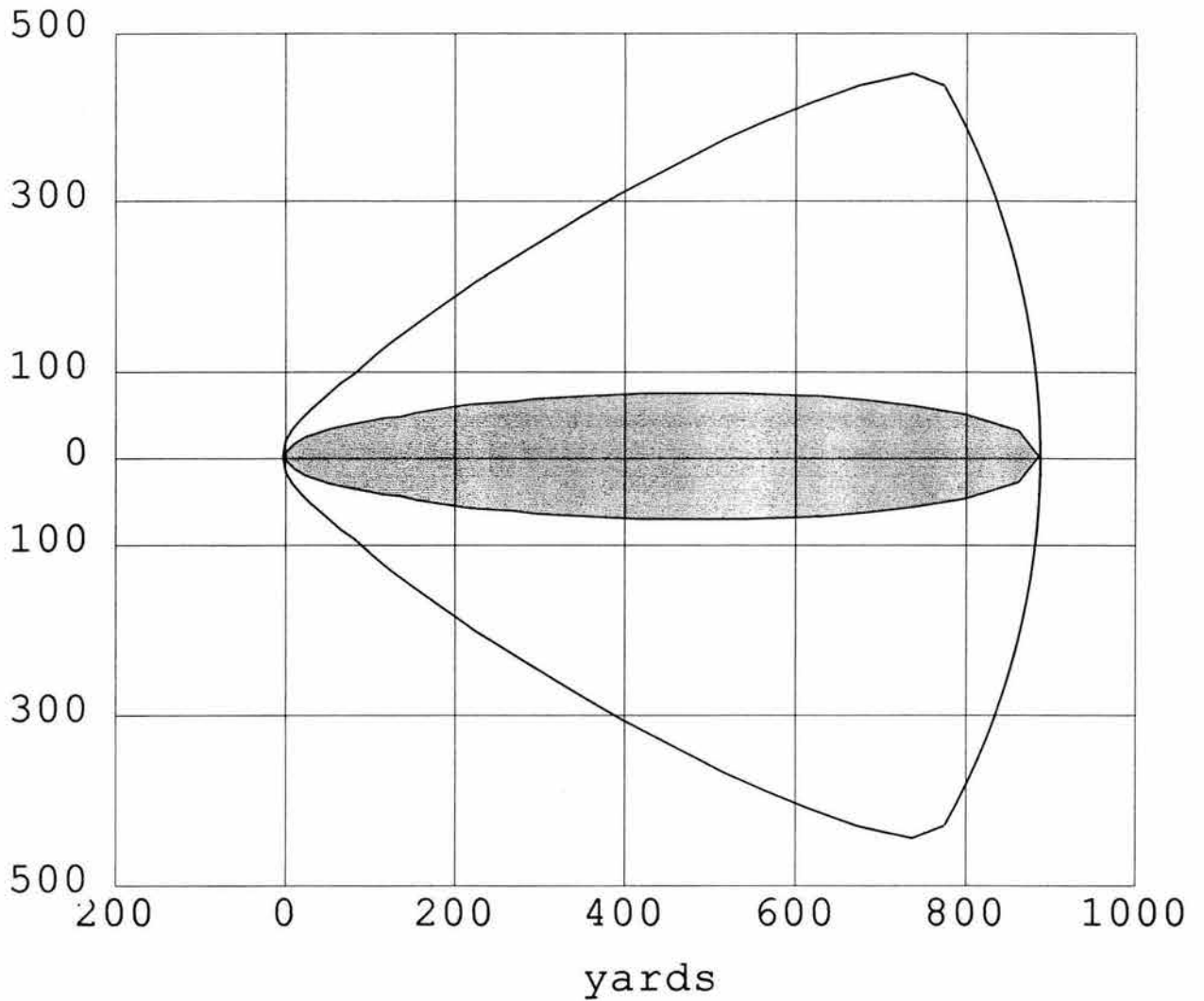
**FOOTPRINT INFORMATION:**

Model Run: Heavy Gas

User-specified LOC: equals IDLH (10 ppm)

Max Threat Zone for LOC: 888 yards

yards



**SITE DATA INFORMATION:**

Location: COATZACOALCOS, VERACRUZ  
Building Air Exchanges Per Hour: 0.89 (sheltered single storied)  
Time: March 30, 2004 1531 hours ST (user specified)

**CHEMICAL INFORMATION:**

Chemical Name: CHLORINE    Molecular Weight: 70.91 kg/kmol  
TLV-TWA: 0.5 ppm    IDLH: 10 ppm  
Footprint Level of Concern: 10 ppm  
Boiling Point: -29.25° F  
Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm  
Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

**ATMOSPHERIC INFORMATION: (MANUAL INPUT OF DATA)**

Wind: 13 mph from se at 3 meters  
No Inversion Height  
Stability Class: D    Air Temperature: 78° F  
Relative Humidity: 25%    Ground Roughness: urban or forest  
Cloud Cover: 5 tenths

**SOURCE STRENGTH INFORMATION:**

Leak from hole in horizontal cylindrical tank  
Tank Diameter: 8 feet    Tank Length: 42.5 feet  
Tank Volume: 15,981 gallons  
Tank contains liquid  
Internal Temperature: 20° F  
Chemical Mass in Tank: 80 tons  
Tank is 81% full  
Circular Opening Diameter: 1.5 inches  
Opening is 3 feet from tank bottom  
Release Duration: ALOHA limited the duration to 1 hour  
Max Computed Release Rate: 2,280 pounds/min  
Max Average Sustained Release Rate: 2,260 pounds/min  
(averaged over a minute or more)  
Total Amount Released: 94,478 pounds  
Note: The chemical escaped as a mixture of gas and aerosol (two phase flow).

**FOOTPRINT INFORMATION:**

Model Run: Heavy Gas  
User-specified LOC: equals IDLH (10 ppm)  
Max Threat Zone for LOC: 2.5 miles

Time: March 30, 2004 1531 hours ST (user specified)

Chemical Name: CHLORINE

Wind: 13 mph from se at 3 meters

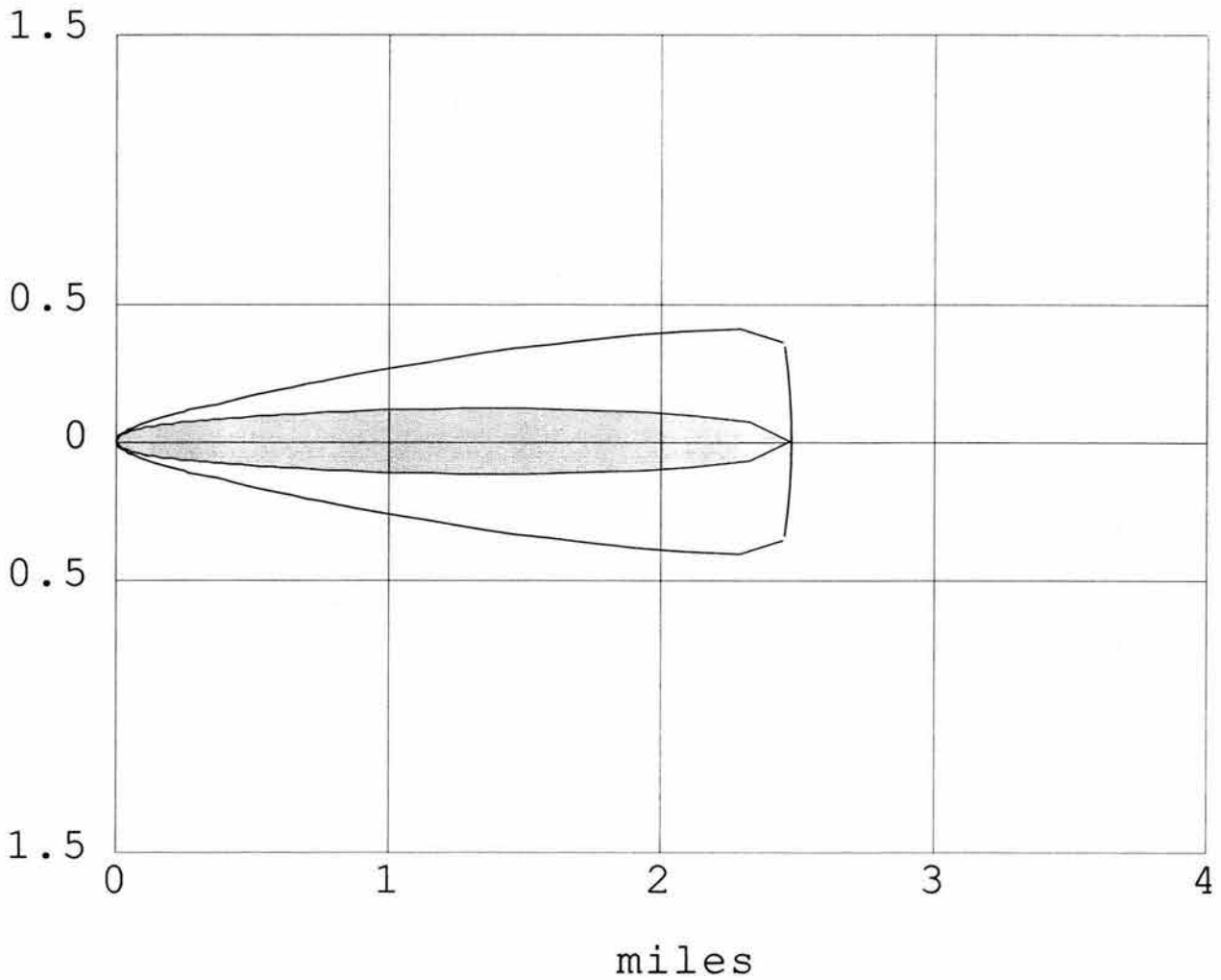
**FOOTPRINT INFORMATION:**

Model Run: Heavy Gas

User-specified LOC: equals IDLH (10 ppm)

Max Threat Zone for LOC: 2.5 miles

miles



**SITE DATA INFORMATION:**

Location: COATZACOALCOS, VERACRUZ  
Building Air Exchanges Per Hour: 0.47 (sheltered single storied)  
Time: March 30, 2004 1531 hours ST (user specified)

**CHEMICAL INFORMATION:**

Chemical Name: CHLORINE      Molecular Weight: 70.91 kg/kmol  
TLV-TWA: 0.5 ppm              IDLH: 10 ppm  
Footprint Level of Concern: 10 ppm  
Boiling Point: -29.25° F  
Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm  
Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

**ATMOSPHERIC INFORMATION: (MANUAL INPUT OF DATA)**

Wind: 5 mph from se at 3 meters  
No Inversion Height  
Stability Class: C              Air Temperature: 50° F  
Relative Humidity: 25%      Ground Roughness: open country  
Cloud Cover: 5 tenths

**SOURCE STRENGTH INFORMATION:**

Leak from hole in horizontal cylindrical tank  
Tank Diameter: 8 feet      Tank Length: 42.5 feet  
Tank Volume: 15,981 gallons  
Tank contains liquid  
Internal Temperature: 20° F  
Chemical Mass in Tank: 80 tons  
Tank is 81% full  
Opening Length: 10 inches      Opening Width: 1 inches  
Opening is 5 feet from tank bottom  
Release Duration: 36 minutes  
Max Computed Release Rate: 12,600 pounds/min  
Max Average Sustained Release Rate: 12,600 pounds/min  
(averaged over a minute or more)  
Total Amount Released: 46,933 pounds  
Note: The chemical escaped as a mixture of gas and aerosol (two phase flow).

**FOOTPRINT INFORMATION:**

Model Run: Heavy Gas  
User-specified LOC: equals IDLH (10 ppm)  
Max Threat Zone for LOC: 4.7 miles



Time: March 30, 2004 1531 hours ST (user specified)

Chemical Name: CHLORINE

Wind: 5 mph from se at 3 meters

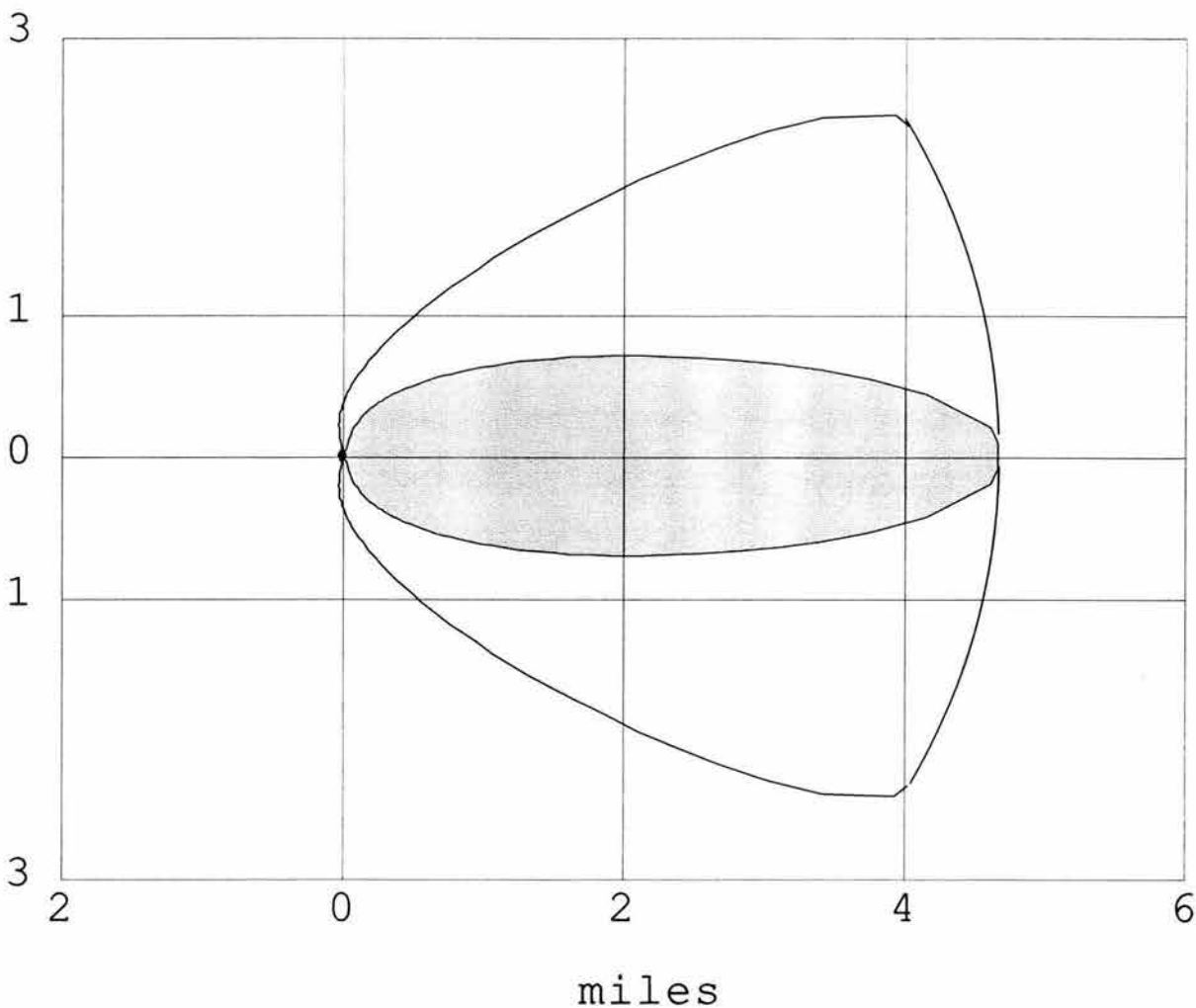
**FOOTPRINT INFORMATION:**

Model Run: Heavy Gas

User-specified LOC: equals IDLH (10 ppm)

