



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

U. N. A. M.  
FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES CUAUTITLAN

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLAN



Departamento de  
Exámenes Profesionales

CAUSAS QUE ORIGINAN DERRAME, FUGA Y VOLCADURA  
EN EL TRANSPORTE DE GAS CLORO EN AUTOTANQUES  
VIA CARRETERA.

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

**I N G E N I E R O Q U I M I C O**

**P R E S E N T A :**

**JOSE JUAN MONARCA RODRIGUEZ**

ASESOR: ING. ENRIQUE BRAVO MEDINA.



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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.



**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN**  
**UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR**  
**DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES**

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

U. N. A. M.  
 FACULTAD DE ESTUDIOS  
 SUPERIORES CUAUTITLAN



Departamento de  
 Exámenes Profesionales

**DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO**  
 DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN  
 P R E S E N T E

ATN: Q. Ma. del Carmen García Mijares  
 Jefe del Departamento de Exámenes  
 Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:

"Causas que originan derrame, fuga y volcadura en el transporte de gas cloro en autotanques vía carretera".

que presenta el pasante: José Juan Monarca Rodríguez  
 con número de cuenta: 08706631-3 para obtener el título de :  
Ingeniero Químico

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

**A T E N T A M E N T E**

**"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"**

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 13 de abril de 2004.

PRESIDENTE	<u>IQ. Ariel Bautista Salgado</u>	
VOCAL	<u>Ing. Enrique Bravo Medina</u>	
SECRETARIO	<u>Q. Celestino Silva Escalona</u>	
PRIMER SUPLENTE	<u>Ing. Julio Mondragón Illescas</u>	
SEGUNDO SUPLENTE	<u>IQ. Margarita Alonso Espinosa</u>	

## DEDICATORIAS.

*A quien me dio y me enseñó la vida, mi querida madre, Ana Rodríguez  
A mis brujitos por traer nuevas energías al hogar: Brandon, Andy, Ian, Carlita y Viry... han alegrado mi vida.  
A mi hermana Cory por todos los juegos, gritos y momentos gratos... aún en momentos en que vivimos errores y distanciamientos.*

*A mi hermano Ed por estar conmigo cuando lo necesito, por respetarme y dejarme guiar su vida.*

*A mi hermana Alma por su ejemplo de trabajo.*

*A mi hermano Alberto por su inteligencia y habilidad para las máquinas.*

*A mi amigo Javier Ochoa<sup>+</sup>, que aún después de haber partido sigo recordando sus enseñanzas.*

*A ITTEM de Sky por 4 años de su vida, por haber estado aún cuando el aire era húmedo y frío... UB... UR... UF.*

## Agradecimientos:

*A la Universidad Nacional Autónoma de México, a la PIES-Cuautitlán y a todos mis maestros.*

*A mis sinodales, especialmente a mi asesor de Tesis, Ing. Enrique Bravo.*

*En especial a Mi amiga y profesora Marina Morales por sus sugerencias y aportaciones durante la elaboración del presente trabajo.*

*A mi confiable y accesible amiga Marthita Mejía por su ayuda durante la elaboración del presente trabajo.*

*A Lulú Hernández por sus amistad, sabiduría y confianza.*



**Causas que originan derrame, fuga y volcadura en el transporte de gas cloro en autotanques vía carretera.**



Fotografía tomada en Córdoba, Ver. el 15 de diciembre de 2003

---

---

## Índice.

	<i>Páginas.</i>
<b>Objetivos Generales.</b>	<i>i</i>
<b>Objetivos Particulares.</b>	<i>i</i>
<b>Alcances.</b>	<i>i</i>
<b>Sinopsis por capítulo.</b>	<i>ii</i>
<b>Introducción.</b>	1
<b>Capítulo I. Generalidades.</b>	
I.1 Antecedentes históricos.	4
I.2 Propiedades Físicas y Química del cloro.	7
I.3 Procesos de Fabricación.	14
I.3.1 Celdas con cátodo de mercurio.	15
I.3.2 Celdas de diafragma.	18
I.3.3 Celdas de membrana.	20
I.4 Usos frecuentes del cloro.	25
I.5 Producción de cloro.	31
I.5.1 Producción de sal nacional e internacional.	31
I.5.2 Producción nacional e internacional de cloro.	34
I.6 Efectos tóxicos del cloro.	38
I.7 Accidentes con cloro vía carretera.	42
Referencias.	46

---

---

---

**Capítulo II. Legislación.**

II.1 Nacional.	49
II.2 Internacional	57
Referencias.	58

**Capítulo III. Modelos de dispersión atmosférica.**

III.1 Justificación de la modelación.	59
III.2 Clasificación de los modelos matemáticos.	61
III.3 Modelo matemático elegido.	66
III.3.1 Descripción del modelo matemático elegido.	66
III.4 Parámetros de modelación.	68
III.5 Paquetes comerciales para modelar dispersión de gases.	73
III.5.1 Diferencia entre los paquetes comerciales Aloha y Archie.	73
III.5.2 Selección del paquete comercial.	75
III.5.3 Limitaciones del paquete comercial.	76
Referencias.	77

**Capítulo IV. Selección de sitios y escenarios.** 79

IV.1 Sitios para la modelación.	79
IV.2 Escenarios de liberación.	82
IV.3 Receptores.	86
Referencias.	87

**Capítulo V. Resultados y análisis de la modelación.** 88**Capítulo VI. Aportaciones.** 95**Capítulo VII. Conclusiones.** 97

---

---

**Anexos.**

A.	Factores de conversión.	100
B.	Productos que se obtienen con cloro.	102
C.	Hoja de datos de seguridad para el transporte de cloro	103
D.	Mapa de rutas por donde transitan sustancias peligrosas.	106
E.	Especificación SCT 331 (MC-331).	107
F.	Muestra de datos que aporta el paquete comercial ALOHA.	109
G.	Guía 124 del "North American Emergency Response Guidebook".	110
H.	Fragmento del documento del "MANUAL DEL CLORO". Enero 2004. Adaptación de "The Chlorine Manual – Sixth Edition. January 1997", hecha por CLOROSUR con la autorización de The Chlorine Institute, Inc.	112

<b>Índice de Tabla.</b>	113
-------------------------	-----

<b>Índice de Figuras.</b>	114
---------------------------	-----

<b>Índice de Gráficas.</b>	115
----------------------------	-----

<b>Índice de Mapas.</b>	115
-------------------------	-----

<b>Acrónimos.</b>	116
-------------------	-----

<b>Glosario.</b>	117
------------------	-----

---

---

---

## Objetivos:

### *General:*

Inferir las circunstancias posibles que originan un incidente, para señalar precauciones y respuestas inmediatas en caso de emergencia en el traslado de cloro en autotanques vía carretera; por medio de la interpretación de las normas vigentes nacionales e internacionales, así como del empleo de un programa de dispersión (ALOHA) para hacer simulaciones en condiciones críticas extremas y frecuentes.

### *Particulares:*

- Revisión bibliográfica, hemerográfica y electrónica sobre las normas, estándares, lineamientos, mapas carreteros, así como los climáticos para el transporte en carretera de gas cloro en autotanques que existen en México.
- Revisión de la reglamentación internacional usada en instancias gubernamentales como es DOT (Departamento de transportación en Estados Unidos)
- Investigación de los incidentes ocurridos en México durante el transporte de gas cloro en autotanques.
- Análisis de la ruta carretera, para el transporte de cloro en autotanques, entre Pajaritos, Ver. (localización de una de las plantas más importantes de cloro ) y San Martín, Pue. (ubicación de una de las plantas demandantes de cloro para la fabricación de policloruro de vinilo).
- Interpretación de los resultados obtenidos en un modelo de dispersión; aclarando que sólo es una herramienta para establecer estrategias que ayudan a modelar siniestros.
- Análisis de las estrategias de seguridad consideradas en el transporte mexicano e internacional de gas cloro en autotanques.
- Análisis de las respuestas posibles que deben aplicarse en un siniestro por fuga, derrame o volcadura.

**Alcances:** El presente trabajo sólo abarca el manejo, seguridad, fugas y derrames del cloro durante su transporte vía carretera en autotanques.

---

---

## **Sinopsis por capítulo.**

La respuesta y atención a incidentes por fuga, derrame o volcadura ocurridos durante el transporte de cloro en autotankers vía carretera, entre las empresas que lo producen con las que lo requieren, es un problema que se ha incrementado en los últimos años debido a su creciente demanda. Por lo que para proponer soluciones en el presente trabajo, es necesario conocer la normatividad correspondiente, así como la modelación atmosférica que represente el fenómeno de dispersión en los tramos que tienen las mayores complicaciones climatológicas, topográficas, demográficas y de tránsito de sustancias peligrosas.

Estas propuestas se explican a lo largo de la tesis de acuerdo con la sinopsis de cada capítulo que se menciona a continuación :

Cap. I. Para comprender la importancias del cloro En este capítulo se presentan las generalidades sobre el descubrimiento, usos más comunes, fabricación, propiedades físicas y químicas del gas cloro; así como su producción nacional e internacional. Otros aspectos que se incluyen son los efectos tóxicos y los accidentes reportados hasta el año 2000 durante el transporte de dicho gas en autotankers vía carretera en México. Todo lo anterior es para conocer un panorama general de la importancia del cloro.

Cap. II. Para saber que aspectos legales existen y cuales se deben considerar, se menciona la legislación nacional e internacional que aplica en México para las actividades de transporte de cloro emitidas por: Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA), Ley Orgánica de la Administración Pública Federal, Ley de Metrología y Normalización, Ley de Comercio Exterior, Reglamento de la Secretaría del trabajo y Previsión, Reglamento para el

---

---

Transporte Terrestre de Materiales y Residuos Peligrosos, Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y Ley General de Protección civil. Cabe mencionar que se consideran los códigos de regulaciones federales internacionales (40 CFR 117.21, 40 CFR 302.6 y 40 CFR 355.40 y KAR 28-65-3) que describen los requisitos para la notificación de descargas de mezclas o soluciones que contengan sustancias peligrosas al medio ambiente por lo que influyen en las normas mexicanas. Con todo lo anterior se podrá identificar lo que se ha documentado oficialmente en el país para comparar con las normas internacionales.

Cap. III. En éste se da la justificación de la modelación para la dispersión del gas cloro en el medio ambiente, cuando existe fuga o derrame durante un incidente en carretera. También se muestran los modelos matemáticos existentes y se explica en qué consiste el modelo elegido. Por otra parte, se mencionan los parámetros atmosféricos del receptor y del emisor que intervienen en el modelo de dispersión; así como las características de los paquetes comerciales que aplican el modelo matemático elegido, sus limitaciones y la selección del modelo más adecuado, que para el presente trabajo es ALOHA. Cabe mencionar que es necesaria la normatividad del cap. II y las características del cloro mencionadas en el cap. I, esto es debido a que es información necesaria para entender modelo matemático de usado.

Cap. IV. En éste se explica y se justifica la selección de los sitios y escenarios en que se puede dar una liberación por fuga o derrame de cloro, mostrando mapas carreteros por los que transita el cloro y la relación que tiene con el cap. III, específicamente en el área de Veracruz y Puebla. Además se muestran las dimensiones típicas de los autotanques; con lo que se completa la información para manejar y entender los datos usados y obtenidos durante la modelación.