Max Threat Zone for LOC: 4.7 miles

miles



**SITE DATA INFORMATION:**

Location: COATZACOALCOS, VERACRUZ  
Building Air Exchanges Per Hour: 0.94 (sheltered single storied)  
Time: March 30, 2004 1531 hours ST (user specified)

**CHEMICAL INFORMATION:**

Chemical Name: CHLORINE    Molecular Weight: 70.91 kg/kmol  
TLV-TWA: 0.5 ppm    IDLH: 10 ppm  
Footprint Level of Concern: 10 ppm  
Boiling Point: -29.25° F  
Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm  
Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

**ATMOSPHERIC INFORMATION: (MANUAL INPUT OF DATA)**

Wind: 13 mph from se at 3 meters  
No Inversion Height  
Stability Class: D    Air Temperature: 78° F  
Relative Humidity: 99%    Ground Roughness: open country  
Cloud Cover: 10 tenths

**SOURCE STRENGTH INFORMATION:**

Leak from hole in horizontal cylindrical tank  
Tank Diameter: 8 feet    Tank Length: 42.5 feet  
Tank Volume: 15,981 gallons  
Tank contains liquid  
Internal Temperature: 20° F  
Chemical Mass in Tank: 80 tons  
Tank is 81% full  
Opening Length: 10 inches    Opening Width: 1 inches  
Opening is 5 feet from tank bottom  
Release Duration: 36 minutes  
Max Computed Release Rate: 12,600 pounds/min  
Max Average Sustained Release Rate: 12,600 pounds/min  
(averaged over a minute or more)  
Total Amount Released: 46,933 pounds  
Note: The chemical escaped as a mixture of gas and aerosol (two phase flow).

**FOOTPRINT INFORMATION:**

Model Run: Heavy Gas  
User-specified LOC: equals IDLH (10 ppm)  
Max Threat Zone for LOC: 5.8 miles



Time: March 30, 2004 1531 hours ST (user specified)

Chemical Name: CHLORINE

Wind: 13 mph from se at 3 meters

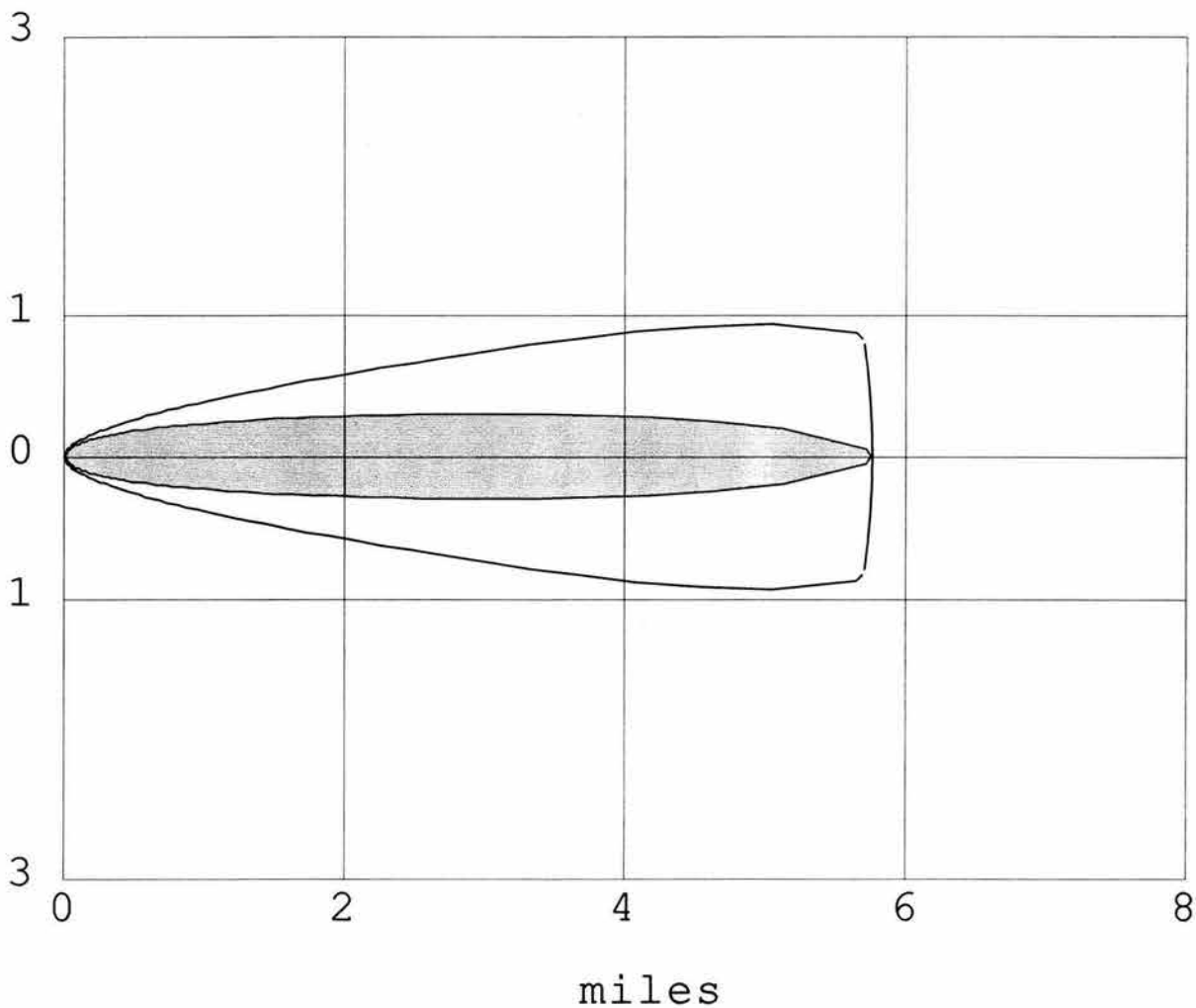
**FOOTPRINT INFORMATION:**

Model Run: Heavy Gas

User-specified LOC: equals IDLH (10 ppm)

Max Threat Zone for LOC: 5.8 miles

miles



**SITE DATA INFORMATION:**

Location: MINATITLAN, VERACRUZ  
Building Air Exchanges Per Hour: 0.89 (sheltered single storied)  
Time: March 30, 2004 1636 hours ST (user specified)

**CHEMICAL INFORMATION:**

Chemical Name: AMMONIA      Molecular Weight: 17.03 kg/kmol  
TLV-TWA: 25 ppm      IDLH: 300 ppm  
Footprint Level of Concern: 300 ppm  
Boiling Point: -28.17° F  
Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm  
Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

**ATMOSPHERIC INFORMATION: (MANUAL INPUT OF DATA)**

Wind: 13 mph from SE at 3 meters  
No Inversion Height  
Stability Class: D      Air Temperature: 78° F  
Relative Humidity: 25%      Ground Roughness: urban or forest  
Cloud Cover: 5 tenths

**SOURCE STRENGTH INFORMATION:**

Leak from short pipe or valve in horizontal cylindrical tank  
Tank Diameter: 9.5 feet      Tank Length: 48.5 feet  
Tank Volume: 25,716 gallons  
Tank contains liquid  
Internal Temperature: 20° F  
Chemical Mass in Tank: 55 tons  
Tank is 79% full  
Circular Opening Diameter: 2 inches  
Opening is 4.75 feet from tank bottom  
Release Duration: ALOHA limited the duration to 1 hour  
Max Computed Release Rate: 813 pounds/min  
Max Average Sustained Release Rate: 811 pounds/min  
(averaged over a minute or more)  
Total Amount Released: 43,257 pounds  
Note: The chemical escaped as a mixture of gas and aerosol (two phase flow).

**FOOTPRINT INFORMATION:**

Model Run: Heavy Gas  
User-specified LOC: equals IDLH (300 ppm)  
Max Threat Zone for LOC: 893 yards





Time: March 30, 2004 1636 hours ST (user specified)

Chemical Name: AMMONIA

Wind: 13 mph from SE at 3 meters

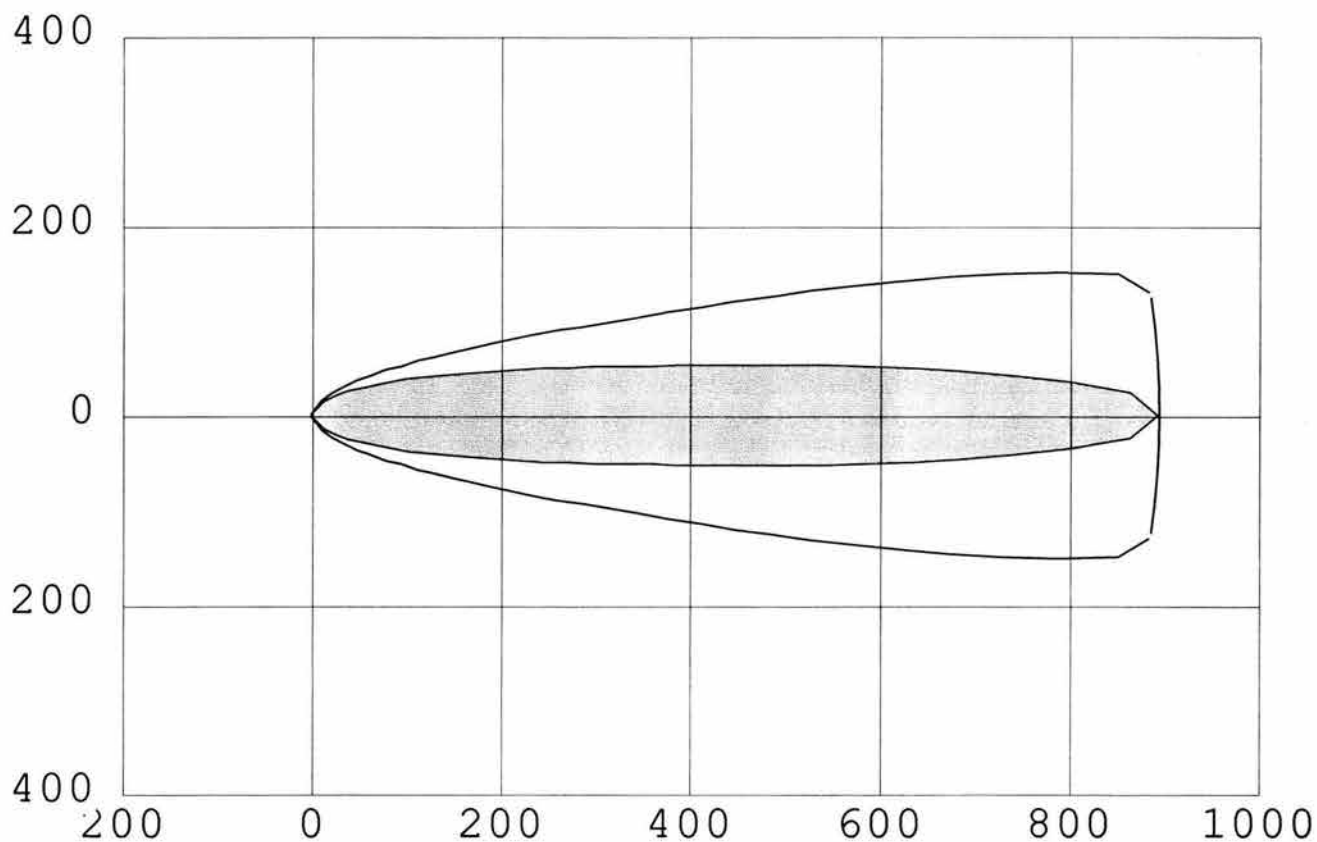
**FOOTPRINT INFORMATION:**

Model Run: Heavy Gas

User-specified LOC: equals IDLH (300 ppm)

Max Threat Zone for LOC: 893 yards

yards



yards

**SITE DATA INFORMATION:**

Location: MINATITLAN, VERACRUZ  
Building Air Exchanges Per Hour: 0.47 (sheltered single storied)  
Time: March 30, 2004 1624 hours ST (user specified)

**CHEMICAL INFORMATION:**

Chemical Name: AMMONIA      Molecular Weight: 17.03 kg/kmol  
TLV-TWA: 25 ppm              IDLH: 300 ppm  
Footprint Level of Concern: 300 ppm  
Boiling Point: -28.17° F  
Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm  
Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

**ATMOSPHERIC INFORMATION: (MANUAL INPUT OF DATA)**

Wind: 5 mph from SE at 3 meters  
No Inversion Height  
Stability Class: C              Air Temperature: 50° F  
Relative Humidity: 25%      Ground Roughness: open country  
Cloud Cover: 5 tenths

**SOURCE STRENGTH INFORMATION:**

Leak from short pipe or valve in horizontal cylindrical tank  
Tank Diameter: 9.5 feet      Tank Length: 48.5 feet  
Tank Volume: 25,716 gallons  
Tank contains liquid  
Internal Temperature: 20° F  
Chemical Mass in Tank: 55 tons  
Tank is 79% full  
Circular Opening Diameter: 1 inches  
Opening is 9.50 feet from tank bottom  
Release Duration: ALOHA limited the duration to 1 hour  
Max Computed Release Rate: 25.5 pounds/min  
Max Average Sustained Release Rate: 25.5 pounds/min  
(averaged over a minute or more)  
Total Amount Released: 1,472 pounds  
Note: The chemical escaped from the tank as a gas.

**FOOTPRINT INFORMATION:**

Dispersion Module: Gaussian  
User-specified LOC: equals IDLH (300 ppm)  
Max Threat Zone for LOC: 131 yards



Time: March 30, 2004 1624 hours ST (user specified)

Chemical Name: AMMONIA

Wind: 5 mph from SE at 3 meters

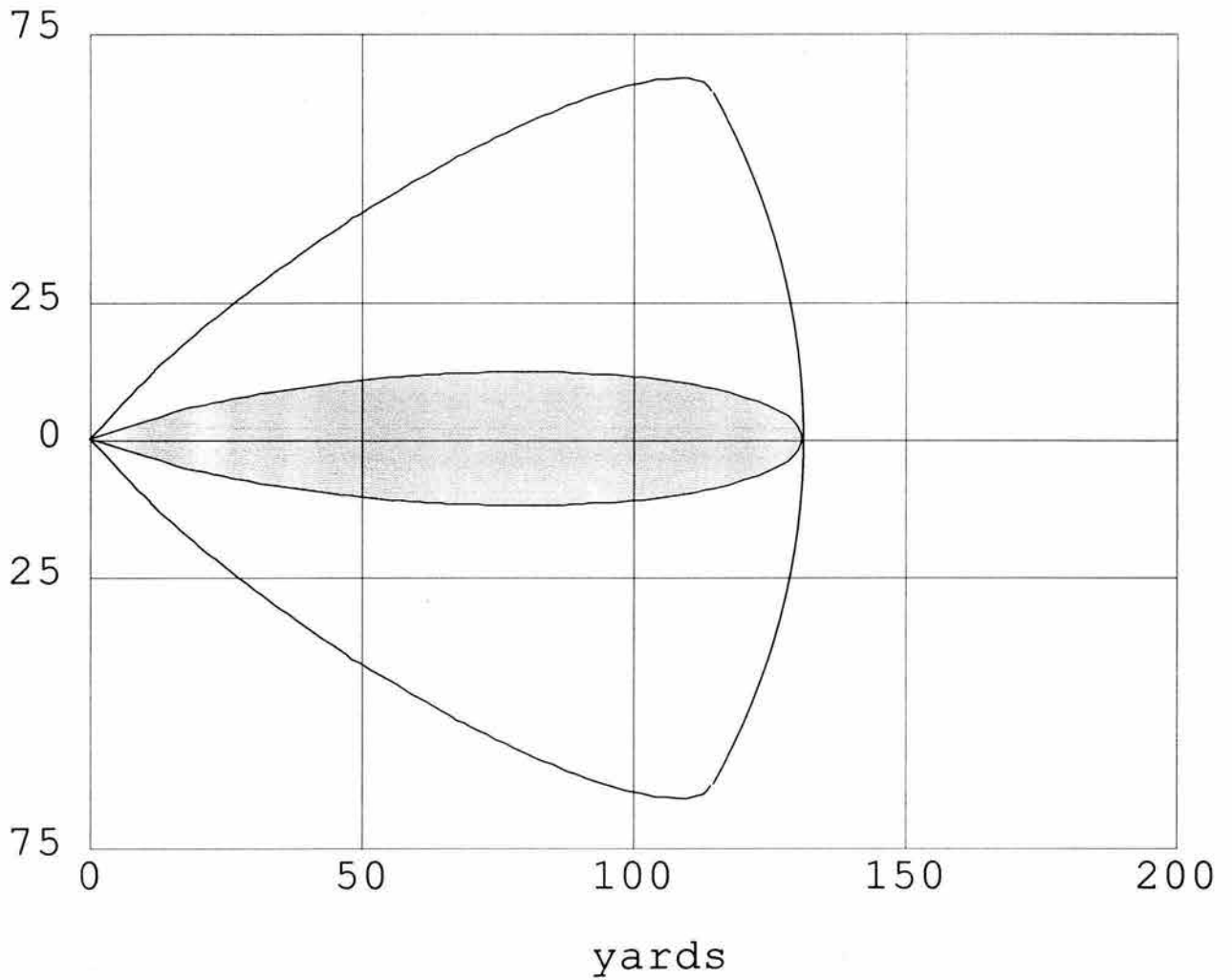
**FOOTPRINT INFORMATION:**

Dispersion Module: Gaussian

User-specified LOC: equals IDLH (300 ppm)

Max Threat Zone for LOC: 131 yards

yards



**SITE DATA INFORMATION:**

Location: MINATITLAN, VERACRUZ  
Building Air Exchanges Per Hour: 0.94 (sheltered single storied)  
Time: March 30, 2004 1624 hours ST (user specified)

**CHEMICAL INFORMATION:**

Chemical Name: AMMONIA      Molecular Weight: 17.03 kg/kmol  
TLV-TWA: 25 ppm              IDLH: 300 ppm  
Footprint Level of Concern: 300 ppm  
Boiling Point: -28.17° F  
Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm  
Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

**ATMOSPHERIC INFORMATION: (MANUAL INPUT OF DATA)**

Wind: 13 mph from SE at 3 meters  
No Inversion Height  
Stability Class: D              Air Temperature: 78° F  
Relative Humidity: 99%      Ground Roughness: open country  
Cloud Cover: 10 tenths

**SOURCE STRENGTH INFORMATION:**

Leak from short pipe or valve in horizontal cylindrical tank  
Tank Diameter: 9.5 feet      Tank Length: 48.5 feet  
Tank Volume: 25,716 gallons  
Tank contains liquid  
Internal Temperature: 20° F  
Chemical Mass in Tank: 55 tons  
Tank is 79% full  
Circular Opening Diameter: 1 inches  
Opening is 9.50 feet from tank bottom  
Release Duration: ALOHA limited the duration to 1 hour  
Max Computed Release Rate: 25.5 pounds/min  
Max Average Sustained Release Rate: 25.5 pounds/min  
(averaged over a minute or more)  
Total Amount Released: 1,472 pounds  
Note: The chemical escaped from the tank as a gas.

**FOOTPRINT INFORMATION:**

Dispersion Module: Gaussian  
User-specified LOC: equals IDLH (300 ppm)  
Max Threat Zone for LOC: 117 yards



Time: March 30, 2004 1624 hours ST (user specified)

Chemical Name: AMMONIA

Wind: 13 mph from SE at 3 meters

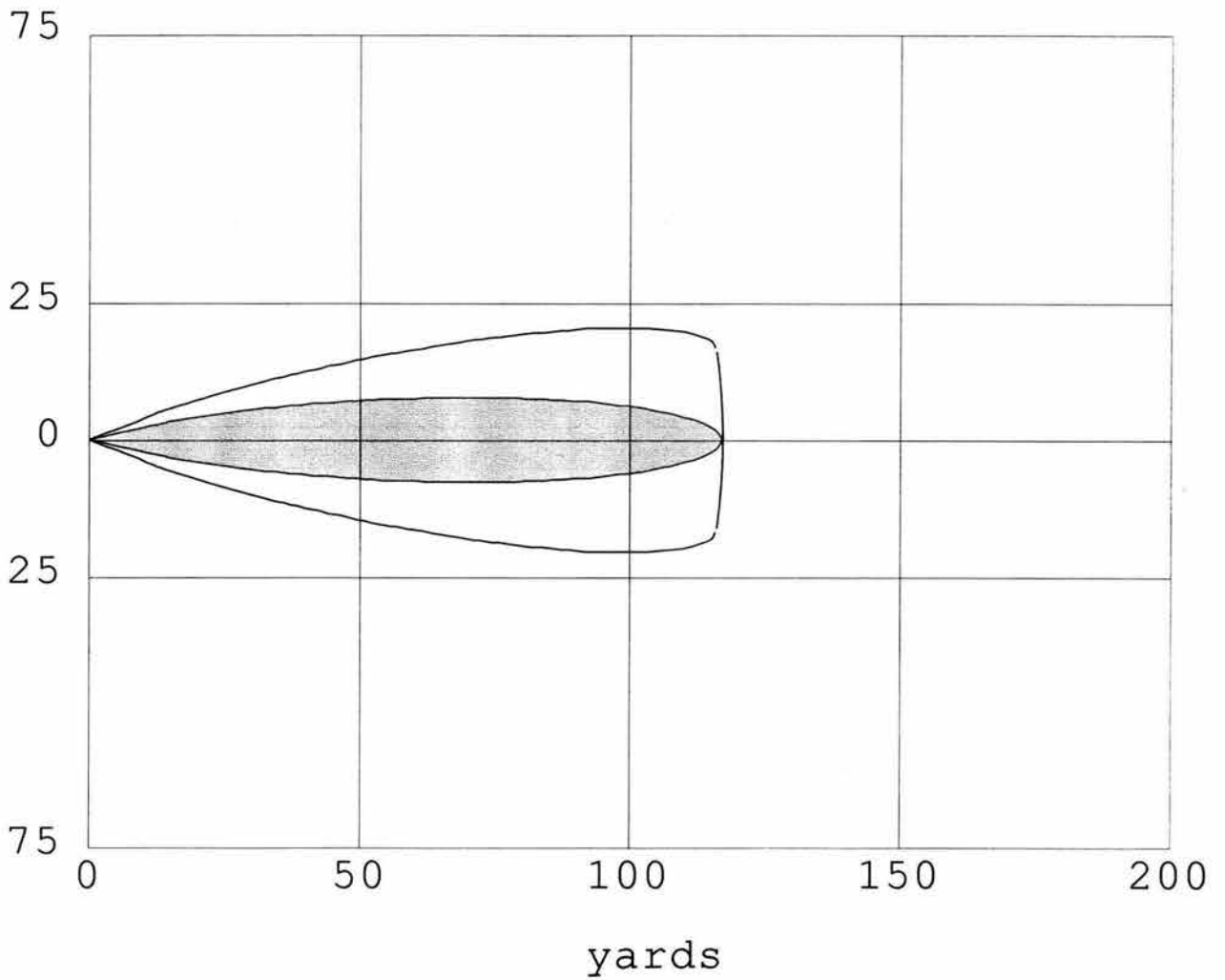
**FOOTPRINT INFORMATION:**

Dispersion Module: Gaussian

User-specified LOC: equals IDLH (300 ppm)

Max Threat Zone for LOC: 117 yards

yards



**SITE DATA INFORMATION:**

Location: MINATITLAN, VERACRUZ  
Building Air Exchanges Per Hour: 0.89 (sheltered single storied)  
Time: March 30, 2004 1624 hours ST (user specified)

**CHEMICAL INFORMATION:**

Chemical Name: AMMONIA      Molecular Weight: 17.03 kg/kmol  
TLV-TWA: 25 ppm              IDLH: 300 ppm  
Footprint Level of Concern: 300 ppm  
Boiling Point: -28.17° F  
Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm  
Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

**ATMOSPHERIC INFORMATION: (MANUAL INPUT OF DATA)**

Wind: 13 mph from SE at 3 meters  
No Inversion Height  
Stability Class: D              Air Temperature: 78° F  
Relative Humidity: 99%      Ground Roughness: urban or forest  
Cloud Cover: 10 tenths

**SOURCE STRENGTH INFORMATION:**

Leak from short pipe or valve in horizontal cylindrical tank  
Tank Diameter: 9.5 feet      Tank Length: 48.5 feet  
Tank Volume: 25,716 gallons  
Tank contains liquid  
Internal Temperature: 20° F  
Chemical Mass in Tank: 55 tons  
Tank is 79% full  
Circular Opening Diameter: 1 inches  
Opening is 9.50 feet from tank bottom  
Release Duration: ALOHA limited the duration to 1 hour  
Max Computed Release Rate: 25.5 pounds/min  
Max Average Sustained Release Rate: 25.5 pounds/min  
(averaged over a minute or more)  
Total Amount Released: 1,472 pounds  
Note: The chemical escaped from the tank as a gas.

**FOOTPRINT INFORMATION:**

Dispersion Module: Gaussian  
User-specified LOC: equals IDLH (300 ppm)  
Max Threat Zone for LOC: 74 yards  
Note: Footprint was not drawn because  
effects of near-field patchiness make dispersion  
predictions unreliable for short distances.

**SITE DATA INFORMATION:**

Location: MINATITLAN, VERACRUZ  
Building Air Exchanges Per Hour: 0.47 (sheltered single storied)  
Time: March 30, 2004 1624 hours ST (user specified)

**CHEMICAL INFORMATION:**

Chemical Name: AMMONIA      Molecular Weight: 17.03 kg/kmol  
TLV-TWA: 25 ppm              IDLH: 300 ppm  
Footprint Level of Concern: 300 ppm  
Boiling Point: -28.17° F  
Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm  
Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

**ATMOSPHERIC INFORMATION: (MANUAL INPUT OF DATA)**

Wind: 5 mph from SE at 3 meters  
No Inversion Height  
Stability Class: C              Air Temperature: 50° F  
Relative Humidity: 25%      Ground Roughness: open country  
Cloud Cover: 5 tenths

**SOURCE STRENGTH INFORMATION:**

Leak from hole in horizontal cylindrical tank  
Tank Diameter: 9.5 feet      Tank Length: 48.5 feet  
Tank Volume: 25,716 gallons  
Tank contains liquid  
Internal Temperature: 20° F  
Chemical Mass in Tank: 55 tons  
Tank is 79% full  
Circular Opening Diameter: 1.5 inches  
Opening is 3 feet from tank bottom  
Release Duration: ALOHA limited the duration to 1 hour  
Max Computed Release Rate: 1,620 pounds/min  
Max Average Sustained Release Rate: 1,610 pounds/min  
(averaged over a minute or more)  
Total Amount Released: 74,051 pounds  
Note: The chemical escaped as a mixture of gas and aerosol (two phase flow).