---

---

Cap. V. Una vez desarrollado los anteriores capítulos, se muestran en éste los resultados obtenidos de la distancia máxima donde se difunde el cloro, tiempo de liberación, flujo liberado, concentraciones fuera y dentro de las edificaciones, así como la cantidad total liberada de cloro en el sitio. Todo lo anterior en función al tamaño de la fuga y del lugar en que se simuló (Coatzacoalcos, Orizaba, Córdoba y Puebla), tanto en condiciones críticas como frecuentes; al igual que se describe un análisis de los resultados, para compararlos con los presentados en la hoja de transporte y en la guía 124, ambas para cloro. Una vez hecho esto se compara con las concentraciones de riesgo y sus consecuencias para tomar medidas especificar los posibles daños a la salud de la población.

Cap. VI. Con base en los resultados de la modelación de dispersión de gases, en la investigación bibliográfica de los capítulos I al IV, en la hoja de seguridad, en la guía 124 y la información de toxicidad del cloro se proponen estrategias para prevenir o asistir desastres o incidentes cuando se transporta cloro en autotankers vía carretera. Éstas se dan para puntos geográficos claves ubicados en Puebla, Orizaba, Córdoba y Coatzacoalcos, en los que se puede monitorear la trayectoria de las unidades, las zonas de riesgo, las concentraciones y radios de afectación; así como la información que debe tener la gente que vive en zonas de riesgo en caso de un incidente por la dispersión del cloro.

Cap. VII. Las conclusiones que se presentan abarcan: el uso e importancia del cloro como materia prima para la elaboración de muchos productos comerciales, los riesgos a la salud, propiedades físicas y químicas, la influencia de la legislación en el transporte, así como sus aportaciones para el control y prevención de accidentes, la comunicación de riesgos durante un incidente por fuga o derrame, análisis del modelo matemático empleado, limitaciones e interpretaciones de los resultados obtenidos con el paquete comercial de dispersión de gases (ALOHA), así como el cumplimiento de los objetivos de la presente Tesis.

---

---

## Introducción.

Considerando que en México no se han sabido aplicar correctamente los lineamientos básicos para el transporte de gas cloro en las empresas fleteras mexicanas; es necesario corregir dicha situación, analizando las normas vigentes para el transporte de éste gas. Apoyándose en los acuerdos internacionales emitidos por la Organización de las Naciones Unidas, en un reglamento modelo que sirva de marco para todas las formas de transporte y en las normas específicas obligatorias para carreteras, (donde se aplica también el Reglamento para Mercancías Peligrosas). Se analizará un incidente en un tramo de carretera, donde se identificarán las causas que lo originaron; la normatividad que debería aplicarse, así como las prevenciones que se deberían considerar para evitar dicho siniestro.

Una de las aportaciones de los acuerdos normativos internacionales es "El libro naranja"<sup>1</sup>, que provee información de: definición de clases (dadas por las características de explosividad, reactividad, corrosividad, etc.), principales mercancías peligrosas, condiciones de transporte, riesgos y precauciones; otro es GHS <sup>2</sup>, que aporta información para clasificar y etiquetar adecuadamente las sustancias químicas peligrosas, usando un sistema basado en pictogramas universalmente legibles, que

---

1. North American Emergency Response Guidebook.

2. Sistema Global Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos.

permiten la identificación de la sustancia transportada, generando una comunicación de riesgos y peligros reconocida en varios acuerdos internacionales.<sup>3</sup>

Existen dependencias que involucran elementos esenciales para prevenir riesgos y accidentes y llevar a cabo su análisis tales como las normas y estándares mexicanos, emitidos por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes<sup>4</sup>, la Ley de Auto transporte Federal, la Ley del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente y el Reglamento de Transporte de Materiales y Residuos Peligrosos, con base en lo emitido por la ONU.

La falta de atención a las leyes anteriores, genera que no se tenga una adecuada cultura de prevención. Cabe mencionar que aunque El SETIQ (Sistema de Emergencias en Transporte para la Industria Química) y SENACOM (Servicio Meteorológico Nacional y del Centro Nacional de Comunicaciones), entre otros responden siniestros por derrame, volcadura, incendio, choque y explosión, y que tienen a su alcance una capacitación para sus elementos; no sucede así con los bomberos ni con el personal que atiende siniestros en forma inmediata, por lo que no se responde correctamente, a estos eventos.

Los accidentes ocurridos en México hacen notar que es necesario que exista una mayor continuidad en el estudio, aplicación de normas, estándares así como capacitación para atender volcaduras, derrames y fugas en el transporte de gas cloro<sup>5</sup>, debido a que es un gas tóxico; con un límite de exposición de 0.5 ppm, un  $L_D$  (dosis letal) de 137 ppm, irritante severo para las vías respiratorias, ojos, piel o tracto digestivo; causando graves quemaduras químicas. Además de lo anterior hay que tomar en cuenta que muchos metales arden en presencia de cloro a altas temperaturas (ver cap. I, p.9); reacciona con el agua para formar ácido clorhídrico y una vez fugado, se dispersa fácilmente en la atmósfera, generando daños irreversibles al ambiente y al ser humano.

El volumen promedio de producción (utilizado como materia prima para la industria de plástico, de solventes clorados, de papel, tratamientos de aguas, etc.),

---

3. Convención de Sustancias Químicas de la OTI 1990 (No. 170).

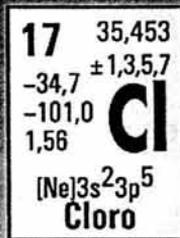
4. NOM-010-SCT2-2000, NOM-018-SCT2-2000,

5. Considerado de clase 2, división 3.

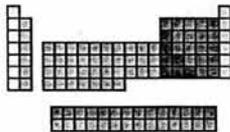
obliga a analizar el trayecto entre los lugares que lo producen con los de consumo, porque los peligros identificados pueden convertirse en incidentes durante el transporte de gas cloro en autotanques por carretera, por ello deben ser evaluados con estrategias surgidas de las investigaciones previas del siniestro para corregir y prevenir las causas que lo generan con la consideración de las normas y estándares establecidos.

El presente trabajo inferirá en un siniestro por fuga, derrame y volcadura, las posibles causas que lo originaron y las prevenciones que se deben tener para disminuir el riesgo a futuro, apoyándose en un modelo matemático de dispersión, que se usa para describir sucesos reales, proporcionando información del fenómeno; cabe aclarar que sólo es una herramienta para establecer estrategias que ayuden a modelar siniestros, tomando en cuenta que se hará en una ruta federal entre las zonas industriales ubicadas en Pajaritos, Veracruz y San Martín Texmelucan, Puebla, con base en una revisión bibliográfica, hemerográfica y electrónica sobre normas, estándares, lineamientos, mapas carreteros y climáticos para el transporte por carretera de gas cloro en autotanques que existen en México, así como las empleadas en el extranjero.

# I. Generalidades.



J. Gay-Lussac



---

## I. Generalidades.

### I.1 Antecedentes Históricos.

En 1774, Carl Wilhelm Von Scheele<sup>6</sup> mezcló ácido muriático (hoy día conocido como ácido clorhídrico)<sup>7</sup> con pirolusita mineral (cloruro de manganeso) , y se produjo una masa oscura ( $MnCl_3$ ) que al calentarse desprendió un gas amarillo verdoso al que llamo "ácido muriático desflogisticado", primer nombre del gas cloro, de fuerte olor sofocante, semejante al observado en el agua regia<sup>8</sup> caliente, a la que ya Helmont había notado un desprendimiento de gas amarillo verdoso[1,2].

Posteriormente en 1810 Humphry Davy, con base en una serie de experimentos, afirmó: "*... en éste informe he incluido una serie de hechos que me inclinan a creer que la sustancia incorrectamente llamada ácido oximuriático, no ha sido todavía descompuesta; es de una naturaleza peculiar, elemental, hasta donde nuestro conocimiento llega...*", y concluye "*he juzgado correcto sugerir un nombre basado en una de sus propiedades más características, su color llamándolo cloro*"<sup>9</sup> "[3].

Las investigaciones con el gas cloro continuaron con Gay-Lussac y Thenard hasta que confirmaron que el cloro era un elemento químico [4].

---

6.Nacido el 9 de diciembre de 1742, en Stralsund, Germany. Muere el 21 de mayo 1786.

7.Descubierto por Johan Rudolf Glauber en 1669 y Andreas Libau fue el primero en describir su preparación en 1597.

8.Mezcla de ácido clorhídrico con ácido nítrico.

9.del vocablo griego chlorós (χλωρός), que significa verde.

Una vez identificado dicho elemento se empleó como materia prima a fines del siglo XIX; fabricándose por el método de Weldon, que efectuaba la oxidación del ácido clorhídrico con el mismo agente oxidante de Scheele (el dióxido de manganeso) debido a que se regeneraba al final del proceso, patentándose posteriormente en 1851 por Charles Watt en Gran Bretaña [5].

Otra forma de producir cloro fue a partir de ácido clorhídrico y oxígeno a 400°C, con cloruro de cobre impregnado en piedra pómez como catalizador en 1868 por Henry Deacon. Después surgió la primera producción comercial de cloro en 1888 utilizando las celdas electrolíticas modernas que se clasifican como de diafragma y de mercurio. La optimización a las celdas comenzó en 1970, con el cambio de los ánodos de grafito, en el de amalgama por los ánodos del titanio. Lo cual ha mejorado la productividad y han sido aceptados por no dañar al ambiente. Actualmente existen celdas de membrana que tienen la ventaja sobre las de mercurio y diafragma; ya que no utilizan ningún material de separación contaminante[1,6].

Desde el descubrimiento del cloro su producción y demanda han generado avances en las investigaciones y con ello mejoras en su fabricación para posteriormente utilizarse en procesos de obtención de productos tales como plásticos clorados, desinfectantes, el arma química usada en la primer guerra mundial, etc. Convirtiéndose en uno de los pilares del desarrollo económico e industrial del siglo XX. Era tal la importancia del consumo de cloro en un país que se considero como parte del progreso del Producto Nacional Bruto (PNB)[1,5,7].

---

---

---

---

Cabe aclarar que el descubrimiento del cloro no implica que no existiera en la naturaleza, pues hoy día se sabe que es el 17avo. elemento químico aparecido en el universo, antes que el hierro, cobre y zinc hace centenas de millones de años.

Cuanto más se analiza en el microcosmos con los avanzados sistemas analíticos, más se confirma que la naturaleza ha desarrollado procesos químicos con cloro<sup>10</sup>[8]. Muestra de ello, son los océanos que constituyen la mayor reserva de cloro natural; como ión negativo esta contenido en el agua en forma de compuestos organoclorados<sup>11</sup> (1.9 %) y en los mares interiores tales como el mar caspio y el mar muerto[9]. Otra fuente natural son las erupciones volcánicas que emiten a la atmósfera de 0.5 a 11 millones de toneladas de cloro al año, principalmente en forma de ácido clorhídrico. Además constituye cerca de 0.013% de la corteza de tierra ya que existen depósitos naturales con contenido de cloro como son los minerales carnalita ( $MgCl_2 \cdot KCl \cdot 6H_2O$ ) y silvita (KCl) ; también está presente en los fluidos corporales de animales, como ácido clorhídrico en las secreciones del estómago[4,5,9].

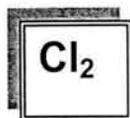
---

---

10.Tal como indica G.W. Gribble, del Departamento de Química de Dartmouth College (Hanover): "se conocen ya más de 2.600 compuestos organohalogenados producidos por la naturaleza, de los que más de 1 000 son organoclorados"[8] .

11.Los compuestos organoclorados son producidos por organismos marinos (esponjas, corales, babosas marinas, tunicados, medusas, etc), algas marinas, plantas, semillas, árboles, hongos, líquenes, algas, bacterias, microbios, e insectos[8].

## I.2 Propiedades Físicas y Químicas del Cloro.



Desde que se descubrió el cloro se han hecho avances en sus investigaciones, con las cuales se ha reunido información de sus propiedades físicas y químicas, que permiten un control de los riesgos que implican su manejo y uso.

Cabe mencionar que para mejor entendimiento de las unidades de medición de las presentes propiedades se incluye factores de conversión en el anexo A, p. 100.

Tabla1. Propiedades Atómicas y moleculares [10,11,16, 18,19].

Masa atómica	35.453 g/mol
Número atómico	17
Masa molecular	70.906 g/mol
Valencia	El cloro forma compuestos con valencia de -1, pero también puede mostrar las siguientes: 1,+2, +3, +4, +5 ó +7

Tabla2. Claves Identificadoras[12].

CAS REGISTRY NUMBER	CAS 7782-50-5
NIOSH/RTECS NUMBER	NIOSH/RTECS FO 2100000
UN/NA NUMBER:	1017
STCC NUMBER	STCC 4904120
DESIGNATIONS	CASWELL NO 179
EPA PESTICIDE CHEMICAL CODE	020501
WISWESSER NOTATION	G2

A temperatura ambiente es un gas verde- amarillento diatómico con un olor picante. Para condensarse se requiere mínimo 35 °C, toma la forma de cristales rómbicos. En estado líquido es de color ámbar transparente y es más pesado que el aire.

### **Propiedades Químicas.**

#### **Flamabilidad.**

El cloro en forma de gas o líquido no es explosivo ni flamable, pero es un oxidante que favorece la combustión; por lo que muchos compuestos orgánicos reaccionan rápidamente con él.

---

---

**Reacciones químicas.**

Como se puede apreciar en la tabla 3, p. 10, las incompatibilidades más comunes con el cloro seco están en función la facilidad para formar productos que generan explosión, incendio o toxicidad como es el caso del: aluminio, arsénico, oro, mercurio, selenio, telurio, estaño y titanio, que a temperatura ambiente producen combustión. No se menciona el caso del acero al carbón ya que la genera cerca de los 251°C. También se observa que en presencia de hidrógeno, amoníaco o hidrocarburos gaseosos puede formar mezclas explosivas; además se hidroliza en presencia de agua, produciendo ácido clorhídrico e hipocloroso, emitiendo un gas tóxico[13].

Por otra parte el  $\text{Cl}_2$  se combina con la mayoría de los elementos, incluyendo al xenón y al nitrógeno, pero no con los gases raros restantes.

Tabla 3. Sustancias incompatibles con cloro.

Productos o familias químicas incompatibles.	Reacción exotérmica o formación de un producto explosivo.	Reacción explosiva.	Inflamación instantánea.	Emisión de gas tóxico.
COMPUESTOS INSATURADOS	√	-	-	-
COMPUESTOS CARBONILOS	√	-	-	-
ÓXIDO DE DIETILO	-	-	√	-
AMONIACO	√	-	-	-
FÓSFORO	-	√	-	-
METANO, PROPANO, BUTANO	√	-	-	-
HIDRÓGENO	√	-	-	-
ÉTER DE PETRÓLEO	√	-	-	-
BENCENO	-	-	-	√
METALES EN POLVO	-	-	√	-
GASOLINA Y PETRÓLEO	-	√	-	-
SILICONAS	√	-	-	-
HIDRAZINAS	√	-	-	-
DIMETILFORMAMIDA	√	-	-	-
ÁCIDOS FUERTES	-	-	-	√

1. Fuente: Pohanish R. "Wiley Guide to Chemical Incompatibilities" 2da. Ed. Edit. Wiley-Interscience. USA 1997 p. 333.-

## Propiedades Físicas.

La tabla 4 muestra las propiedades físicas más comunes, consideradas para cloro puro en condiciones estándares de 0°C y una presión absoluta de 14.69 psi [10, 11, 12, 13, 15, 16].

Tabla 4. Propiedades Físicas comunes.

Calor de fusión	22.8 cal/g
Calor de vaporización	68.7 cal/g
Calor latente de vaporización	123.9 Btu/lb
Capacidad calorífica	8.11 cal/mol°C
Densidad del vapor en aire	1: 2.49
Potencial de ionización	11.48 eV
Presión crítica:	76.05 atm
Presión de vapor saturado	74.040 lb/in <sup>2</sup>
Punto de fusión	-100.98°C
Punto ebullición	-34.05°C.
Temperatura crítica	144 °C
Densidad de líquido en grandes cantidades	13 lb/gal

Las siguientes tablas resumen los datos que dependen de la temperatura, de la presión y del estado físico.

Tabla 5. Densidades a una presión y temperatura dadas.

Densidad Cl <sub>2</sub> líquido (g/ml)	Temperatura (°C)	Presión (atm)
1.5649	-35	0.9949
1.4085	20	6.864
1.47	0	3.65

Tabla 6. Solubilidades.

Solubilidad en agua	Temperatura (°C)
310 ml/100 ml	10
1.46 g/100 ml	0
0.57 g/100 ml	30

Tabla 7. Gravedad específica.

Estado Físico.	Gravedad Específica.	Sustancia de referencia.
Gas	2.485	aire
Líquido	1.467	agua (0-4°C)

Tabla 8. Presión de vapor a una temperatura dada.

Presión de vapor (atm)	Temperatura (°C)
3.67	0
7.74	25
5	10.3
6.31	20

Tabla 9. Viscosidades para una temperatura y estado físico dados.

Estado físico	Viscosidad (cp)	Temperatura (°C)
Gas	0.0125	0
Gas	0.0132	15.6
Líquido	0.3863	0
Líquido	0.3538	15.6

Tabla 10. Índice de refracción.

Estado físico.	Índice de refracción.
Gas	1.0008
Líquido	367

Tabla 11. Presión de licuefacción.

Presión de licuefacción (atm)	Temperatura (°C)
7.86	25
1	-35

### I.3 Procesos de Fabricación.

El cloro se fabricaba anteriormente por los métodos de: Weldon y Deacon Hunter, los cuales consistían en la oxidación del ácido clorhídrico usando como agente oxidante el dióxido de manganeso y la oxidación del HCl con oxígeno respectivamente; Ambos han sido sustituidas actualmente por los métodos electrolíticos<sup>12</sup>, que aplican corriente eléctrica a una solución de sal industrial mezclada con agua de proceso (salmuera)<sup>13</sup> [3, 4].

Actualmente se utilizan tres tipos de celdas: 1)amalgama de mercurio, 2)membrana y 3)diafragma. Por razones ambientales la tendencia actual es la de transformar las plantas productoras para que utilicen tecnología de membrana, ya que se estima que el 70 % de todo el cloro que se produce en el mundo usa celdas de mercurio y las restantes usan las otras. Como dato se sabe que las celdas de diafragma predominan en Estados Unidos, Rusia y China, mientras que el 54 % de las plantas de Europa siguen con electrodos de mercurio al igual que en México; no siendo así en Japón; puesto que emplea sólo de membrana. Debido a ésto, las celdas de mercurio y diafragma sustituyeron a los ánodos de titanio activado por los ánodos de grafito [ 5, 23].

En general, independientemente de la tecnología empleada, el proceso consiste en etapas sucesivas de varias filas de celdas conectadas en serie, de tal manera que la corriente que sale por el cátodo de una de ellas entra en el ánodo de la siguiente; aunque dos filas adyacentes de la celdas pueden compartir un línea de distribución de salmuera y un sistema de recolección para el cloro y el hidrógeno. Cada fila esta equipada con una tubería para sustraer la sosa. El flujo de la salmuera se controla individualmente para cada celda [5, 6].

---

12. Utiliza energía eléctrica para inducir una reacción química no espontánea y genera más del 95% de la producción mundial de cloro.

13. Considerada una sustancia iónica.

Una vez obtenido el producto se pasa al proceso de licuación para lo cual se emplean tres procesos: 1) enfriamiento a  $-40^{\circ}\text{C}$ , 2) compresión a 12 atm y 3) combinación de ambos efectos. Lo más frecuente es refrigerar con agua el gas comprimido que esta a 6 ó 7 atm; o comprimir sólo a 1.5 ó 2 atm y refrigerar el gas comprimido con amoníaco líquido a  $-30^{\circ}\text{C}$ . Los gases incondensables se lavan con sosa para recuperar el cloro residual, como hipoclorito de sodio [6, 20].

A continuación se describe el funcionamiento de las celdas electrolíticas:

### **I.3.1. Celdas con cátodo de mercurio.**

Por el fondo de unas cubas a y b (representadas en la figura 1, p.17), circula una capa de mercurio conectada al polo negativo de un generador de corriente y por la parte superior van los ánodos de grafito, antes de vertir la salmuera (identificada con el número 1 en la figura 1, p.17) se pasa por un sistema de filtros de arena; después se le agrega sosa cáustica al 50% y carbonato de sodio, para eliminar las impurezas que puede traer la sal como son: calcio, magnesio, fierro y otros metales pesados, ya que estos iones dan amalgamas inestables descomponiéndose con el agua para producir hidróxidos que bloquean la superficie del mercurio y eleva la densidad de corriente. Una vez que inicia la electrólisis el sodio se amalgama como  $\text{Hg}_4\text{Na}$  y sale disuelto en la corriente de mercurio, que se descompone al pasar a una segunda cámara (que contiene agua), la amalgama previamente formada se desprende del sodio, que reacciona con el agua y vuelve a ser un ion, liberando hidrógeno, que ha su vez produce un número equivalente de iones  $\text{OH}^-$  para formar la lejía ( $\text{NaOH}$  al 50%),  $\text{H}_2$  y Hg. El cloro se recolecta húmedo a  $80^{\circ}\text{C}$ ; posteriormente se seca con ácido sulfúrico

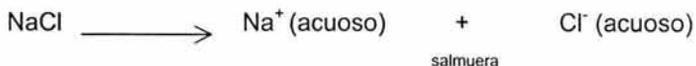
---

para comprimirlo a  $2.5 \text{ kg/cm}^2$  con una temperatura de enfriamiento de  $-20^\circ\text{C}$ .

Todo esto se puede observar en el diagrama de bloques de proceso de la figura 3, p. 22 [7, 23]

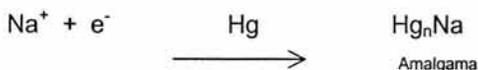
Con respecto a los productos de reacción; el cloro líquido obtenido es de alta pureza. Para el caso del hidrógeno se obtiene con una pureza del 99,99%, pero está saturado de mercurio y puede llevar algo de NaOH es por ello se purifica mediante un proceso de refrigeración y lavado. El 100% del hidrógeno producido se desmercuriza, y posteriormente el 85% del mismo es utilizado como combustible en la planta. Cabe aclarar que el cátodo es el de mercurio<sup>14</sup> y el ánodo es de grafito; favoreciendo la siguiente reacción:[7]

Disolución de la sal:



Electrólisis de la salmuera:

Reacción catódica.