**FOOTPRINT INFORMATION:**

Model Run: Heavy Gas  
User-specified LOC: equals IDLH (300 ppm)  
Max Threat Zone for LOC: 1.1 miles



Time: March 30, 2004 1624 hours ST (user specified)

Chemical Name: AMMONIA

Wind: 5 mph from SE at 3 meters

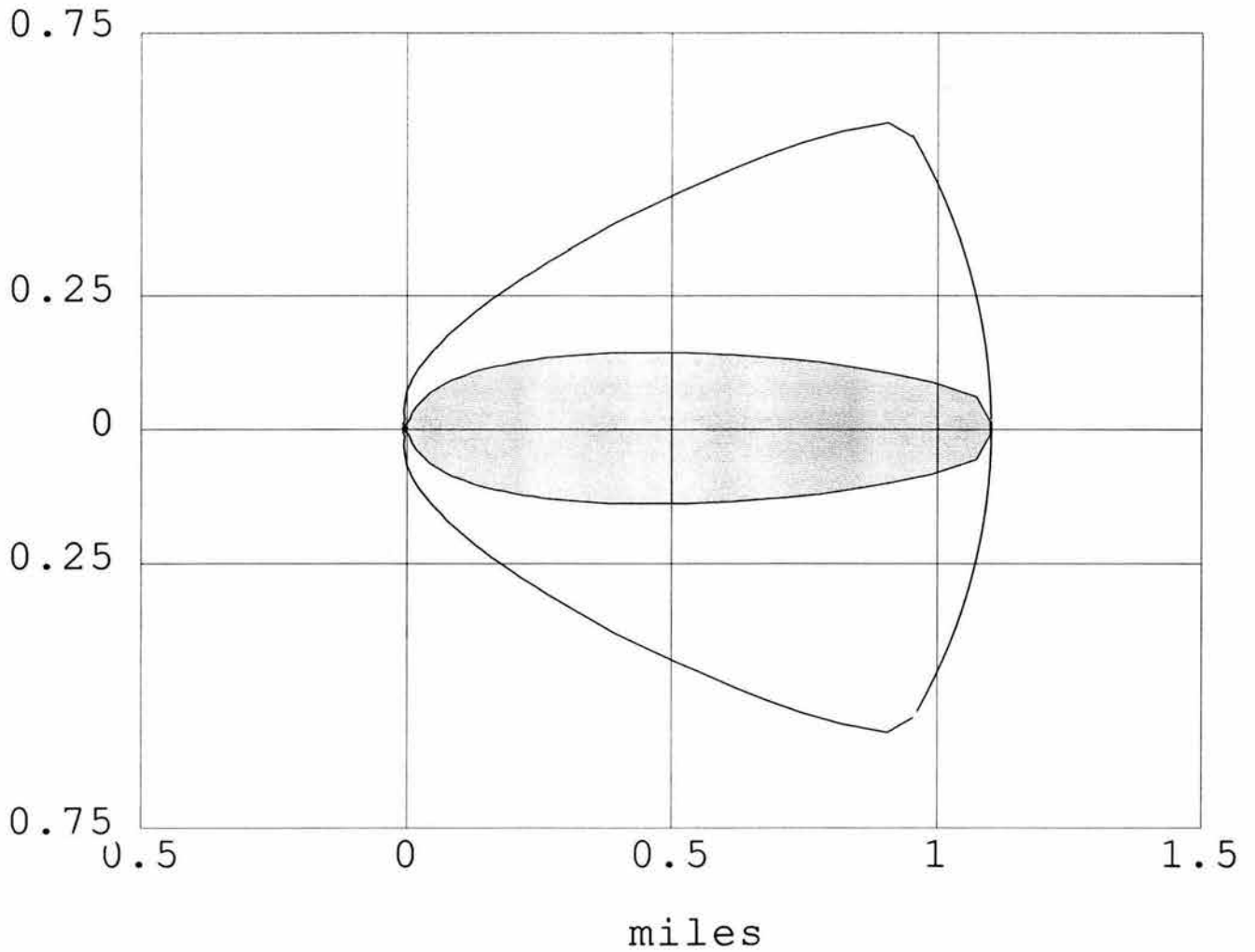
FOOTPRINT INFORMATION:

Model Run: Heavy Gas

User-specified LOC: equals IDLH (300 ppm)

Max Threat Zone for LOC: 1.1 miles

miles





**SITE DATA INFORMATION:**

Location: MINATITLAN, VERACRUZ  
Building Air Exchanges Per Hour: 0.89 (sheltered single storied)  
Time: March 30, 2004 1624 hours ST (user specified)

**CHEMICAL INFORMATION:**

Chemical Name: AMMONIA      Molecular Weight: 17.03 kg/kmol  
TLV-TWA: 25 ppm      IDLH: 300 ppm  
Footprint Level of Concern: 300 ppm  
Boiling Point: -28.17° F  
Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm  
Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

**ATMOSPHERIC INFORMATION: (MANUAL INPUT OF DATA)**

Wind: 13 mph from SE at 3 meters  
No Inversion Height  
Stability Class: D      Air Temperature: 78° F  
Relative Humidity: 25%      Ground Roughness: urban or forest  
Cloud Cover: 5 tenths

**SOURCE STRENGTH INFORMATION:**

Leak from hole in horizontal cylindrical tank  
Tank Diameter: 9.5 feet      Tank Length: 48.5 feet  
Tank Volume: 25,716 gallons  
Tank contains liquid  
Internal Temperature: 20° F  
Chemical Mass in Tank: 55 tons  
Tank is 79% full  
Circular Opening Diameter: 1.5 inches  
Opening is 3 feet from tank bottom  
Release Duration: ALOHA limited the duration to 1 hour  
Max Computed Release Rate: 1,620 pounds/min  
Max Average Sustained Release Rate: 1,610 pounds/min  
(averaged over a minute or more)  
Total Amount Released: 74,051 pounds  
Note: The chemical escaped as a mixture of gas and aerosol (two phase flow).

**FOOTPRINT INFORMATION:**

Model Run: Heavy Gas  
User-specified LOC: equals IDLH (300 ppm)  
Max Threat Zone for LOC: 1,265 yards



Time: March 30, 2004 1624 hours ST (user specified)

Chemical Name: AMMONIA

Wind: 13 mph from SE at 3 meters

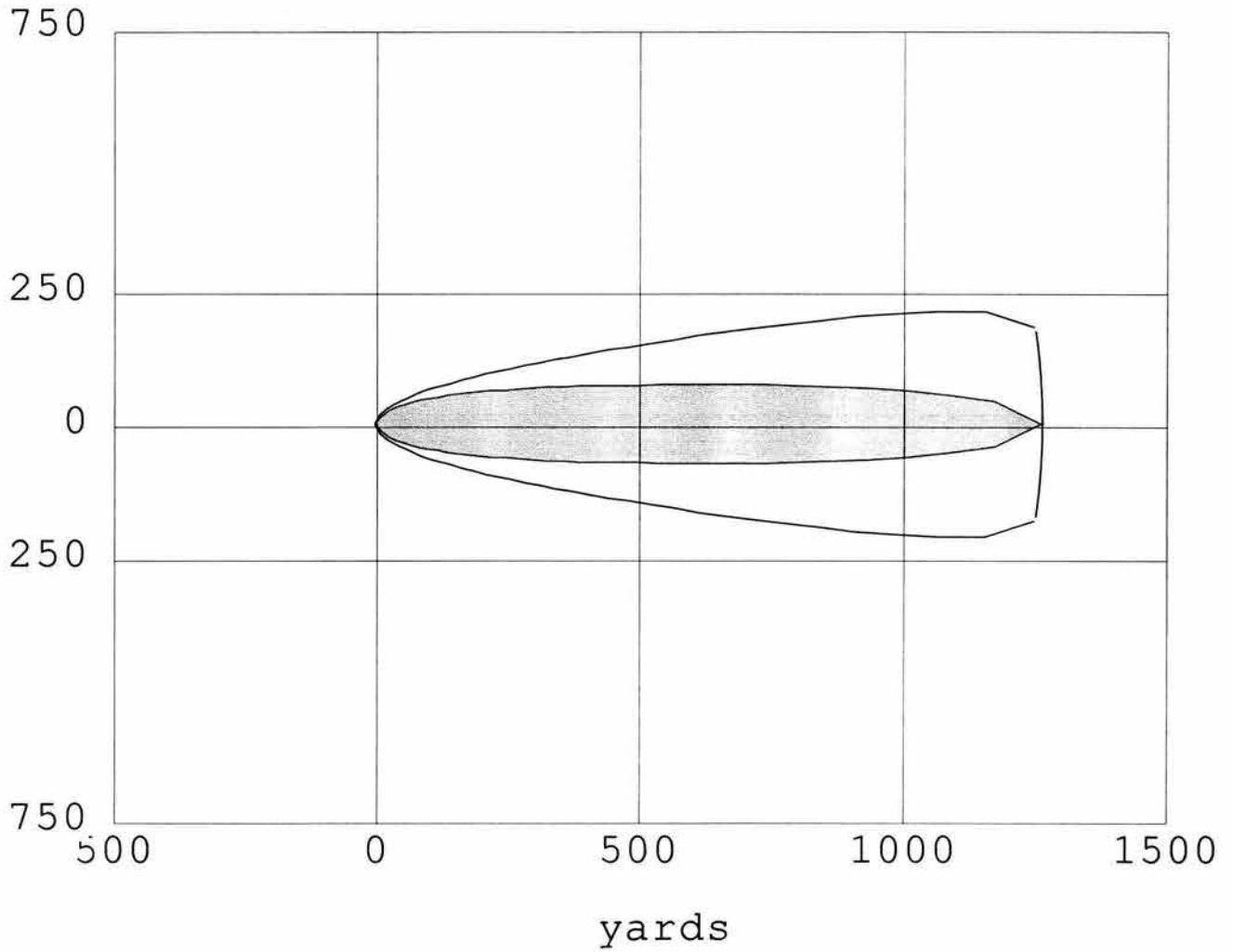
**FOOTPRINT INFORMATION:**

Model Run: Heavy Gas

User-specified LOC: equals IDLH (300 ppm)

Max Threat Zone for LOC: 1,265 yards

yards



**SITE DATA INFORMATION:**

Location: MINATITLAN, VERACRUZ  
Building Air Exchanges Per Hour: 0.47 (sheltered single storied)  
Time: March 30, 2004 1624 hours ST (user specified)

**CHEMICAL INFORMATION:**

Chemical Name: AMMONIA      Molecular Weight: 17.03 kg/kmol  
TLV-TWA: 25 ppm      IDLH: 300 ppm  
Footprint Level of Concern: 300 ppm  
Boiling Point: -28.17° F  
Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm  
Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

**ATMOSPHERIC INFORMATION: (MANUAL INPUT OF DATA)**

Wind: 5 mph from SE at 3 meters  
No Inversion Height  
Stability Class: C      Air Temperature: 50° F  
Relative Humidity: 25%      Ground Roughness: open country  
Cloud Cover: 5 tenths

**SOURCE STRENGTH INFORMATION:**

Leak from hole in horizontal cylindrical tank  
Tank Diameter: 9.5 feet      Tank Length: 48.5 feet  
Tank Volume: 25,716 gallons  
Tank contains liquid  
Internal Temperature: 20° F  
Chemical Mass in Tank: 55 tons  
Tank is 79% full  
Opening Length: 10 inches      Opening Width: 1 inches  
Opening is 5 feet from tank bottom  
Release Duration: 38 minutes  
Max Computed Release Rate: 9,070 pounds/min  
Max Average Sustained Release Rate: 9,040 pounds/min  
(averaged over a minute or more)  
Total Amount Released: 46,200 pounds  
Note: The chemical escaped as a mixture of gas and aerosol (two phase flow).

**FOOTPRINT INFORMATION:**

Model Run: Heavy Gas  
User-specified LOC: equals IDLH (300 ppm)  
Max Threat Zone for LOC: 2.5 miles



Time: March 30, 2004 1624 hours ST (user specified)

Chemical Name: AMMONIA

Wind: 5 mph from SE at 3 meters

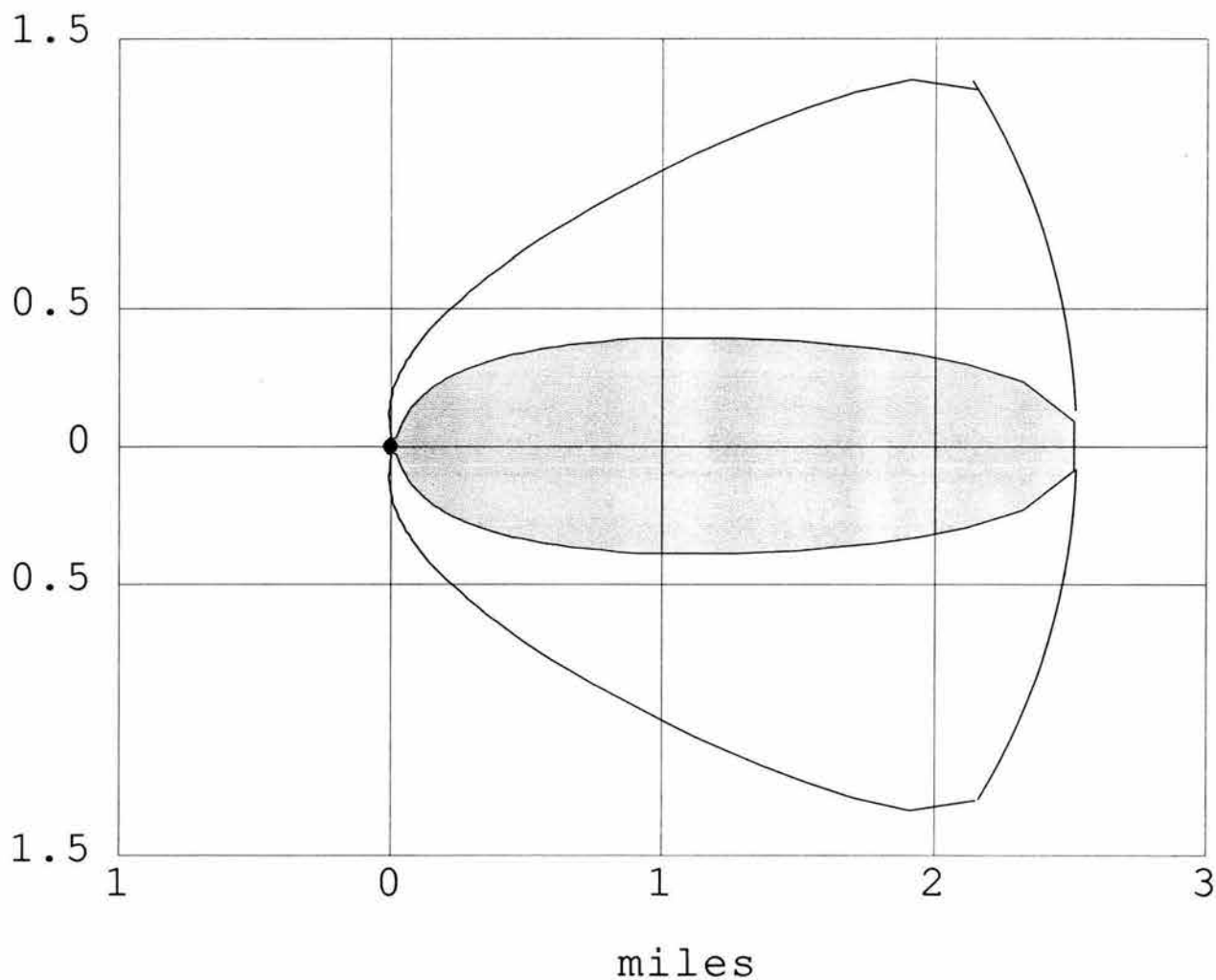
**FOOTPRINT INFORMATION:**

Model Run: Heavy Gas

User-specified LOC: equals IDLH (300 ppm)