Reacción anódica.

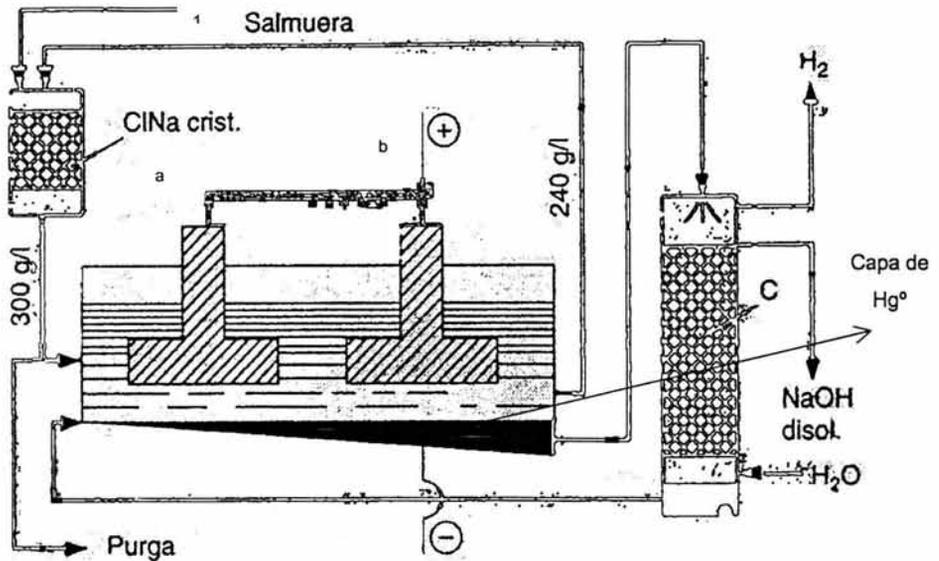


Descomposición de la amalgama:



14. No acepta que se generen depósitos de hidrógeno en él.

Fig. 1 Esquema de una celda con cátodo de mercurio.



El mercurio puro se recoge en el fondo de la cámara de separación y se bombea de nuevo a la celda de electrólisis. Las celdas de mercurio requieren sal sólida para restaurar la salmuera de recirculación que se ha consumido. Esta es una desventaja, ya que la sal seca cuesta de 4 a 8 veces más que la salmuera.

Las emisiones contaminantes de mercurio regularmente son del 0.1 % sobre la producción que se genera, pero se han ido reduciendo de 26.60 gramos por la tonelada métrica en 1977 a 1.25 g/ton métrica en el 2000, pretendiéndose disminuir más al colocarse ánodos dimensionalmente estables construidos de titanio, recubiertos de metales nobles, que proporcionan una economía en el consumo energético, que permiten obtener un cloro más puro, sin contaminación de CO<sub>2</sub> y otras materias orgánicas cloradas. Permitiendo que los efluentes

(líquidos y gaseosos) sean desmercurizados más fácilmente por mantener las emisiones de mercurio lo más bajas posibles, pues es un material tóxico a bajas concentraciones. Ello permite operar a una baja inversión, al permitir trabajar con mayores densidades de corriente [7, 21].

### **I.3.2 Celdas de diafragma.**

Para su funcionamiento se emplean de 50 a 100 celdas formando una batería; posteriormente la separación de los compartimentos anódico<sup>15</sup> y catódico<sup>16</sup> se hace con una lámina porosa (como se ilustra en la figura 2, p. 19), llamada diafragma hecha de una o varias capas de fibra de asbesto mezclada con un aditivo de teflón<sup>17</sup>,

La eficiencia de la descomposición de la salmuera en las celdas varía entre un 50 y un 60%, correspondiente a la relación entre la sal descompuesta y la sal total; Tal porcentaje es obtenido por: el voltaje de descomposición se encuentra entre 3.5 y 5 V, las variaciones a causa de la densidad de corriente deseada, la temperatura de la celda (que se mantiene entre los 80 y 90 °C) y la caída de potencial que se produce debido a la energía eléctrica que se convierte en calorífica con un valor de 5 V aproximadamente.

En un principio se emplearon como ánodos electrodos de grafito en forma de placas fijadas sobre una base de plomo recubierta de alquitrán y como cátodos parrillas de hierro o acero. La salmuera entra precalentada a 60 °C por la parte superior, la corriente penetra por el ánodo y sale por el cátodo, pero los electrones lo hacen en forma contraria. Una vez funcionando el sistema, los iones cloruro

---

15. Hechos con electrodos de titanio.

16. Hechos con lecho de amianto depositado sobre lana de acero.

17. También conocido como politetrafluoroetileno.

ceden su carga negativa y se transforman en cloro gaseoso, que sale por la parte superior en una tubería de cerámica, los iones hidrógeno adquieren un electrón en el cátodo y forman la molécula de hidrógeno que sale por la parte superior de la cámara del cátodo a través de una tubería de hierro aislada.

La reacción de la celda se describe de la siguiente manera:

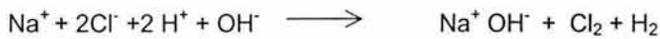
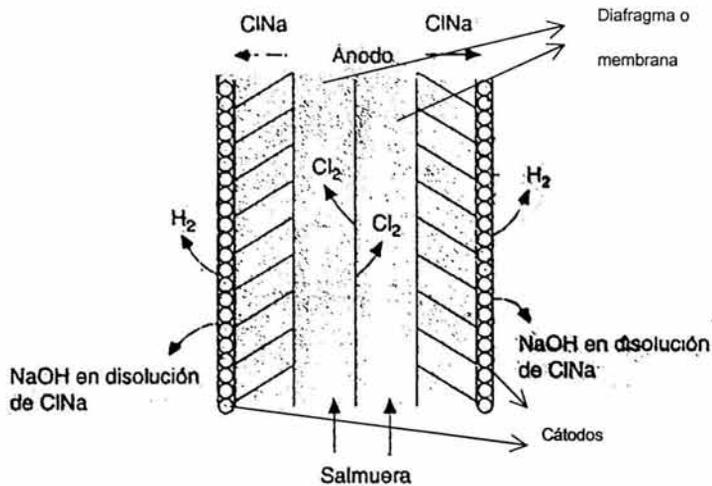


Fig. 2 Esquema representativo de una celda electrolítica tanto de diafragma como de membrana.



Una de las funciones el diafragma es evitar que se difunda NaOH hacia el ánodo o que se acumule cerca del cátodo; además de permitir el paso lento de la solución y de facilitar el paso libre de los iones de sodio. Esto es logrado ya que obliga al NaOH a que escurra hacia afuera por la parte inferior de la cámara del cátodo, a través de una salida ajustable, de tal manera que se pueda controlar el nivel de sosa en la cámara<sup>18</sup>. [20, 23]

Aunque dichas celdas consumen menos energía que las de mercurio, se sabe que para obtener una solución de hidróxido sódico comercial (al 50 %) es necesario evaporar el agua y precipitar la sal residual para alcanzar el grado de pureza necesario, como consecuencia, éste eleva los costos de fabricación. Por otra parte tienen el inconveniente ecológico de utilizar amianto<sup>19</sup> para la construcción de los diafragmas. La fig. 4, p. 23 esquematiza las operaciones unitarias que sigue el proceso [21, 22].

### I.3.3 Celdas de membrana.

En este caso el diafragma se reemplaza por una membrana (como se muestra en la figura 2, p.19) fabricada a base de polímeros perfluorosulfónicos , que sólo permiten el paso a los cationes  $\text{Na}^+$  y  $\text{H}^+$ , impidiendo el paso a los aniones  $\text{Cl}^-$  y  $\text{OH}^-$ . Con lo que se pueden obtener disoluciones de hidróxido sódico de concentración superior al 30 %. Dichas disoluciones son de elevada pureza, pero requieren un mayor consumo de energía para evaporar el agua y así alcanzar una concentración de 50 % de  $\text{NaOH}$ <sup>20</sup>. Para visualizar el camino que sigue el proceso, ver la fig. 5, p. 24 que corresponde al diagrama de bloques.

---

---

18. Es común que ocurra en celdas con lejía instalada en la cámara.

19. Sinónimo del asbesto.

20. Concentración comercial.

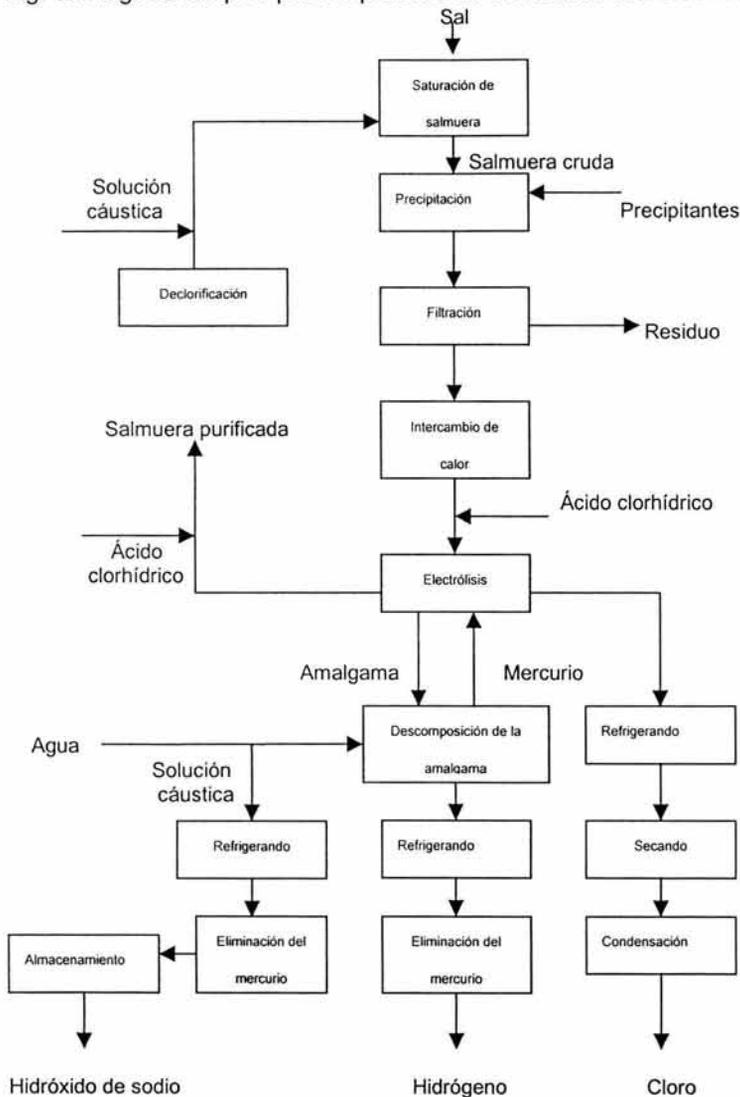
Las celdas de membrana tienen ventaja sobre las de mercurio y de diafragma porque no utilizan ningún material contaminante para la separación de los productos electrolíticos. Sin embargo, como se observa en la tabla 12 de esta página, al comparar los beneficios de los tres tipos de celdas, el cambio de tecnología no se justificaría ya que las celdas de mercurio generan disminución en costos y riesgos ambientales debido a los avances en investigación al respecto [6, 22, 24].