Max Threat Zone for LOC: 2.5 miles

miles



**SITE DATA INFORMATION:**

Location: MINATITLAN, VERACRUZ  
Building Air Exchanges Per Hour: 0.89 (sheltered single storied)  
Time: March 30, 2004 1624 hours ST (user specified)

**CHEMICAL INFORMATION:**

Chemical Name: AMMONIA      Molecular Weight: 17.03 kg/kmol  
TLV-TWA: 25 ppm              IDLH: 300 ppm  
Footprint Level of Concern: 300 ppm  
Boiling Point: -28.17° F  
Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm  
Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

**ATMOSPHERIC INFORMATION: (MANUAL INPUT OF DATA)**

Wind: 13 mph from SE at 3 meters  
No Inversion Height  
Stability Class: D              Air Temperature: 78° F  
Relative Humidity: 25%      Ground Roughness: urban or forest  
Cloud Cover: 5 tenths

**SOURCE STRENGTH INFORMATION:**

Leak from hole in horizontal cylindrical tank  
Tank Diameter: 9.5 feet      Tank Length: 48.5 feet  
Tank Volume: 25,716 gallons  
Tank contains liquid  
Internal Temperature: 20° F  
Chemical Mass in Tank: 55 tons  
Tank is 79% full  
Opening Length: 10 inches      Opening Width: 1 inches  
Opening is 5 feet from tank bottom  
Release Duration: 38 minutes  
Max Computed Release Rate: 9,070 pounds/min  
Max Average Sustained Release Rate: 9,040 pounds/min  
(averaged over a minute or more)  
Total Amount Released: 46,200 pounds  
Note: The chemical escaped as a mixture of gas and aerosol (two phase flow).

**FOOTPRINT INFORMATION:**

Model Run: Heavy Gas  
User-specified LOC: equals IDLH (300 ppm)  
Max Threat Zone for LOC: 1.8 miles



Time: March 30, 2004 1624 hours ST (user specified)

Chemical Name: AMMONIA

Wind: 13 mph from SE at 3 meters

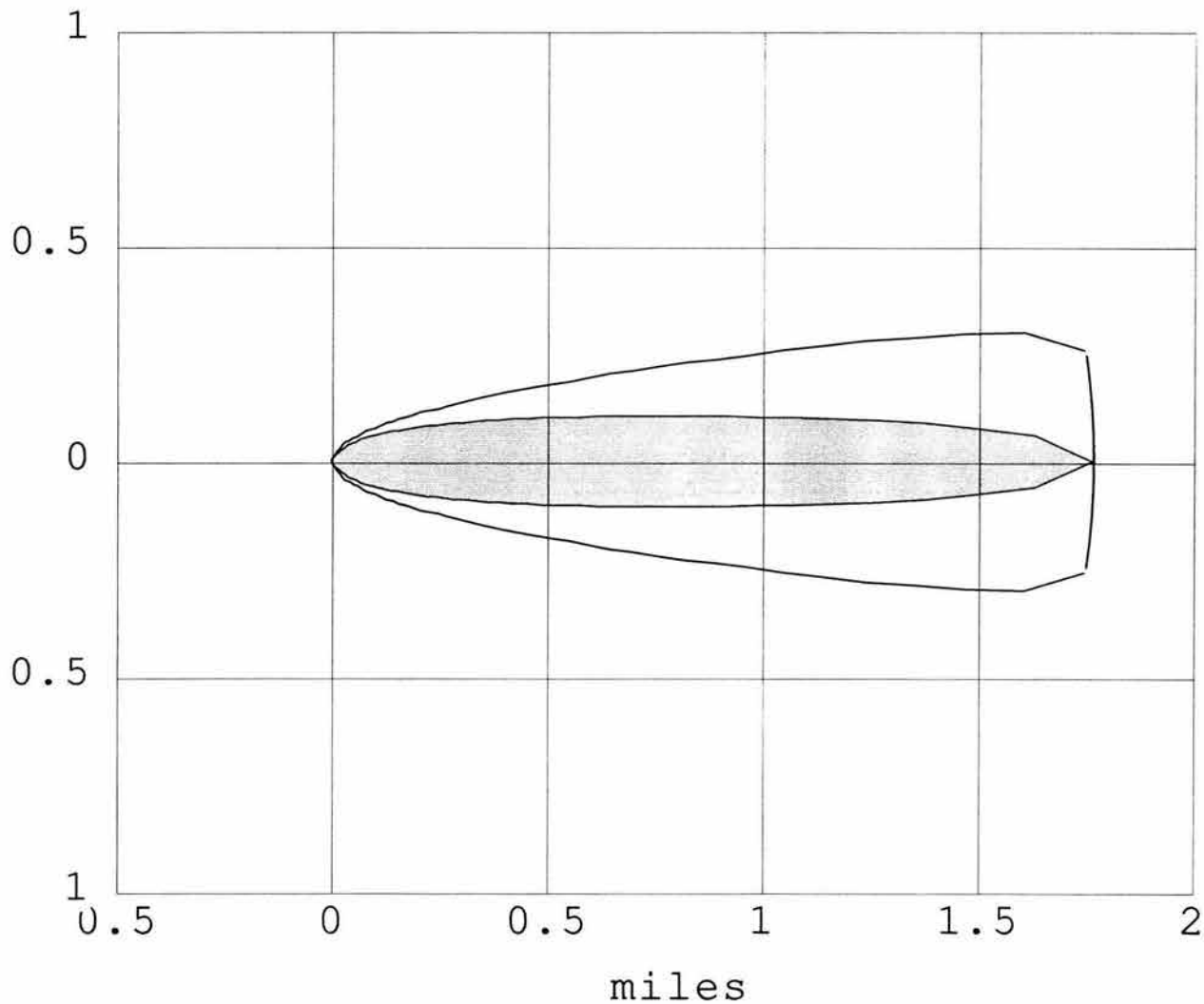
**FOOTPRINT INFORMATION:**

Model Run: Heavy Gas

User-specified LOC: equals IDLH (300 ppm)

Max Threat Zone for LOC: 1.8 miles

miles



## **APENDICE 3**

### **Resultados de simulaciones efectuadas en ARCHIE**

(Las siguientes páginas no pueden ser numeradas debido a que se imprimieron directamente del programa de simulación)

HAZARDOUS MATERIAL = CLORO  
ADDRESS \ LOCATION = COATZACOALCOS  
NAME OF DISK FILE = C22.ASF

\*\*\* SCENARIO DESCRIPTION

ruptura en valvula de carro tanque de cloro  
ruptura de 1 in  
carro tanque posicion normal

\*\*\*\*\* TOXIC VAPOR DISPERSION ANALYSIS RESULTS

Downwind distance to concentration of 10 ppm  
-- at groundlevel = 2375 feet  
-- at discharge height = 2373 feet

Peak concentration on ground is 2734.8 ppm  
at a downwind distance of 71 feet for  
elevated emission source specified by user.

See attached table(s) for further details.



INPUT PARAMETER SUMMARY

-----  
PHYSIOCHEMICAL PROPERTIES OF MATERIAL

NORMAL BOILING POINT	= -30.3	degrees F
MOLECULAR WEIGHT	= 70.91	
LIQUID SPECIFIC GRAVITY	= 1.557	
VAPOR PRES AT CONTAINER TEMP	= 56.96	psia
	= 2947	mm Hg
SPECIFIC HEAT RATIO FOR GAS	= 1.4	
TOXIC VAPOR LIMIT	= 10	ppm

CONTAINER CHARACTERISTICS

TOTAL WEIGHT OF CONTENTS	= 160000	lbs
	= 15979	gals
	= 12313	gals
TEMP OF CONTAINER CONTENTS	= 20	degrees F

ENVIRONMENTAL/LOCATION CHARACTERISTICS

AMBIENT TEMPERATURE	= 50	degrees F
WIND VELOCITY	= 5	mph
ATMOSPHERIC STABILITY CLASS	= C	
VAPOR/GAS DISCHARGE HEIGHT	= 8	feet

KEY RESULTS PROVIDED BY USER INSTEAD OF BY EVALUATION METHODS

VAPOR EVOLUTION RATE	= 99.8	lb/min
VAPOR EVOLUTION DURATION	= 1604.3	minutes

KEY RESULTS OVERRIDDEN BY USER AT SOME POINT AFTER COMPUTATION

NONE OBSERVED

TOXIC VAPOR DISPERSION ANALYSIS RESULTS

Downwind Distance		Groundlevel	Source Height	Initial Evacuation
(feet)	(miles)	Concentration (ppm)	Concentration (ppm)	Zone Width* (feet)
100	.02	2263	2138	350
263	.05	560	521	910
425	.09	238	231	1480
588	.12	132	130	2040
750	.15	84	83	2600
913	.18	58.5	58	3170
1075	.21	43.2	43	3730
1238	.24	33.3	33.2	4060
1400	.27	26.6	26.5	3840
1563	.3	21.7	21.6	3580
1725	.33	18.1	18	3270
1888	.36	15.3	15.3	2890
2050	.39	13.2	13.1	2400
2212	.42	11.4	11.4	1730
2375	.45	10	10	1

\*Usually safe for < 1 hour release. Longer releases or sudden wind shifts may require a larger width or different direction for the evacuation zone. See Chapters 3 and 12 of the guide for details. Source height specified by the user for this scenario was 8 feet.

TOXIC VAPOR DISPERSION ANALYSIS RESULTS

Downwind Distance		Contaminant Arrival Time	Contaminant Departure Time
(feet)	(miles)	at Downwind Location (minutes)	at Downwind Location (minutes)
100	.02	.3	1604.8
263	.05	.6	1605.5
425	.09	1	1606.3
588	.12	1.4	1607
750	.15	1.8	1607.8
913	.18	2.1	1608.5
1075	.21	2.5	1609.2
1238	.24	2.9	1610
1400	.27	3.2	1610.7
1563	.3	3.6	1611.5
1725	.33	4	1612.2
1888	.36	4.3	1612.9
2050	.39	4.7	1613.7
2212	.42	5.1	1614.4
2375	.45	5.4	1615.1

CAUTION: See guide for assumptions used in estimating these times.

HAZARDOUS MATERIAL = CLORO  
ADDRESS \ LOCATION = COATZACOALCOS  
NAME OF DISK FILE = C33.ASF

\*\*\* SCENARIO DESCRIPTION

RUPTURA CIRCULAR DE 1.5 IN A 3 FT  
CARRO TANQUE CLORO

\*\*\*\*\* DISCHARGE RATE/DURATION ESTIMATES

Liquefied gas discharge from outlet <= 4 in. from tank

Average discharge rate	=	2888.9	lbs/min
Duration of discharge	=	30	minutes
Amount discharged	=	86667	lbs
State of material	=	Mix of gas/aerosol	

Note: Duration of discharge was intentionally shortened by user to account for response to spill. Computed duration was originally 55.4 minutes.

\*\*\*\*\* TOXIC VAPOR DISPERSION ANALYSIS RESULTS

Downwind distance to concentration of 10 ppm			
-- at groundlevel	=	15000	feet
-- at discharge height	=	15000	feet

Note: Minimum computable answer is 33 feet!  
Actual hazard distance may be less.

Peak concentration on ground is 591029.5 ppm  
at a downwind distance of 24 feet for  
elevated emission source specified by user.

Note: User changed vapor emission rate prior to use of toxic or flammable vapor dispersion model. Final user provided rate was 2888.9 lbs/min.

Note: See last page of printout for list of results originally computed by ARCHIE.

See attached table(s) for further details.

TOXIC VAPOR DISPERSION ANALYSIS RESULTS

Downwind Distance		Groundlevel Concentration	Source Height Concentration	Initial Evacuation Zone Width*
(feet)	(miles)	(ppm)	(ppm)	(feet)
100	.02	102183	96016	350
1165	.23	1084	1083	4040
2229	.43	326	326	7720
3293	.63	159	159	11410
4357	.83	95	95	15100
5422	1.03	63.7	63.7	18780
6486	1.23	45.9	45.9	22470
7550	1.43	34.8	34.8	25930
8614	1.64	27.4	27.4	24560
9678	1.84	22.2	22.2	22920
10743	2.04	18.4	18.4	20940
11807	2.24	15.5	15.5	18510
12871	2.44	13.2	13.2	15410
13935	2.64	11.5	11.5	11100
15000	2.85	10.1	10	1

\*Usually safe for < 1 hour release. Longer releases or sudden wind shifts may require a larger width or different direction for the evacuation zone. See Chapters 3 and 12 of the guide for details. Source height specified by the user for this scenario was 3 feet.

TOXIC VAPOR DISPERSION ANALYSIS RESULTS

Downwind Distance		Contaminant Arrival Time at Downwind Location	Contaminant Departure Time at Downwind Location
(feet)	(miles)	(minutes)	(minutes)
100	.02	.3	30.5
1165	.23	2.7	35.3
2229	.43	5.1	40.2
3293	.63	7.5	45
4357	.83	10	49.9
5422	1.03	12.4	54.7
6486	1.23	14.8	59.5
7550	1.43	17.2	64.4
8614	1.64	19.6	69.2
9678	1.84	22	74
10743	2.04	24.5	78.9
11807	2.24	26.9	83.7
12871	2.44	29.3	88.6
13935	2.64	31.7	93.4
15000	2.85	34.1	98.2

CAUTION: See guide for assumptions used in estimating these times.