Tabla 12 Datos de las celdas electrolíticas de disoluciones acuosas de NaCl.

Datos	Amalgama Hg	Diafragma	Membrana
Voltaje (V)	4.4	3.45	3.5
Densidad de corriente (A/cm <sup>2</sup> )	1.0	0.2	0.45
Rendimiento de la corriente para el % de cloro	97	96	93
Consumo de energía (kwh./ TON de NaOH)			
a)Electrólisis	3150	2550	2700
b)Electrólisis+ Evaporación (50%)	3150	3260	2920
% Pureza del Cl <sub>2</sub>	99.2	98	99.3
O <sub>2</sub> en el Cl <sub>2</sub>	0.1	1-2	0.3
Capacidad típica (TON NaOH/año)	5000	1000	100

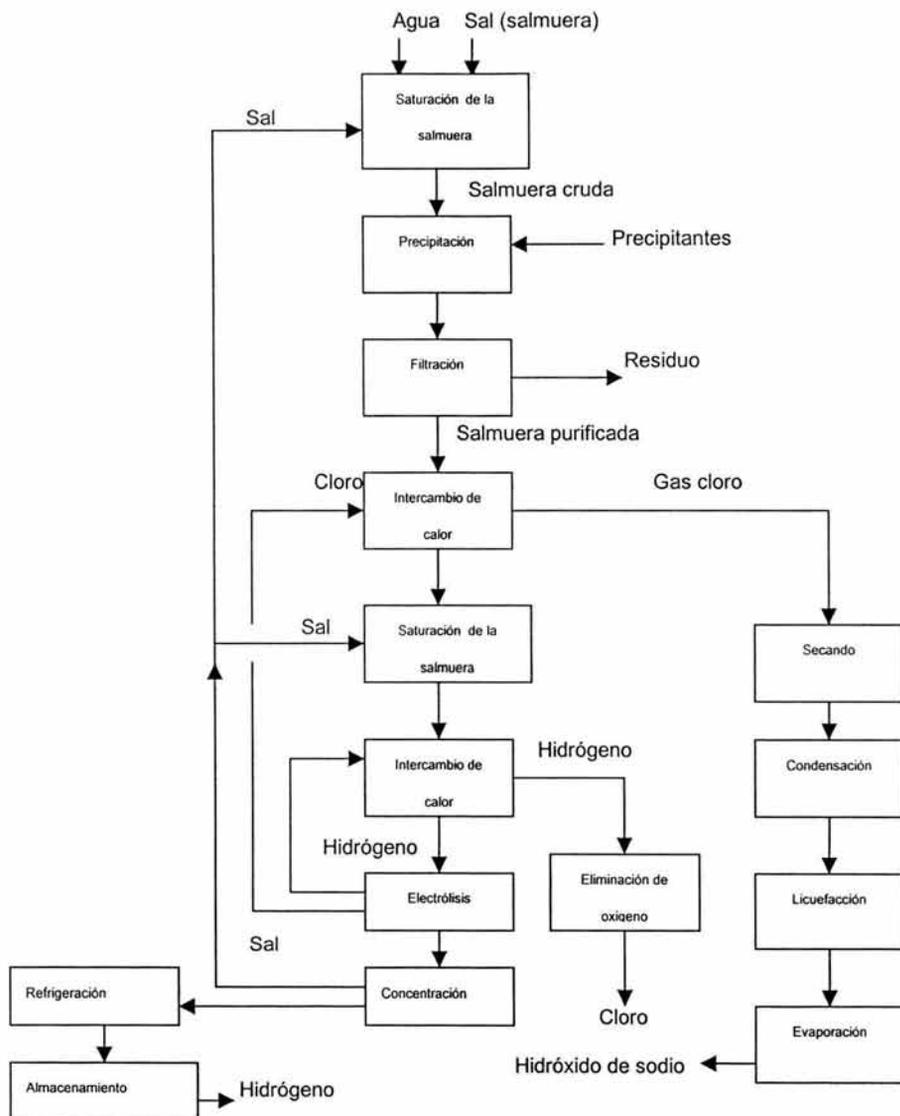
Fuente: Ángel Vian Ortuño, Introd. a la Química Industrial, edit. Reverté S.A., 2da. ed. España 1994, págs. 128 a la 145.

Fig. 3. Diag. de bloques para el proceso de electrólisis con electrodo de Mercurio.



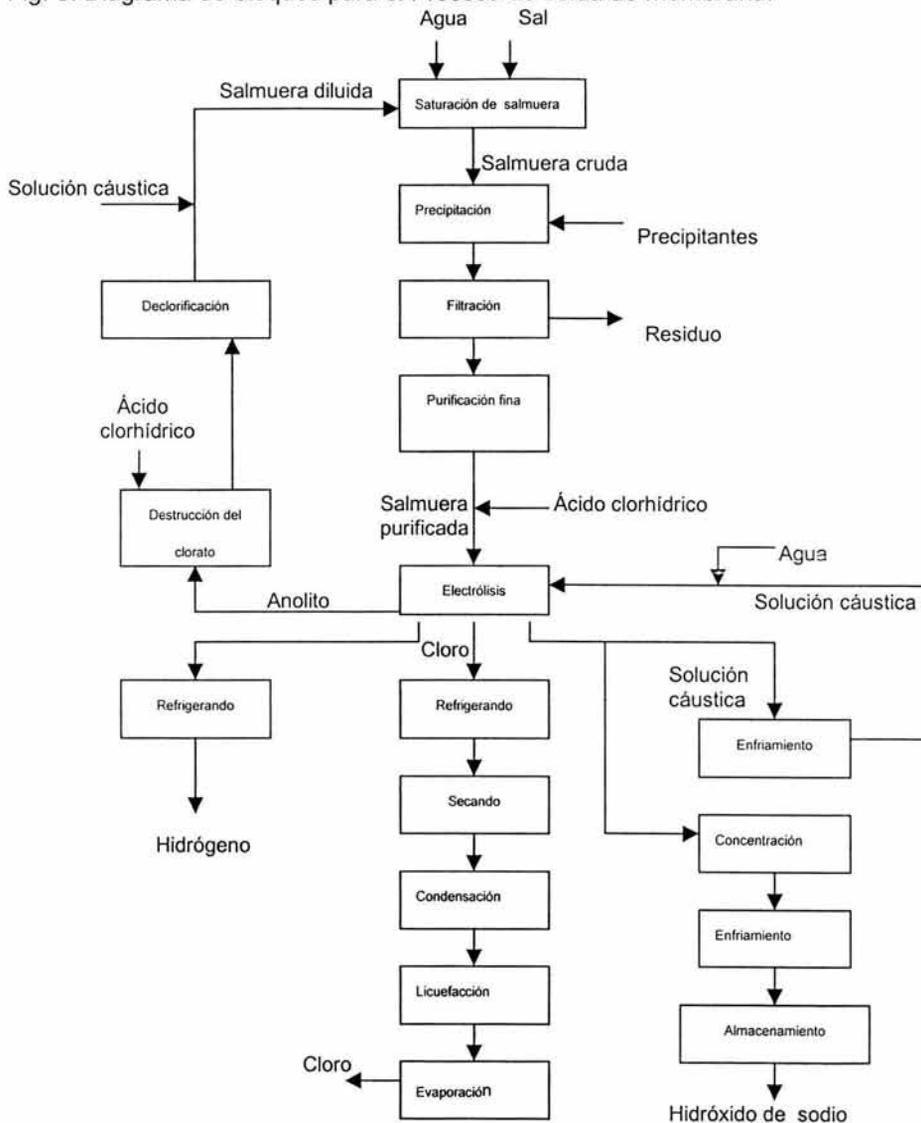
Fuente: Chlorine Principals & Industrial Practice, edited by Peater Schittingger, Publisher by Wilye-VCH (ISBN 3-527-29851-7) PPG Industries, Inc. 1991.

Fig. 4. Diagrama de bloques para el Proceso de celda de Diafragma.



Fuente: Chlorine Principals & Industrial Practice, edited by Peater Schittingger, Publisher by Wilye-VCH (ISBN 3-527-29851-7) PPG Industries, Inc. 1991.

Fig. 5. Diagrama de bloques para el Proceso de celda de membrana.

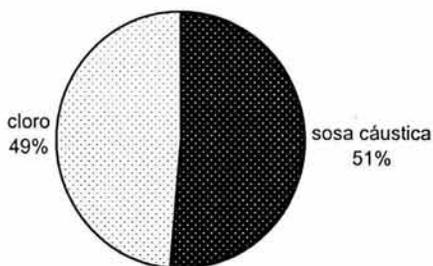


Fuente: Chlorine Principals & Industrial Practice, edited by Peater Schittingger, Publisher by Wilye-VCH (ISBN 3-527-29851-7) PPG Industries, Inc. 1991.

## 1.4 Usos frecuentes del cloro.

La gráfica 1 muestra los porcentajes de la demanda mundial de sosa, que en millones de toneladas es del 51% y para cloro 49%. Éste último se emplea para fabricar más de 10,000 productos diferentes; también interviene en la generación del 95 % de todos los productos de consumo cotidiano, ya que éste es un beneficio en la fabricación de diferentes productos comerciales y materias primas (como se puede apreciar en la gráfica 2, p. 29). Entre los que se pueden crear están los fitosanitarios que favorecen el aumento en la producción de las cosechas y control bacteriológico; en los procesos de molienda y almacenamiento de cereales. Se usa también en algunos insecticidas, desinfectantes y medicamentos para controlar o erradicar algunas enfermedades endémicas<sup>21</sup>[4, 28].

Gráfica 1. Demanda Global de Cloro y Sosa Cáustica.



Fuente: . World chlorine council. [www.worldchlorine.com](http://www.worldchlorine.com)

21. Como es cólera, malaria, tífus.

Otras aplicaciones comunes son en:

- La elaboración de Medicamentos:

Se ha observado que más del 80 % de todos los medicamentos y vitaminas sintéticas, se elaboran con cloro; además de formar parte indispensable de algunos de ellos [5, 27, 28].

- Desinfectantes:

Se emplea como un desinfectante barato y fiable en albercas, agua potable, en tratamiento de aguas residuales e industriales. Esto se lleva a cabo, por lo regular, de la siguiente manera [25, 28]:

El cloro gaseoso se hidroliza de manera casi completa para formar ácido hipocloroso (HClO):



El ácido hipocloroso se disocia en iones hidrógeno (H<sup>+</sup>) e hipoclorito (ClO<sup>-</sup>), según la reacción reversible siguiente:



Tales reacciones provocan la disminución del pH del agua a causa de los iones hidrógeno que se producen, por lo que el pH del agua es un factor muy importante que sirve para determinar el grado con el que el ácido hipocloroso se disocia para producir hipoclorito. El ácido hipocloroso, es un agente desinfectante primario, que predomina si el pH es menor a 7.5, es 80 veces más eficaz que el ión hipoclorito, el cual predomina si el pH es mayor de 7.5. El contenido de HClO y ClO<sup>-</sup> es describe como el cloro libre disponible y cuando se adiciona al agua, el cloro oxida a la materia orgánica e inorgánica por igual [28, 23].

□ Plásticos:

Se utiliza para fabricar PVC, PVDC, entre otros.

□ Catalizadores:

Para la obtención de cadenas de polietileno (HDPE, LLDPE) y polipropileno (PP) de alta y baja densidad.

□ Productos intermedios:

El cloro es un compuesto intermediario en los procesos de fabricación de poliuretanos<sup>22</sup>, policarbonatos<sup>23</sup>, carboximetilcelulosa<sup>24</sup>, siliconas<sup>25</sup>, teflón, etc.

---

22. PU para colchones.

23. (PC para CDs, ventanillas de avión y en muchos utensilios de cocina resistentes al calor)

24. (CMC utilizado como absorbente en servilletas)

25. obturantes muy resistentes, cauchos, lubricantes)

□ Decoloración:

Se emplea en la industria papelera y del algodón, para el blanqueo de la pasta de papel y de la celulosa para fibras artificiales

□ Metalurgia:

Se utiliza en metalurgia para fabricar titanio, aluminio, magnesio, níquel, acero inoxidable y el silicio en forma pura que se utiliza para fabricar los chips electrónicos que hacen funcionar el Internet; además interviene en la preparación de cloruros metálicos como: aluminio, plata, boro, cobre, manganeso, plomo, platino, estaño, zinc y zirconio, elaboración de tetracloruro de silicio, etc.

El cloro también interviene en la fabricación de: Tricloroetano, tricloroetileno, percloroetileno, tetracloruro de carbono, cloroformo, clorobenceno, clorofenoles, oxiclорuros, freones, clorometanos, etilenglicoles tricloruros, oxiclорuros y pentacloruro de fósforo. Además interviene en la síntesis de ácido clorhídrico, en la obtención de hipocloritos de sodio, calcio y de glicerina sintética, cloración de parafinas etc. [27, 28].

En la mayor parte del mundo, el cloro se utiliza principalmente para la fabricación de productos de larga vida útil. La gráfica 2, p.29 muestra los porcentajes de productos más comerciales obtenidos a través de  $\text{Cl}_2$ ; algunos otros son el monómero de cloruro de vinilo VCM<sup>26</sup> 34%, producción de dióxido de titanio<sup>27</sup>, blanqueo de celulosa en la industria de pulpa y papel 27%, producción de agroquímicos, tratamiento y potabilización de agua, para la obtención de sílice ultrapuro<sup>28</sup>, como componente

---

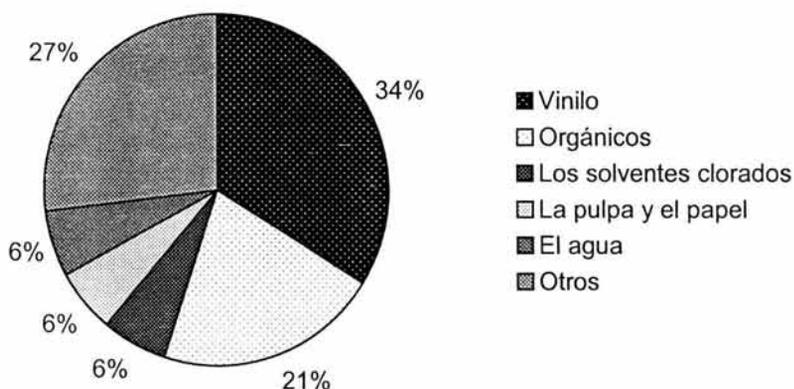
26. Materia prima para la producción de PVC.

27. Materia prima para las pinturas de color blanco.

28. 99,9999 %.

en las células solares y de microchips para las computadoras<sup>29</sup>.

Gráfica 2. Porcentajes de usos del cloro.



Fuente: World chlorine council. [www.worldchlorine.com](http://www.worldchlorine.com)

Cabe mencionar que muchos de los productos que se obtienen con ayuda del cloro no lo contienen, entre éstos se encuentran: los poliuretanos, policarbonatos y resinas epóxicas. En el caso de los poliuretanos se usan a menudo para construir asientos, salpicaderas, paneles de puertas y colchones de espuma [4, 6].

Actualmente el 85 % de todos los fármacos lo contienen o son elaborados con ayuda de la química del cloro, incluso aquellos que tratan, SIDA, cáncer, y malaria. El cloro también es esencial para producir una amplia gama de equipo médico para radiografía, filmes de la tubería médica y las bolsas de sangre.

---

29. Se precisa de ácido clorhídrico e industria química en general.

□ Transporte.

Debido al gran campo de aplicación del cloro se requiere transportarlo en cilindros de 68 kg, Contenedores de 907 kg y Carrotaques de 80 toneladas a diferentes partes del territorio mexicano por lo que se debe contar con información que reglamente su manejo [3, 5, 26].

Con base en la producción de materias primas que se pueden obtener con cloro; se puede decir, que dicho gas es la espina dorsal de la química de muchos productos de uso común, ya que muchos aspectos de la vida moderna que se consideran normales no serían posibles; como lo muestra el anexo B, p. 102.

Por la importancia que ha tenido el cloro, existe cierta tendencia a explotar sus propiedades particulares como son: toxicidad, persistencia, bioacumulación, etc., en un reducido número de compuestos organoclorados, como son los PCB's (policlorobifenilos), dioxinas y DDT; ésto es debido a que se sabe que el comportamiento de cualquier compuesto clorado, depende de su estructura individual concentración y estado físico [20, 28].

---

---

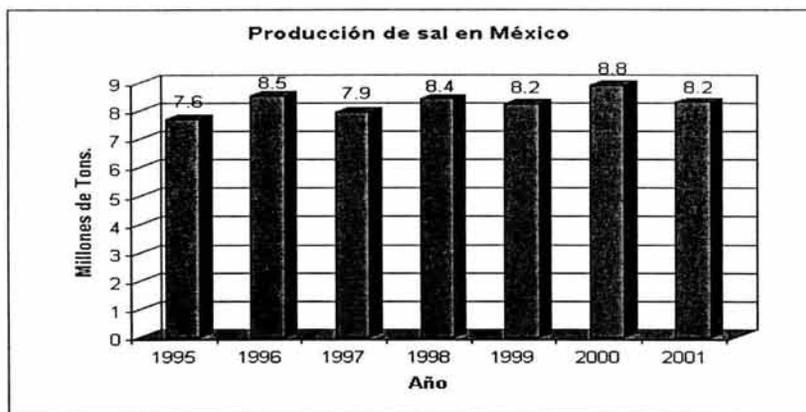
## I.5 Producción de cloro.

Un gran porcentaje de la sal que se produce en México se destina para las plantas productoras de cloro y sosa cáustica. Muestra de ello es la empresa líder del mercado nacional en esta producción, que extrae sal para autoconsumo, dicha planta se ubica en la población de Pajaritos (Coatzacoalcos, Ver.) . Además de contar con otras dos plantas en: Santa Clara, Edo de Méx. y El Salto, Jalisco.

### I.5.1 Producción de sal nacional e internacional.

Por la importancia que tiene la sal (sec. I.5.), se ha tomado en cuenta su producción en México de 1995 a 2001 en la gráfica 3.

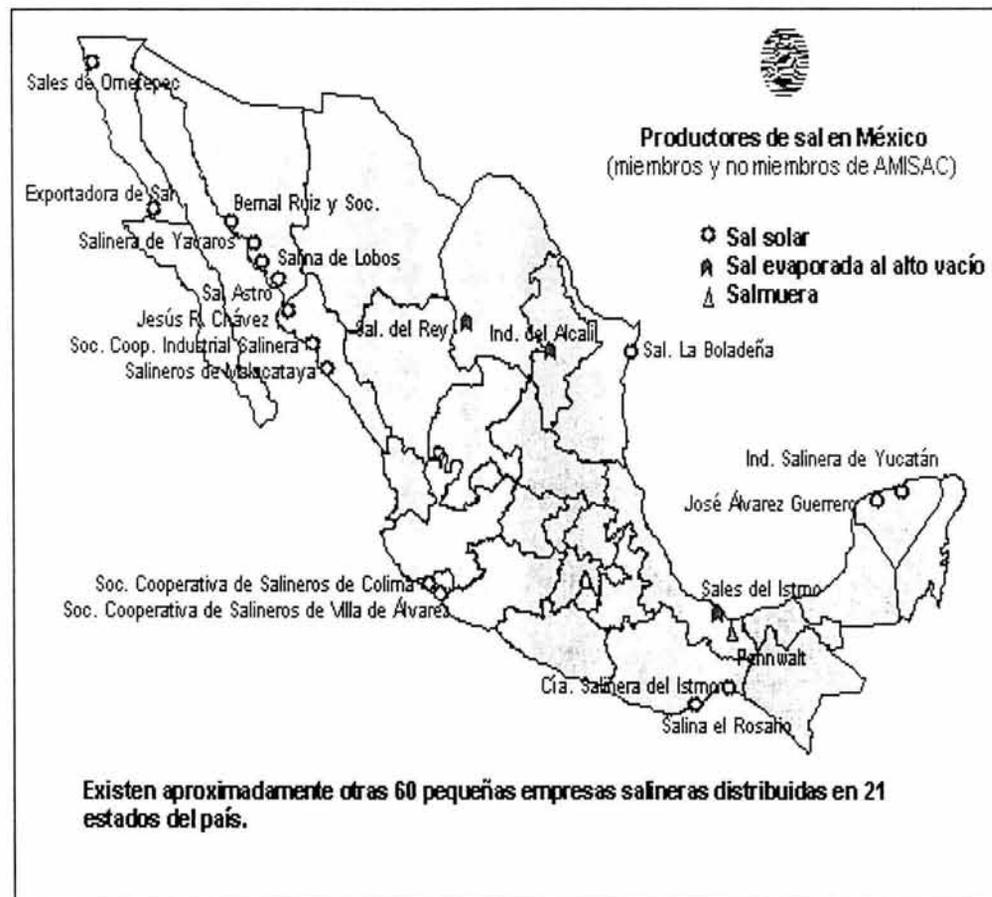
Gráfica 3. Producción Nacional de Sal.



Fuente: Consejo Mexicano de Recursos Minerales y AMISAC.

Dicha sal se extrae en diferentes estados de la república, como se puede apreciar en el mapa 1.

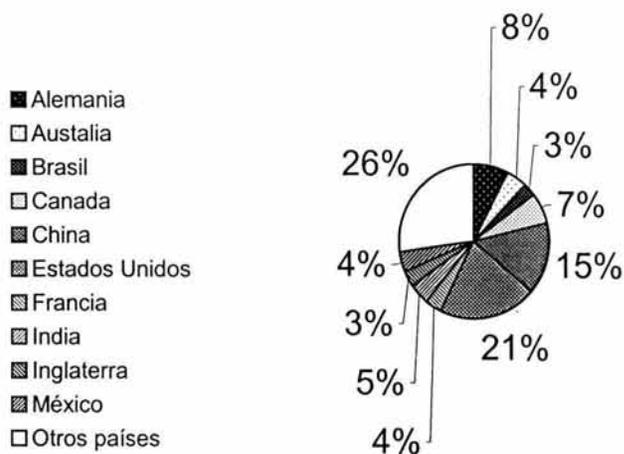
Mapa 1. Localización de los productores de sal en México.