INPUT PARAMETER SUMMARY

-----

PHYSIOCHEMICAL PROPERTIES OF MATERIAL

NORMAL BOILING POINT	= -30.3	degrees F
MOLECULAR WEIGHT	= 70.91	
LIQUID SPECIFIC GRAVITY	= 1.557	
VAPOR PRES AT CONTAINER TEMP	= 56.96	psia
	= 2947	mm Hg
TOXIC VAPOR LIMIT	= 10	ppm

CONTAINER CHARACTERISTICS

TOTAL WEIGHT OF CONTENTS	= 160000	lbs
LIQUID HEIGHT IN CONTAINER	= 6.4	feet
DISCHARGE HOLE DIAMETER	= 1.5	inch(es)
DISCHARGE COEFFICIENT OF HOLE	= .62	
TEMP OF CONTAINER CONTENTS	= 20	degrees F

ENVIRONMENTAL/LOCATION CHARACTERISTICS

AMBIENT TEMPERATURE	= 50	degrees F
WIND VELOCITY	= 5	mph
ATMOSPHERIC STABILITY CLASS	= C	
VAPOR/GAS DISCHARGE HEIGHT	= 3	feet

KEY RESULTS PROVIDED BY USER INSTEAD OF BY EVALUATION METHODS  
NONE OBSERVED

KEY RESULTS OVERRIDDEN BY USER AT SOME POINT AFTER COMPUTATION

DURATION OF DISCHARGE	= 55.4	minutes
TOTAL AMOUNT DISCHARGED	= 160000	lbs
VAPOR EVOLUTION RATE	= -500	lb/min

HAZARDOUS MATERIAL = AMONIACO  
NAME OF DISK FILE = A1.ASF

\*\*\* SCENARIO DESCRIPTION

CARRO TANQUE VOLTEADO  
RUPTURA EN VALVULA DE 2 IN A 4.75 FT BASE

\*\*\*\*\* DISCHARGE RATE/DURATION ESTIMATES

Liquefied gas discharge from outlet <= 4 in. from tank

Average discharge rate	=	4353.8	lbs/min
Duration of discharge	=	25.3	minutes
Amount discharged	=	110000	lbs
State of material	=	Mix of gas/aerosol	

\*\*\*\*\* TOXIC VAPOR DISPERSION ANALYSIS RESULTS

Downwind distance to concentration of 300 ppm  
-- at groundlevel = 6341 feet  
-- at discharge height = 6341 feet

Peak concentration on ground is 1000000 ppm  
at a downwind distance of 41 feet for  
elevated emission source specified by user.

See attached table(s) for further details.

TOXIC VAPOR DISPERSION ANALYSIS RESULTS

Downwind Distance		Groundlevel Concentration	Source Height Concentration	Initial Evacuation Zone Width*
(feet)	(miles)	(ppm)	(ppm)	(feet)
100	.02	574580	510969	350
546	.11	27747	27536	1900
992	.19	9150	9127	3440
1438	.28	4597	4591	4980
1883	.36	2790	2788	6530
2329	.45	1885	1884	8070
2775	.53	1365	1365	9620
3221	.61	1038	1038	10930
3666	.7	818	818	10350
4112	.78	663	663	9660
4558	.87	549	549	8820
5004	.95	463	463	7790
5449	1.04	396	396	6490
5895	1.12	343	343	4680
6341	1.21	300	300	1

\*Usually safe for < 1 hour release. Longer releases or sudden wind shifts may require a larger width or different direction for the evacuation zone. See Chapters 3 and 12 of the guide for details. Source height specified by the user for this scenario was 4.75 feet.

TOXIC VAPOR DISPERSION ANALYSIS RESULTS

Downwind Distance		Contaminant Arrival Time at Downwind Location	Contaminant Departure Time at Downwind Location
(feet)	(miles)	(minutes)	(minutes)
100	.02	.3	25.8
546	.11	1.3	27.8
992	.19	2.3	29.9
1438	.28	3.3	31.9
1883	.36	4.3	33.9
2329	.45	5.3	35.9
2775	.53	6.4	38
3221	.61	7.4	40
3666	.7	8.4	42
4112	.78	9.4	44
4558	.87	10.4	46.1
5004	.95	11.4	48.1
5449	1.04	12.4	50.1
5895	1.12	13.4	52.1
6341	1.21	14.5	54.2

CAUTION: See guide for assumptions used in estimating these times.

INPUT PARAMETER SUMMARY

-----  
PHYSIOCHEMICAL PROPERTIES OF MATERIAL

NORMAL BOILING POINT	=	-28.03	degrees F
MOLECULAR WEIGHT	=	17.03	
LIQUID SPECIFIC GRAVITY	=	.68	
VAPOR PRES AT CONTAINER TEMP	=	42.85	psia
	=	2217	mm Hg
TOXIC VAPOR LIMIT	=	300	ppm

CONTAINER CHARACTERISTICS

TANK DIAMETER	=	9.5	feet
TOTAL WEIGHT OF CONTENTS	=	110000	lbs
LIQUID HEIGHT IN CONTAINER	=	7.5	feet
DISCHARGE HOLE DIAMETER	=	2	inch(es)
DISCHARGE COEFFICIENT OF HOLE	=	.98	
TEMP OF CONTAINER CONTENTS	=	20	degrees F

ENVIRONMENTAL/LOCATION CHARACTERISTICS

AMBIENT TEMPERATURE	=	50	degrees F
WIND VELOCITY	=	5	mph
ATMOSPHERIC STABILITY CLASS	=	C	
VAPOR/GAS DISCHARGE HEIGHT	=	4.75	feet

KEY RESULTS PROVIDED BY USER INSTEAD OF BY EVALUATION METHODS  
NONE OBSERVED

KEY RESULTS OVERRIDDEN BY USER AT SOME POINT AFTER COMPUTATION  
NONE OBSERVED



HAZARDOUS MATERIAL = Amoniaco  
ADDRESS \ LOCATION = Minatitlan  
NAME OF DISK FILE = A8.ASF

\*\*\* SCENARIO DESCRIPTION

Carro tanque posicion normal  
ruptura rectangular en tanque  
1x10 in a 5 ft

\*\*\*\*\* DISCHARGE RATE/DURATION ESTIMATES

Liquefied gas discharge from outlet <= 4 in. from tank

Average discharge rate	=	11684	lbs/min
Duration of discharge	=	9.42	minutes
Amount discharged	=	110000	lbs
State of material	=	Mix of gas/aerosol	

\*\*\*\*\* TOXIC VAPOR DISPERSION ANALYSIS RESULTS

Downwind distance to concentration of 300 ppm  
-- at groundlevel = 14810 feet  
-- at discharge height = 14808 feet

Peak concentration on ground is 1000000 ppm  
at a downwind distance of 66 feet for  
elevated emission source specified by user.

See attached table(s) for further details.

TOXIC VAPOR DISPERSION ANALYSIS RESULTS

Downwind Distance		Groundlevel Concentration	Source Height Concentration	Initial Evacuation Zone Width*
(feet)	(miles)	(ppm)	(ppm)	(feet)
100	.02	1000000	1000000	73
1151	.22	19716	19594	840
2202	.42	6497	6483	1610
3252	.62	3383	3378	2370
4303	.82	2133	2131	3140
5354	1.02	1495	1494	3900
6404	1.22	1120	1120	4670
7455	1.42	879	878	5430
8506	1.62	713	713	6200
9556	1.81	593	593	6960
10607	2.01	504	504	7730
11658	2.21	435	435	8490
12708	2.41	380	380	9260
13759	2.61	337	336	10020
14810	2.81	300	300	1

\*Usually safe for < 1 hour release. Longer releases or sudden wind shifts may require a larger width or different direction for the evacuation zone. See Chapters 3 and 12 of the guide for details. Source height specified by the user for this scenario was 5 feet.

TOXIC VAPOR DISPERSION ANALYSIS RESULTS

Downwind Distance		Contaminant Arrival Time at Downwind Location	Contaminant Departure Time at Downwind Location
(feet)	(miles)	(minutes)	(minutes)
100	.02	.1	9.6
1151	.22	1.1	11.5
2202	.42	2	13.3
3252	.62	2.9	15.2
4303	.82	3.8	17
5354	1.02	4.7	18.8
6404	1.22	5.6	20.7
7455	1.42	6.6	22.5
8506	1.62	7.5	24.3
9556	1.81	8.4	26.2
10607	2.01	9.3	28
11658	2.21	10.2	29.9
12708	2.41	11.2	31.7
13759	2.61	12.1	33.5
14810	2.81	13	35.4

CAUTION: See guide for assumptions used in estimating these times.

INPUT PARAMETER SUMMARY

-----  
PHYSIOCHEMICAL PROPERTIES OF MATERIAL

NORMAL BOILING POINT	=	-28.03	degrees F
MOLECULAR WEIGHT	=	17.03	
LIQUID SPECIFIC GRAVITY	=	.68	
VAPOR PRES AT CONTAINER TEMP	=	42.85	psia
	=	2217	mm Hg
TOXIC VAPOR LIMIT	=	300	ppm

CONTAINER CHARACTERISTICS

TOTAL WEIGHT OF CONTENTS	=	110000	lbs
LIQUID HEIGHT IN CONTAINER	=	7.5	feet
DISCHARGE HOLE DIAMETER	=	3.56	inch(es)
DISCHARGE COEFFICIENT OF HOLE	=	.83	
TEMP OF CONTAINER CONTENTS	=	20	degrees F

ENVIRONMENTAL/LOCATION CHARACTERISTICS

AMBIENT TEMPERATURE	=	78	degrees F
WIND VELOCITY	=	13	mph
ATMOSPHERIC STABILITY CLASS	=	D	
VAPOR/GAS DISCHARGE HEIGHT	=	5	feet

KEY RESULTS PROVIDED BY USER INSTEAD OF BY EVALUATION METHODS  
NONE OBSERVED

KEY RESULTS OVERRIDDEN BY USER AT SOME POINT AFTER COMPUTATION  
NONE OBSERVED

HAZARDOUS MATERIAL = Acido Sulfurico  
NAME OF DISK FILE = S2.ASF

\*\*\* SCENARIO DESCRIPTION

Carro tanque posicion normal  
Ruptura circular  
1.5 in a 3 ft

\*\*\*\*\* DISCHARGE RATE/DURATION ESTIMATES

Liquid discharge from nonpressurized container

Average discharge rate	=	386.9	lbs/min
Duration of discharge	=	30	minutes
Amount discharged	=	11607	lbs
State of material	=	Liquid	

Note: Duration of discharge was intentionally shortened by user to account for response to spill. Computed duration was originally 465.3 minutes.

\*\*\*\*\* LIQUID POOL SIZE ESTIMATES

Evaporating pool area	=	832891	ft2
-----------------------	---	--------	-----

\*\*\*\*\* LIQUID POOL EVAPORATION RATE/DURATION ESTIMATES

Vapor evolution rate	=	.319	lbs/min
Evolution duration	=	36404.8	minutes

\*\*\*\*\* TOXIC VAPOR DISPERSION ANALYSIS RESULTS

Downwind distance to concentration of 3.56 ppm			
-- at groundlevel	=	161	feet

Note: Minimum computable answer is 33 feet!  
Actual hazard distance may be less.

See attached table(s) for further details.

TOXIC VAPOR DISPERSION ANALYSIS RESULTS

Downwind Distance (feet)	Downwind Distance (miles)	Groundlevel Concentration (ppm)	Source Height Concentration (ppm)	Initial Evacuation Zone Width* (feet)
100	.02	8.8	8.8	770
105	.02	8.1	8.1	760
109	.03	7.5	7.5	760
114	.03	7	7	750
118	.03	6.5	6.5	740
122	.03	6.1	6.1	730
127	.03	5.7	5.7	720
131	.03	5.3	5.3	710
135	.03	5	5	700
140	.03	4.7	4.7	680
144	.03	4.5	4.5	670
148	.03	4.2	4.2	650
153	.03	4	4	620
157	.03	3.8	3.8	590
161	.04	3.6	3.6	1

\*Usually safe for < 1 hour release. Longer releases or sudden wind shifts may require a larger width or different direction for the evacuation zone. See Chapters 3 and 12 of the guide for details. Source height specified by the user for this scenario was 0 feet.

TOXIC VAPOR DISPERSION ANALYSIS RESULTS

Downwind Distance (feet)	Downwind Distance (miles)	Contaminant Arrival Time at Downwind Location (minutes)	Contaminant Departure Time at Downwind Location (minutes)
100	.02	.3	36405.3
105	.02	.3	36405.3
109	.03	.3	36405.3
114	.03	.3	36405.4
118	.03	.3	36405.4
122	.03	.3	36405.4
127	.03	.3	36405.4
131	.03	.3	36405.4
135	.03	.4	36405.5
140	.03	.4	36405.5
144	.03	.4	36405.5
148	.03	.4	36405.5
153	.03	.4	36405.5
157	.03	.4	36405.6
161	.04	.4	36405.6

CAUTION: See guide for assumptions used in estimating these times.

INPUT PARAMETER SUMMARY

---

PHYSIOCHEMICAL PROPERTIES OF MATERIAL

NORMAL BOILING POINT	= 554	degrees F
MOLECULAR WEIGHT	= 98.08	
LIQUID SPECIFIC GRAVITY	= 1.841	
VAPOR PRES AT CONTAINER TEMP	= .001	psia
	= .052	mm Hg
VAPOR PRES AT AMBIENT TEMP	= .0011	psia
	= .052	mm Hg
TOXIC VAPOR LIMIT	= 3.56	ppm

CONTAINER CHARACTERISTICS

CONTAINER TYPE	= Horizontal cylinder	
TANK DIAMETER	= 10.5	feet
TANK LENGTH	= 39.7	feet
TOTAL WEIGHT OF CONTENTS	= 180000	lbs
LIQUID HEIGHT IN CONTAINER	= 9	feet
DISCHARGE HOLE DIAMETER	= 1.5	inch(es)
DISCHARGE COEFFICIENT OF HOLE	= .62	
TEMP OF CONTAINER CONTENTS	= 50	degrees F

ENVIRONMENTAL/LOCATION CHARACTERISTICS

AMBIENT TEMPERATURE	= 50	degrees F
WIND VELOCITY	= 5	mph
ATMOSPHERIC STABILITY CLASS	= C	
LIQUID CONFINEMENT AREA	= NONE	
VAPOR/GAS DISCHARGE HEIGHT	= 0	feet

KEY RESULTS PROVIDED BY USER INSTEAD OF BY EVALUATION METHODS  
NONE OBSERVED

KEY RESULTS OVERRIDDEN BY USER AT SOME POINT AFTER COMPUTATION  
NONE OBSERVED

HAZARDOUS MATERIAL = Acido Sulfurico  
NAME OF DISK FILE = S6.ASF

\*\*\* SCENARIO DESCRIPTION

Carro tanque posicion normal  
ruptura rectangular en tanque  
1x10 in a 5 ft

\*\*\*\*\* DISCHARGE RATE/DURATION ESTIMATES

Liquid discharge from nonpressurized container

Average discharge rate	=	2917.2	lbs/min
Duration of discharge	=	30	minutes
Amount discharged	=	87516	lbs
State of material	=	Liquid	

Note: Duration of discharge was intentionally shortened by user to account for response to spill. Computed duration was originally 61.8 minutes.