Fuente: Consejo Mexicano de Recursos Minerales y AMISAC.

Todo lo anterior favorece la aportación del 4% de la producción de sal en el mundo por parte de México, como se puede apreciar en la gráfica 4.

Gráfica 4. Participación en producción mundial de sal.

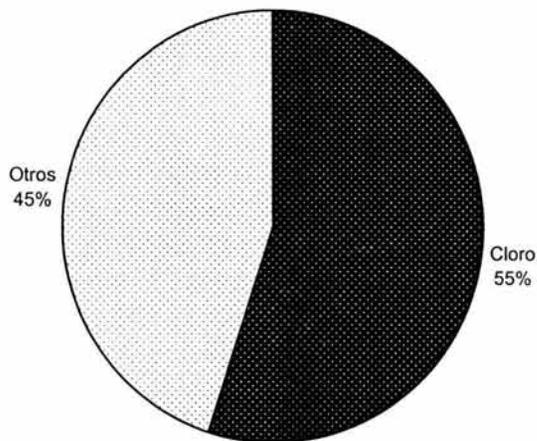


Fuente: Mineral Commodity Summaries, Bureau of Mines, E.U.A. (2000) y Dir. Gral. de Minas, SECOFI (para el caso de México)

### I.5.2 Producción nacional e internacional de cloro.

La cantidad mundial producida de sal es de doscientos mil millones de toneladas de las cuales el 55% está destinada para generar cloro, como se aprecia en la gráfica 5 [30].

Gráfica 5. Consumo de sal por diferentes usos en el año de 2000.



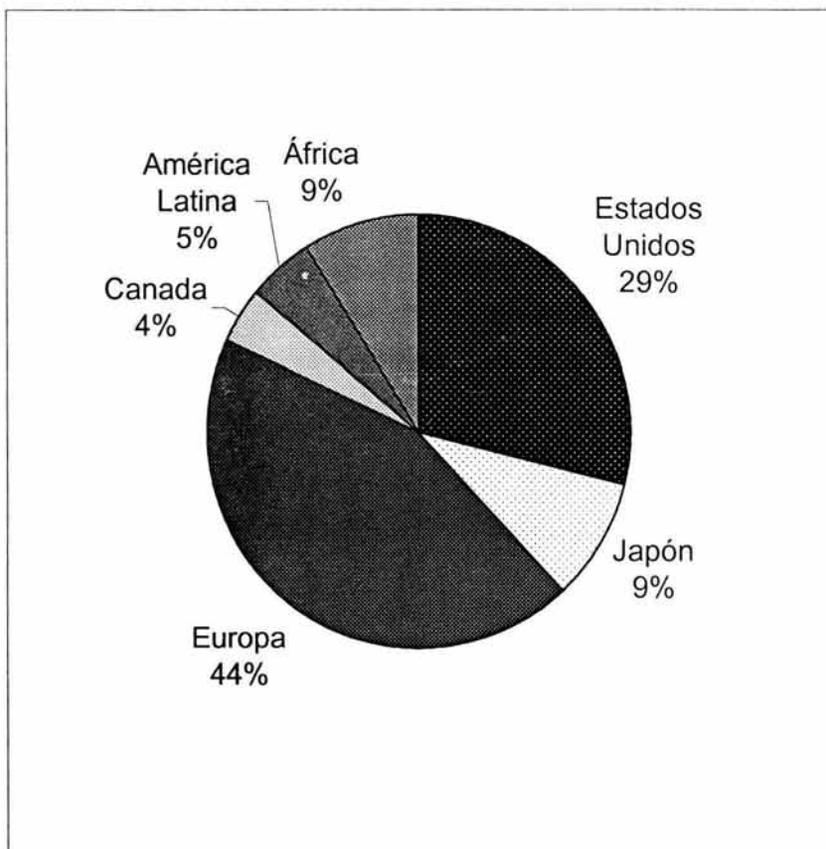
Fuente: Servicio minero/geológico argentino <http://www.segemar.gov.ar/db/>

---

---

De la producción mundial (ver p.34) el mayor productor de cloro es Europa, seguido de Estados Unidos, África, América Latina y por último Canadá., como se aprecia en la gráfica 6 .

Gráfica 6. Aportación a la producción mundial de cloro de diferentes países.



Fuente: Servicio minero/geológico argentino <http://www.segemar.gov.ar/db/>

Es importante hacer notar que México ocupa el séptimo lugar en producción de sal a nivel mundial con el 4.1% (porcentaje observado en la gráfica 4, p. 33). Esto le permite formar parte del 5% de América Latina en la producción de cloro a nivel internacional (gráfica 6, p.35). Dicho porcentaje se obtuvo a partir de los datos de la tabla 13, que muestra la evolución en la producción de cloro del año 1994 a octubre de 2003, esto nos indica la cantidad de cloro que se maneja en el país y como consecuencia una aproximación de lo que se transporta.

Tabla 13. Producción anual de cloro en México.

Año	TON
1994	334595
1995	356370
1996	383961
1997	436593
1998	436662
1999	421306
2000	428067
2001	366031
2002	394564
2003	309383

p/ Cifras preliminares a partir de la fecha que se indica. FUENTE: INEGI. Encuesta Ind.Mensual.  
<http://dqcnesyyp.inegi.gob.mx/temp/14580271F.xls>

La cantidad de cloro que existe en el país esta también en función a lo que se importa de Estados Unidos (1086,800 toneladas) [31] y a lo que se exporta (ver tabla 14) [32].

Tabla 14. Exportación de cloro mexicano.

PAÍS	TONELADAS
Bélice	0.1
Italia	4.200
Nicaragua	5.447
Guatemala	9.338
El Salvador	43.772
Panama	3027.620
Estados Unidos	35870.151

INEGI. Anuario Estadístico del comercio exterior de los Estados Unidos Mexicanos. Exportaciones en miles de pesos de abril-diciembre de 2002.

Todo lo anterior se refleja en la cantidad de cloro almacenado en México (14, 067 Toneladas), dicho volumen implica muchos riesgos cuando éste se transporta, por lo que se regula y normatiza para prevenir y atender desastres por fuga o derrame[29].

## I.6 Efectos tóxicos del cloro.

Millones de personas viven expuestas a contaminantes tóxicos<sup>30</sup> que pueden traer problemas serios de salud. Uno de ellos es el cloro [33], que apareció como arma química altamente tóxica y letal; destruye el tejido pulmonar, además de quemar la piel. La muerte ocurre cuando los pulmones se dañan al llenarse de fluido. Fue utilizado por Alemania durante la Primera Guerra Mundial en abril de 1915 en Ypres, Francia, resultando 10,000 víctimas seriamente heridas. Estos ataques se realizaron aún cuando se habían acordado en la "*Declaración de la Haya de 1899 Concerniente a Gases Asfixiantes*" abstenerse del uso de ellos[33]. A pesar del daño que ocasiona el cloro se sigue usando sin las medidas adecuadas de seguridad, las muertes, por dicho fenómeno van de los 30,000 a 40,000 muertos por año (reportados por la OMS, Organización Mundial de la Salud)[34] debido a la intoxicación por plaguicidas organoclorados.

---

30. Se define como tóxico aquel gas cuyo límite de máxima concentración tolerable durante ocho horas al día y cuarenta semanas (TLV) es inferior a 50 p.p.m.

Los efectos nocivos pueden afectar a:

a) Seres humanos/mamíferos:

El cloro es un gas tóxico extremadamente cáustico. Los síntomas de intoxicación posterior a la inhalación son irritación o quemadura de los ojos (iniciando con lágrimas) y de las membranas mucosas de las vías respiratorias con dificultad para respirar, tos con esputos sanguinolentos, ahogo, dolor de cabeza, vértigo y pulso[12, 16]

Una exposición severa puede producir edema pulmonar o muerte después algunas horas. En concentraciones altas, se puede producir una muerte inmediata por un cierre de reflejos de las vías respiratorias.

Además de los síntomas anteriores hay síntomas crónicos que aparecen a partir del segundo mes; partiendo de la fecha de contacto. Los síntomas incluyen ardor y úlceras (oculares, esofágicas y traqueales), con un descenso en la función pulmonar; ya que existe una remota posibilidad de contraer cáncer en vejiga y posiblemente en colon y recto; ésto puede suceder cuando se tiene una exposición prolongada a bajas concentraciones, como es el caso de fugas silenciosas en un tiempo de exposición prolongada[13, 35].

Cabe aclarar que el cloro no es considerado totalmente cancerígeno ya que las frases R<sup>31</sup>, que lo rigen son:

- R23: Tóxico por inhalación.
- R36/37/38: Irritante de ojos, piel y vías respiratorias.
- R50: Muy tóxico para los organismos acuáticos.

---

---

31. Descriptores que indican la naturaleza de los riesgos específicos atribuidos a las sustancias y preparados peligrosos.

Se puede decir que para el grado de toxicidad del cloro, existen varios parámetros que intervienen en los efectos que puede provocar en las personas: su concentración en la atmósfera respirada, El tiempo de exposición y la reacción personal que varía con la edad, condiciones físicas y resistencia propia de cada individuo. Lo anterior se resume en la tabla 15.

Tabla 15. Riesgos por tiempo de exposición a diferentes concentraciones de cloro.

Concentración de cloro en el aire (ppm)	Tiempo de exposición (h)	Riesgo en personas
0.3 - 1	-	Detección olfativa
1	8	Incomodidad
4	> 1	Incomodidad
10	1	Irritación de los órganos respiratorios Riesgo de bronquitis
30	10	Tos irritante grave Peligro de edema pulmonar
50	1	Peligro de edema pulmonar muerte posible
500	0.08	muerte
1, 000	Instantáneo	muerte
10, 000	Instantáneo	Muerte sin edema pulmonar, sino por cese de respiración (reflejo inhibitor)

Fuente: KIRK-OTMELL, 1991.

### Primeros auxilios.

Las medidas que se deben tomar cuando se está expuesto al cloro, dependen de la zona del organismo afectada; ya que al contaminar los ojos, la piel, las vías respiratorias o la piel, existe el peligro de tener desde una lesión moderada hasta una grave. Por ello las medidas preventivas y auxiliares en caso de emergencia, deben ser conocidas por todos aquellos que tengan contacto directo o indirecto con el gas.

En el caso de que los ojos tuvieran contacto con con el cloro, se debe asegurar de que el tejido no esté frío, de lo contrario se debe buscar la asistencia médica inmediatamente, con respecto a lo primero se lava los ojos con abundante agua por un tiempo no menor a 15 minutos

Para el contacto con la piel, se debe lavar la zona afectada con agua y jabón, evitando dejar residuos sobre ella para evitar posibles daños dérmicos.

La contaminación por inhalación se atiende con ventilar y abrigar al individuo, con la precaución de dar RCP (respiración inducida) si se ha detenido el proceso de respiración. Todo lo anterior es posible sólo si no existió enfriamiento corporal. Para los casos severos el tratamiento consiste en suministrar oxígeno y/o broncodilatadores. En caso de presentarse un evento con síntomas respiratorios como tos, disnea y/o bronco espasmo, se recomienda aplicar  $\beta$ -dos antagonistas inhalados o nebulizados [14, 15, 29]. Es importante que el grado de toxicidad se determine consultado los límites de exposición de la hoja de transporte como la mostrada en el anexo C, p. 103.