\*\*\*\*\* LIQUID POOL SIZE ESTIMATES

Evaporating pool area	=	2762996	ft2
-----------------------	---	---------	-----

\*\*\*\*\* LIQUID POOL EVAPORATION RATE/DURATION ESTIMATES

Vapor evolution rate	=	2.23	lbs/min
Evolution duration	=	39371.2	minutes

\*\*\*\*\* TOXIC VAPOR DISPERSION ANALYSIS RESULTS

Downwind distance to concentration of 3.75 ppm			
-- at groundlevel	=	434	feet

Note: Minimum computable answer is 33 feet!  
Actual hazard distance may be less.

See attached table(s) for further details.

TOXIC VAPOR DISPERSION ANALYSIS RESULTS

Downwind Distance		Groundlevel Concentration	Source Height Concentration	Initial Evacuation Zone Width*
(feet)	(miles)	(ppm)	(ppm)	(feet)
100	.02	59.2	59.2	1020
124	.03	39.2	39.2	1030
148	.03	28	28	1050
172	.04	21.1	21.1	1070
196	.04	16.5	16.5	1090
220	.05	13.3	13.3	1100
243	.05	11	11	1120
267	.06	9.2	9.2	1140
291	.06	7.9	7.9	1150
315	.06	6.8	6.8	1170
339	.07	6	6	1190
362	.07	5.3	5.3	1210
386	.08	4.7	4.7	1220
410	.08	4.2	4.2	1230
434	.09	3.8	3.8	1

\*Usually safe for < 1 hour release. Longer releases or sudden wind shifts may require a larger width or different direction for the evacuation zone. See Chapters 3 and 12 of the guide for details. Source height specified by the user for this scenario was 0 feet.

TOXIC VAPOR DISPERSION ANALYSIS RESULTS

Downwind Distance		Contaminant Arrival Time at Downwind Location	Contaminant Departure Time at Downwind Location
(feet)	(miles)	(minutes)	(minutes)
100	.02	.1	39371.4
124	.03	.2	39371.5
148	.03	.2	39371.5
172	.04	.2	39371.5
196	.04	.2	39371.6
220	.05	.2	39371.6
243	.05	.3	39371.7
267	.06	.3	39371.7
291	.06	.3	39371.8
315	.06	.3	39371.8
339	.07	.3	39371.8
362	.07	.4	39371.9
386	.08	.4	39371.9
410	.08	.4	39372
434	.09	.4	39372

CAUTION: See guide for assumptions used in estimating these times.



INPUT PARAMETER SUMMARY

---

PHYSIOCHEMICAL PROPERTIES OF MATERIAL

NORMAL BOILING POINT	=	554	degrees F
MOLECULAR WEIGHT	=	98.08	
LIQUID SPECIFIC GRAVITY	=	1.841	
VAPOR PRES AT CONTAINER TEMP	=	.001	psia
	=	.052	mm Hg
VAPOR PRES AT AMBIENT TEMP	=	.0011	psia
	=	.052	mm Hg
TOXIC VAPOR LIMIT	=	3.75	ppm

CONTAINER CHARACTERISTICS

CONTAINER TYPE	=	Horizontal cylinder	
TANK DIAMETER	=	10.5	feet
TANK LENGTH	=	39.7	feet
TOTAL WEIGHT OF CONTENTS	=	180000	lbs
LIQUID HEIGHT IN CONTAINER	=	9	feet
DISCHARGE HOLE DIAMETER	=	3.56	inch(es)
DISCHARGE COEFFICIENT OF HOLE	=	.83	
TEMP OF CONTAINER CONTENTS	=	78	degrees F

ENVIRONMENTAL/LOCATION CHARACTERISTICS

AMBIENT TEMPERATURE	=	78	degrees F
WIND VELOCITY	=	13	mph
ATMOSPHERIC STABILITY CLASS	=	D	
LIQUID CONFINEMENT AREA	=	NONE	
VAPOR/GAS DISCHARGE HEIGHT	=	0	feet

KEY RESULTS PROVIDED BY USER INSTEAD OF BY EVALUATION METHODS  
NONE OBSERVED

KEY RESULTS OVERRIDDEN BY USER AT SOME POINT AFTER COMPUTATION  
NONE OBSERVED

HAZARDOUS MATERIAL = Diesel  
NAME OF DISK FILE = D1.ASF

\*\*\* SCENARIO DESCRIPTION

Carro tanque volteado  
ruptura en valvula  
2 in a 4.5 ft

\*\*\*\*\* DISCHARGE RATE/DURATION ESTIMATES

Liquid discharge from nonpressurized container

Average discharge rate	=	611.4	lbs/min
Duration of discharge	=	30	minutes
Amount discharged	=	18342	lbs
State of material	=	Liquid	

Note: Duration of discharge was intentionally shortened by user to account for response to spill. Computed duration was originally 209.4 minutes.

\*\*\*\*\* LIQUID POOL SIZE ESTIMATES

Evaporating pool area	=	76473	ft2
Burning pool area	=	1645	ft2

Note: Pool is assumed to ignite immediately upon initiation of discharge.

\*\*\*\*\* LIQUID POOL EVAPORATION RATE/DURATION ESTIMATES

Vapor evolution rate	=	113.9	lbs/min
Evolution duration	=	161.2	minutes

\*\*\*\*\* POOL FIRE HAZARD ESTIMATION RESULTS

Burning pool radius	=	22.9	feet
Flame height	=	46	feet
Fatality zone radius	=	38	feet
Injury zone radius	=	55	feet

INPUT PARAMETER SUMMARY

-----  
PHYSIOCHEMICAL PROPERTIES OF MATERIAL

NORMAL BOILING POINT	=	540	degrees F
MOLECULAR WEIGHT	=	200	
LIQUID SPECIFIC GRAVITY	=	.841	
VAPOR PRES AT CONTAINER TEMP	=	.037	psia
	=	1.92	mm Hg
VAPOR PRES AT AMBIENT TEMP	=	.0372	psia
	=	1.92	mm Hg

CONTAINER CHARACTERISTICS

CONTAINER TYPE	=	Horizontal cylinder	
TANK DIAMETER	=	10.5	feet
TANK LENGTH	=	50.2	feet
TOTAL WEIGHT OF CONTENTS	=	128000	lbs
LIQUID HEIGHT IN CONTAINER	=	9	feet
DISCHARGE HOLE DIAMETER	=	2	inch(es)
DISCHARGE COEFFICIENT OF HOLE	=	.98	
TEMP OF CONTAINER CONTENTS	=	64.4	degrees F

ENVIRONMENTAL/LOCATION CHARACTERISTICS

AMBIENT TEMPERATURE	=	64.4	degrees F
WIND VELOCITY	=	5	mph
LIQUID CONFINEMENT AREA	=	NONE	

KEY RESULTS PROVIDED BY USER INSTEAD OF BY EVALUATION METHODS  
NONE OBSERVED

KEY RESULTS OVERRIDDEN BY USER AT SOME POINT AFTER COMPUTATION  
NONE OBSERVED

HAZARDOUS MATERIAL = Diesel  
NAME OF DISK FILE = D2.ASF

\*\*\* SCENARIO DESCRIPTION

Carro tanque posicion normal  
ruptura circular en tanque  
1.5 in a 3 ft

\*\*\*\*\* DISCHARGE RATE/DURATION ESTIMATES

Liquid discharge from nonpressurized container

Average discharge rate	=	217.6	lbs/min
Duration of discharge	=	30	minutes
Amount discharged	=	6528	lbs
State of material	=	Liquid	

Note: Duration of discharge was intentionally shortened by user to account for response to spill. Computed duration was originally 588.4 minutes.

\*\*\*\*\* LIQUID POOL SIZE ESTIMATES

Evaporating pool area	=	36075	ft2
Burning pool area	=	585.2	ft2

Note: Pool is assumed to ignite immediately upon initiation of discharge.

\*\*\*\*\* LIQUID POOL EVAPORATION RATE/DURATION ESTIMATES

Vapor evolution rate	=	53.7	lbs/min
Evolution duration	=	121.6	minutes

\*\*\*\*\* POOL FIRE HAZARD ESTIMATION RESULTS

Burning pool radius	=	13.7	feet
Flame height	=	32	feet
Fatality zone radius	=	23	feet
Injury zone radius	=	33	feet

INPUT PARAMETER SUMMARY

-----  
PHYSIOCHEMICAL PROPERTIES OF MATERIAL

NORMAL BOILING POINT	=	540	degrees F
MOLECULAR WEIGHT	=	200	
LIQUID SPECIFIC GRAVITY	=	.841	
VAPOR PRES AT AMBIENT TEMP	=	.0364	psia
	=	1.88	mm Hg

CONTAINER CHARACTERISTICS

CONTAINER TYPE	=	Horizontal cylinder	
TANK DIAMETER	=	10.5	feet
TANK LENGTH	=	50.2	feet
TOTAL WEIGHT OF CONTENTS	=	128000	lbs
LIQUID HEIGHT IN CONTAINER	=	9	feet
DISCHARGE HOLE DIAMETER	=	1.5	inch(es)
DISCHARGE COEFFICIENT OF HOLE	=	.62	
TEMP OF CONTAINER CONTENTS	=	64.4	degrees F

ENVIRONMENTAL/LOCATION CHARACTERISTICS

AMBIENT TEMPERATURE	=	64.4	degrees F
WIND VELOCITY	=	5	mph
LIQUID CONFINEMENT AREA	=	NONE	

KEY RESULTS PROVIDED BY USER INSTEAD OF BY EVALUATION METHODS  
NONE OBSERVED

KEY RESULTS OVERRIDDEN BY USER AT SOME POINT AFTER COMPUTATION  
NONE OBSERVED

HAZARDOUS MATERIAL = Combustoleo  
NAME OF DISK FILE = CB1.ASF

\*\*\* SCENARIO DESCRIPTION

ruptura en valvula de carro tanque  
ruptura de 2 in  
combustoleo

\*\*\*\*\* DISCHARGE RATE/DURATION ESTIMATES

Liquid discharge from nonpressurized container

Average discharge rate	=	745.1	lbs/min
Duration of discharge	=	30	minutes
Amount discharged	=	22353	lbs
State of material	=	Liquid	

Note: Duration of discharge was intentionally shortened by user to account for response to spill. Computed duration was originally 209.4 minutes.

\*\*\*\*\* LIQUID POOL SIZE ESTIMATES

Evaporating pool area	=	106872	ft2
Burning pool area	=	788.5	ft2

Note: Pool is assumed to ignite immediately upon initiation of discharge.

\*\*\*\*\* LIQUID POOL EVAPORATION RATE/DURATION ESTIMATES

Vapor evolution rate	=	93.4	lbs/min
Evolution duration	=	239.6	minutes

\*\*\*\*\* POOL FIRE HAZARD ESTIMATION RESULTS

Burning pool radius	=	15.9	feet
Flame height	=	63	feet
Fatality zone radius	=	27	feet
Injury zone radius	=	38	feet

INPUT PARAMETER SUMMARY

-----  
PHYSIOCHEMICAL PROPERTIES OF MATERIAL

NORMAL BOILING POINT	=	375	degrees F
MOLECULAR WEIGHT	=	250	
LIQUID SPECIFIC GRAVITY	=	.848	
VAPOR PRES AT CONTAINER TEMP	=	.017	psia
	=	.88	mm Hg
VAPOR PRES AT AMBIENT TEMP	=	.0171	psia
	=	.88	mm Hg

CONTAINER CHARACTERISTICS

CONTAINER TYPE	=	Horizontal cylinder	
TANK DIAMETER	=	10.5	feet
TANK LENGTH	=	50.2	feet
TOTAL WEIGHT OF CONTENTS	=	156000	lbs
LIQUID HEIGHT IN CONTAINER	=	9	feet
DISCHARGE HOLE DIAMETER	=	2	inch(es)
DISCHARGE COEFFICIENT OF HOLE	=	.98	
TEMP OF CONTAINER CONTENTS	=	41	degrees F

ENVIRONMENTAL/LOCATION CHARACTERISTICS

AMBIENT TEMPERATURE	=	41	degrees F
WIND VELOCITY	=	5	mph
LIQUID CONFINEMENT AREA	=	NONE	

KEY RESULTS PROVIDED BY USER INSTEAD OF BY EVALUATION METHODS  
NONE OBSERVED

KEY RESULTS OVERRIDDEN BY USER AT SOME POINT AFTER COMPUTATION  
NONE OBSERVED

HAZARDOUS MATERIAL = combustoleo  
NAME OF DISK FILE = CB5.ASF

\*\*\* SCENARIO DESCRIPTION

carro tanque combustoleo  
ruptura circular en tanque  
1.5 in

\*\*\*\*\* DISCHARGE RATE/DURATION ESTIMATES

Liquid discharge from nonpressurized container

Average discharge rate	=	265.2	lbs/min
Duration of discharge	=	30	minutes
Amount discharged	=	7956.1	lbs
State of material	=	Liquid	

Note: Duration of discharge was intentionally shortened by user to account for response to spill. Computed duration was originally 588.4 minutes.

\*\*\*\*\* LIQUID POOL SIZE ESTIMATES

Evaporating pool area	=	27346	ft2
Burning pool area	=	280.7	ft2

Note: Pool is assumed to ignite immediately upon initiation of discharge.

\*\*\*\*\* LIQUID POOL EVAPORATION RATE/DURATION ESTIMATES

Vapor evolution rate	=	128.5	lbs/min
Evolution duration	=	62	minutes

\*\*\*\*\* POOL FIRE HAZARD ESTIMATION RESULTS

Burning pool radius	=	9.5	feet
Flame height	=	44	feet
Fatality zone radius	=	16	feet
Injury zone radius	=	23	feet



INPUT PARAMETER SUMMARY

-----  
PHYSIOCHEMICAL PROPERTIES OF MATERIAL

NORMAL BOILING POINT	=	375	degrees F
MOLECULAR WEIGHT	=	250	
LIQUID SPECIFIC GRAVITY	=	.848	
VAPOR PRES AT AMBIENT TEMP	=	.0403	psia
	=	2.08	mm Hg

CONTAINER CHARACTERISTICS

CONTAINER TYPE	=	Horizontal cylinder	
TANK DIAMETER	=	10.5	feet
TANK LENGTH	=	50.2	feet
TOTAL WEIGHT OF CONTENTS	=	156000	lbs
LIQUID HEIGHT IN CONTAINER	=	9	feet
DISCHARGE HOLE DIAMETER	=	1.5	inch(es)
DISCHARGE COEFFICIENT OF HOLE	=	.62	
TEMP OF CONTAINER CONTENTS	=	86	degrees F

ENVIRONMENTAL/LOCATION CHARACTERISTICS

AMBIENT TEMPERATURE	=	86	degrees F
WIND VELOCITY	=	15	mph
LIQUID CONFINEMENT AREA	=	NONE	

KEY RESULTS PROVIDED BY USER INSTEAD OF BY EVALUATION METHODS  
NONE OBSERVED

KEY RESULTS OVERRIDDEN BY USER AT SOME POINT AFTER COMPUTATION  
NONE OBSERVED

## REFERENCIAS

- <sup>1</sup> [www.tfm.com.mx](http://www.tfm.com.mx) (24/04/2001)
- <sup>2</sup> <http://www.jornada.unam.mx/1996/dic96/961206/concesion.html> (25/04/2001)
- <sup>3</sup> [www.ferromex.com.mx](http://www.ferromex.com.mx) (24/04/2001)
- <sup>4</sup> <http://www.jornada.unam.mx/1997/jun97/970627/ferrocarril.html> (25/04/2001)
- <sup>5</sup> <http://www.unam.mx/universal/net1/1999/jun99/26jun99/finanzas/03-fi-c.html>  
(26/04/2001)
- <sup>6</sup> [www.lfcd.com.mx](http://www.lfcd.com.mx) (24/04/2001)
- <sup>7</sup> <http://www.jornada.unam.mx/1998/may98/980504/ruta.html> (25/04/2001)
- <sup>8</sup> <http://www.jornada.unam.mx/1998/feb98/980213/ferrocarril.html> (25/04/2001)
- <sup>9</sup> [www.ferrosur.com.mx](http://www.ferrosur.com.mx) (24/04/2001)
- <sup>10</sup> <http://www.ens.cetys.mx/jr/InversionesInternacionales/Ferro/Ferro.html> (25/04/2001)
- <sup>11</sup> <http://www.unam.mx/universal/net1/1999/jul99/07jul99/finanzas/01-fi-a.html>  
(26/04/2001)
- <sup>12</sup> [www.sct.gob.mx/concesiones/transporte/concesiones asignaciones sist ferroviario](http://www.sct.gob.mx/concesiones/transporte/concesiones_asignaciones_sist_ferroviario)  
(29/09/2003)
- <sup>13</sup> [www.ferrovalle.com.mx](http://www.ferrovalle.com.mx) (24/04/2001)
- <sup>14</sup> **PROYECTO de Norma Oficial Mexicana NOM-045-SCT2-1996.** Características generales de las unidades de arrastre ferroviario asignadas al transporte de materiales y residuos peligrosos
- <sup>15</sup> [http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/30/p2accident.html?id\\_pub=30](http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/30/p2accident.html?id_pub=30)  
(5/11/2003)
- <sup>16</sup> <http://aztecanet.tvazteca.com.mx/noticias/julio/25/nacional/na09.htm> (09/01/2004)
- <sup>17</sup> <http://www.el-universal.com.mx/net1/1997/ago97/22ago97/nacional/41-na-c.html>  
(09/01/2004)
- <sup>18</sup> <http://www.el-universal.com.mx/net1/1997/dic97/22dic97/nacional/41-na-b.html>  
(09/01/2004)
- <sup>19</sup> La Jornada 15 de enero de 1998  
Raúl López Téllez/Corresponsal

- <sup>20</sup> Gonzalo Egremy/Corresponsal  
El Universal.  
Lunes 10 de enero de 2000  
Nación, página 12
- <sup>21</sup> Ignacio Roque Madriz/Corresponsal  
El Universal.  
Lunes 17 de enero de 2000  
Estados, página 10
- <sup>22</sup> Alberto López Morales/Corresponsal  
El Universal.  
Sábado 07 de octubre de 2000  
Estados, página 1
- <sup>23</sup> Carlos Coria y Enrique Proa/Corresponsales  
El Universal.  
Jueves 14 de diciembre de 2000  
Estados, página 1
- <sup>24</sup> La Jornada Miércoles 14 de Febrero 2001  
Cristóbal García Bernal/Corresponsal
- <sup>25</sup> Gonzalo Egremy/Corresponsal  
El Universal.  
Jueves 05 de julio de 2001  
Estados, página 10
- <sup>26</sup> La Jornada Viernes 13 de Julio 2001  
Rodolfo Villalba Sánchez/Corresponsal
- <sup>27</sup> Xóchitl Álvarez/Corresponsal  
El Universal.  
Jueves 27 de junio de 2002  
Estados, página 1
- <sup>28</sup> Dinorath Mota López/Corresponsal  
El Universal.  
Domingo 20 de abril de 2003  
Estados, página 2

## BIBLIOGRAFIA

[http://www.mexicodesconocido.com.mx/espanol/cultura\\_y\\_sociedad/actividades\\_economicas/detalle.cfm?idpag=992&idsec=17&idsub=86](http://www.mexicodesconocido.com.mx/espanol/cultura_y_sociedad/actividades_economicas/detalle.cfm?idpag=992&idsec=17&idsub=86)

(22/05/2004)

<http://www.estaciontorreon.galeon.com/productos627821.html>

(19/05/2004)

[http://www.mexicodesconocido.com.mx/espanol/cultura\\_y\\_sociedad/actividades\\_economicas/detalle.cfm?idcat=3&idsec=17&idsub=86&idpag=994](http://www.mexicodesconocido.com.mx/espanol/cultura_y_sociedad/actividades_economicas/detalle.cfm?idcat=3&idsec=17&idsub=86&idpag=994)

(30/05/2004)

<http://www.imt.mx/cgi-bin/met/met.pl?c=831s8798> (26/04/2001)

<http://www.estaciontorreon.galeon.com/productos627955.html> (19/05/2004)

[http://www.mexicodesconocido.com.mx/espanol/cultura\\_y\\_sociedad/actividades\\_economicas/detalle.cfm?idcat=3&idsec=17&idsub=86&idpag=993](http://www.mexicodesconocido.com.mx/espanol/cultura_y_sociedad/actividades_economicas/detalle.cfm?idcat=3&idsec=17&idsub=86&idpag=993) (30/05/2004)

<http://www.estaciontorreon.galeon.com/productos627865.html> (19/05/2004)

<http://www.uom.edu.mx/trabajadores/03modsal.html> (01/06/2004)

**The Car & Locomotive Cyclopedia**, William W. Kratville  
Simmons-Boardman Books Inc. 1997  
ISBN 0-911382-20-8

### **Prevención y preparación de la respuesta en caso de Accidentes Químicos en México y en el mundo**

Parte II Contexto Nacional

Cristina Cortinas de Nava, Cuauhtémoc Arturo Juárez Pérez,  
Rogelio Serrano Garza y Yolanda Ordaz Guillén

[http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/30/p2accident.html?id\\_pub=30](http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/30/p2accident.html?id_pub=30)  
(05/11/2003)

<http://www.jornada.unam.mx/1997/feb97/970207/desisten.html> (25/04/2001)

<http://www.jornada.unam.mx/1999/mar99/990302/ferronales.html> (26/04/2001)

<http://www.jornada.unam.mx/1996/oct96/961009/chihuahua.html> (25/04/2001)

<http://www.jornada.unam.mx/1996/abr96/960419/fcventa.html> (25/04/2001)

<http://www.jornada.unam.mx/1996/dic96/961228/ferrocarriles.html> (25/04/2001)

[www.sct.gob.mx/infraestructura/F1.pdf](http://www.sct.gob.mx/infraestructura/F1.pdf) (29/09/2003)

[www.sct.gob.mx/infraestructura/F2.pdf](http://www.sct.gob.mx/infraestructura/F2.pdf) (29/09/2003)

[www.sct.gob.mx/infraestructura/anuario\\_est.htm](http://www.sct.gob.mx/infraestructura/anuario_est.htm) (29/09/2003)

[www.ge.com/capital/rail/equipment/tankcar](http://www.ge.com/capital/rail/equipment/tankcar) (11/11/2003)

<http://www.inegi.gob.mx/geo/default.asp> (29/03/2004)

<http://www.inegi.gob.mx/est/default.asp> (29/03/2004)

<http://www.materialpeligroso.uqroo.mx/materialp/reg1997.htm> (09/01/2004)

<http://www.materialpeligroso.uqroo.mx/materialp/reg1998.htm> (09/01/2004)

### **Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA)**

#### **Reglamento para el Transporte Terrestre de Materiales y Residuos Peligrosos.**

Fecha de publicación D.O.F. 07 de Abril de 1993

#### **Reglamento del Servicio Ferroviario.**

Fecha de publicación D.O.F. 30 de septiembre de 1996

Modificaciones 08 de agosto de 2000

**NOM-002-SCT/1994**, "Listado de las sustancias y materiales peligrosos más usualmente transportados" (DOF: 30-Oct-95)

**NOM-003-SCT-2000**, "Características de las etiquetas de envases y embalajes destinadas al transporte de sustancias y residuos peligrosos" (DOF: 20-Sep-2000)

**NOM-004-SCT-2000**, "Sistema de identificación de unidades destinadas al transporte terrestre de materiales y residuos peligrosos" (DOF: 27-Sep-2000)

**NOM-005-SCT-2000**, "Información de emergencia en transportación para el transporte terrestre de materiales y residuos peligrosos" (DOF: 27-Sep-2000)

**NOM-007-SCT2-2002**, "Envases y embalajes destinados al transporte de sustancias y residuos peligrosos" (DOF: 17-Abr-03)

**NOM-009-SCT2-1994**, "Compatibilidad para almacenamiento y transporte de sustancias, materiales y residuos peligrosos de la clase 1 explosivos" (DOF: 25-Ago-95)

**NOM-010-SCT2-1994**, "Disposiciones de compatibilidad y segregación, para el almacenamiento y transporte de sustancias, materiales y residuos peligrosos" (DOF: 25-Sep-95)

**NOM-018-SCT2-1994**, "Disposiciones para la carga, acondicionamiento y descarga de materiales y residuos peligrosos en unidades de arrastre ferroviario" (DOF: 25-Ago-95)

**NOM-019-SCT2-1995**, "Disposiciones generales para la limpieza y control de remanentes de sustancias y residuos peligrosos en las unidades que transportan materiales y residuos peligrosos" (DOF: 25-Sep-95)

**NOM-021-SCT2-1994**, "Disposiciones generales para transportar otro tipo de bienes diferentes a las sustancias, materiales y residuos peligrosos, en unidades destinadas al traslado de materiales y residuos peligrosos" (DOF: 25-Sep-95)

**NOM-024-SCT2-2002**, "Especificaciones para la construcción y reconstrucción, así como los métodos de prueba de los envases y embalajes de las sustancias, materiales y residuos peligrosos" (DOF: 22-Abr-03)

**NOM-025-SCT2-1994**, "Disposiciones especiales para las sustancias, materiales y residuos peligrosos de la clase 1 explosivos" (DOF: 22-Sep-95)

**NOM-027-SCT2-1994**, "Disposiciones generales para el envase, embalaje y transporte de las sustancias, materiales y residuos peligrosos de la división 5.2 peróxidos orgánicos" (DOF: 23-Oct-95)

**NOM-028-SCT2-1994**, "Disposiciones especiales para las sustancias, materiales y residuos peligrosos de la clase 3 líquidos inflamables transportados" (DOF: 14-Sep-99)

**NOM-043-SCT2-1994**, "Documentos de embarque de sustancias, materiales y residuos peligrosos" (DOF: 23-Oct-95)

**NOM-044/1-SCT2-1997**, "Instrucciones para la ejecución de inspecciones y reparaciones programables de conservación del equipo tractivo ferroviario. Parte 1: Inspección diaria o de viaje" (DOF: 01-Jun-98)

**NOM-044/2-SCT2-1995**, "instrucciones para la ejecución de inspecciones y reparaciones programables de conservación del equipo tractivo ferroviario. Parte 2: Inspección trimestral o de 48,000 kilómetros de recorrido" (DOF: 12-May-97)

**NOM-045-SCT2-1995**, "Características generales de las unidades de arrastre ferroviario asignado al transporte de materiales y residuos peligrosos" (DOF: 22-Oct-97)

**PROYECTO de Norma Oficial Mexicana NOM-045-SCT2-1996** Características generales de las unidades de arrastre ferroviario asignadas al transporte de materiales y residuos peligrosos

**NOM-051-SCT2-1995**, "Especificaciones especiales y adicionales para los envases y embalajes de las sustancias peligrosas de la división 6.2 agentes infecciosos" (DOF: 21-Nov-97)

**ALOHA User's Manual y ALOHA Technical Description**

[www.epa.gov/ceppo/cameo/aloha](http://www.epa.gov/ceppo/cameo/aloha)  
(25/09/2003)

**ALOHA and ARCHIE: A comparison**

Mary Evans

Modeling and Simulation Studies Branch

Hazardous Materials Response and Assessment Division

Office of Ocean Resources Conservation and Assessment

National Oceanic and Atmospheric Administration

Seattle, Washington 98115

Report No. HAZMAT 93-2

April 1993