---

---

## **I.7 Accidentes con cloro vía carretera.**

El resultado de la volcadura o choque de un autotank que transporta cloro es una fuga o un derrame (como se puede observar en la gráfica 7, p. 44), ambas situaciones son de alto riesgo para los receptores que existen en la zona, por la toxicidad que presenta el cloro (cap. 1.6, p. 38).

La tabla 16 , p. 43 muestra los accidentes ocurridos en tramos carreteros que coinciden con las rutas de transporte de cloro y de otras sustancias peligrosas (anexo C, p. 103) así como con las ubicaciones de las plantas productoras y consumidoras de cloro (ver sec. 1.5, p. 31). Cabe señalar que los dos accidentes reportados en el año 2000 involucran carreteras entre Veracruz y Puebla, que ocupan el segundo lugar en frecuencia de accidentes con el 18% (como se puede apreciar en la gráfica 8, p. 44) en el año 2000, una de las causas es el incremento de producción y volumen de almacenamiento (ver cap. 1.5.2 , p. 36 y 37).

Tabla 16. Accidentes ocurridos en el transporte de cloro vía carretera en México del año 1991 al 2000.

Lugar	Tramo carretero	Fecha	Clase de Accidente	Fuente
D.F.	México	21/05/91	V/F	UNIVERSAL
Tamaulipas	Altamirano	26/09/92	F	SETIQ*
Morelos	Méx.-Cuernavaca	23/06/94	D	EXCELSIOR
Chihuahua	No especificado	18/10/95	CHO/F	SCT**
Sinaloa	Méx.-La Concha	18/03/98	V/D/SC	SCT
Sonora	México-Santa Ana	24/07/98	MEC/V/F	SCT
D.F.	No especificado	21/08/98	F	SETIQ
Guanajuato	Méx.-Celaya	24/09/98	CHO	SCT
México	Caseta Peaje Méx.	04/11/99	CHO	SCT
Puebla	Méx.-Tepeojuma	24/03/00	V/D/SC	SCT
Veracruz	La Tinaja-Loma Bonita	27/08/00	SC/V/F	SCT

Fuente: ACQUIM CENAPRED/SEGOB, 2000.

Donde:

**V=** Volcadura

**F=** Fuga

**D=** Derrame

**CHO=** Choque

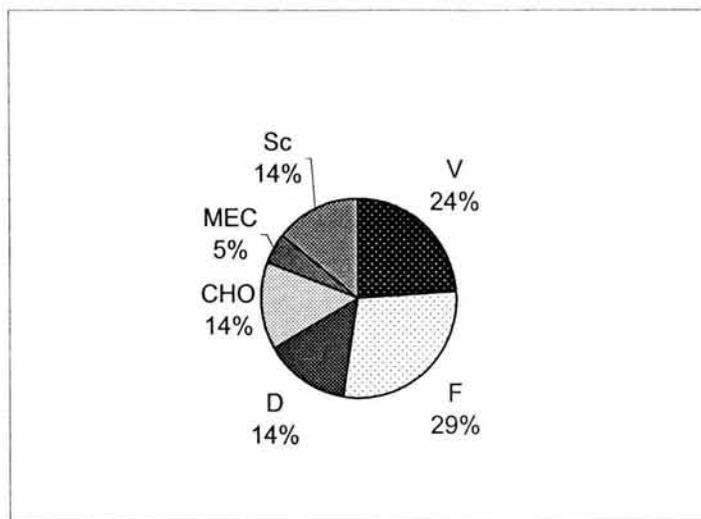
**MEC=** Falla  
mecánica

**SC=** Salida del  
Camino.

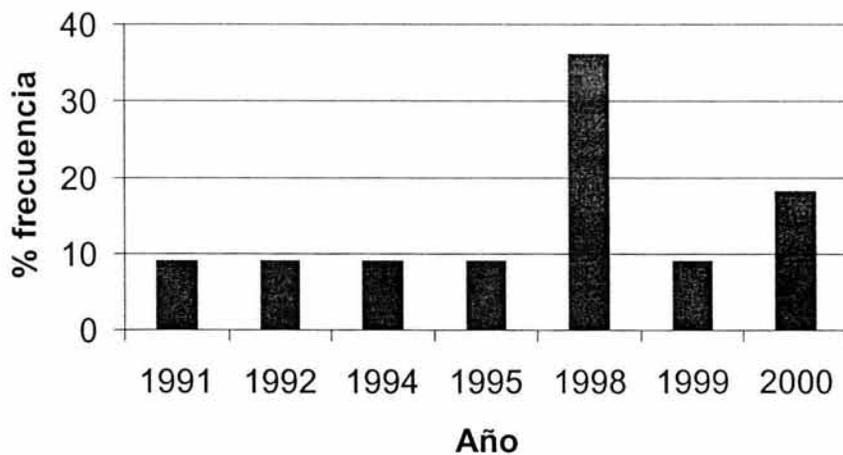
SETIQ\* = Sistema de Emergencias en Transporte para la Industria Química.

SCT\*\* = Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

Gráfica 7. Clases de accidente y su porcentaje de ocurrencia durante el transporte de Cloro.



Gráfica 8. Frecuencia de accidentes por año.



La incidencia de accidentes con cloro no tiene un comportamiento predecible, debido a que las causas que lo originan y los parámetros que lo afectan (clima, topografía, entre otros) no son controlables. Por todo ello es necesario que se tengan medidas que prevengan o auxilien en caso de siniestro en lugares por donde transita transporte del gas.

---

---

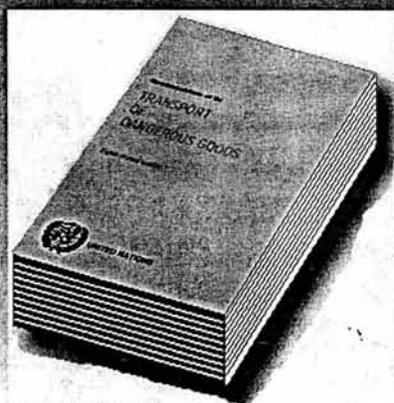
## Referencias.

- [1]Bargalló E. "Tratado de Química Inorgánica". 1era. Ed. Edit. Porrúa, Méx. D.F., 1962. pp. 591,721-770.
- [2]Asimov I. "Breve Historia de la Química (Introducción a las ideas y conceptos de la Química)", 1er. Ed. Edit. Patria, México D.F 1991.
- [3]Cotton A. "Química Inorgánica Avanzada". 1era. ed. Edit. Limusa: Méx. 1999. pp. 662 - 667.
- [4]Rayner-Canham G. "Química Inorgánica Descriptiva". 2da. ed. Edit. Pearson Educación, Méx. 2000, pág. 386 a la 387.
- [5]Moeller T. "Química Inorgánica". 3era. ed. Edit. Reverté S.A., España 1961, pág. 384-385.
- [6]Vian A. "Introducción a la Química Industrial". 2da. ed. Edit. Reverté S.A. España 1994, págs. 128 a la 145.
- [7]Schmittinger P. "El Cloro: los Principios & la Práctica Industrial". 1era. Edit. Wiley-VCH (ISBN 3-527-29851-7). USA 1991.
- [8]Book of Abstracts. "International Conference on Naturally-Produced Organohalogens". 14-17 Septiembre 1993, TNO, Delft (Holanda).
- [9]de Leer E. "The Natural Chlorine Cycle. Simposio: El Cloro y la Vida", 24/10/94 en la Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona 1995.
- [10]Office of the Assistant Secretary of Defense (Health Affairs). "Fact Sheet, Desert Test Center, project SHAD, DTC Test 69-10", Deployment Support Directorate, Versión 10-09-2002. Edit. Crítica. Barcelona, 1992.
- [11]OMS. "Límites de exposición profesional que se recomiendan por razones de salud: sustancias irritantes de las vías respiratorias". Serie de Informes Técnicos 707. Ginebra, 1984.
- [12]The Merck Index, "An encyclopedia of Chemical, drugs and biologicals". 30ava.ed., edit. Merck & Co., Inc., USA 2001 pág. 2112-2113.
- [13]Kaufman J. "Clinical, Roentgenologic, and physiologic effects of acute chlorine exposure". Arch Environ Health 1971; 23: 29-34.
- 
-

- 
- [14]Roa J. "Experiencia de la línea caliente en el accidente de escape de cloro en la ciudad de Cali el día 27 de enero de 1994". Hospital Universitario del Valle, 1994.
- [15]Moore BB, Sherman M. "Chronic airway disease following acute chlorine gas exposure in an asymptomatic atopic patient". Chest 1991; pp. 855-56.
- [16]Hadbook of Chemistry and Physics. "A Ready-Referece Book of Chemical and Physical Data", 55ava.ed., edit. CRC Press. USA 1977, pág.B-10.
- [17]Carson P. "Hazardous Chemicals Handbook" 2da. ed. Edit. Butterwoeth Heinemann. Gran Bretaña 2002. pág. 281-282.
- [18]National Fire Protection Association. "Fire Protection Guide to Hazardous Materials".10a. ed. Edit. National Fire Protection Association. USA1991. pp. 49-49.
- [19]Sax I. "Dangerous Properties of Industrial Materials"7a. ed. Edit. Van Nostrand. USA 1984. pág. 768-769.
- [20]The Clorine Institute. "Directory of Chemical Producers" 1era. Edit. California: Chemical Informacion Services, USA. 1991.
- [21]Chlor-Alkali Manufacture "Atmospheric Emissions" Edit. From, AP-80, U.S. Environmental Protection Agency, Researche Triangle Park, NC, January 1971.
- [22]Goodrich B. "Chemical Company Cholor-Alckali Plant Source Tests", Edit. EPA Contract No. CPA 70-132, junio 1972.
- [23]Kirk, R. E. "Enciclopedia de Tecnología Química", Tomo I, 1era. Ed., Edit. Hipanoamericana., México 1961. pp.609-681.
- [24]Liñan A., de Barbarín, J. 2000. "Análisis de riesgo ambiental y su aplicación al almacenamiento y manejo de cloro industrial". CIENCIA UANL / VOL. V, No. 2, abril-junio 2002 p. 218
- [25]Schmittinger P. "El Cloro: los Principios & la Práctica Industrial", 1era. ed. Edit. Wiley-VCH (ISBN 3-527-29851-7). Las Industrias de PPG, Inc. 1991.
- [26]Environmental Protection Agency "Atmospheric Emissions From Chlor-Alkali Manufacture", AP-80, U.S. 1971.
- [27]Barbarín M. "Análisis de riesgo ambiental". CIENCIA UANL / VOL. V, No. 2, ABRIL-JUNIO 2002.
-

- 
- [28]Centro Panamericano de Ecología. "Guías Para el Cálculo de Exposiciones" 1a. ed. Edit. Enviomental Protection Agency. México 1988. pp. 1-37.
- [29]Arcos, M. e Izcapa, T. "Identificación de peligros por almacenamiento de sustancias químicas peligrosas en México". Edit. CENAPRED, Méx. 2003.
- [30]SECOFI. "Mineral Commodity Summaries, Bureau of Mines, E.U.A". (1998). Edit. Dir. Gral. de Minas.
- [31]INEGI. "Anuario Estadístico del comercio exterior de los Estados Unidos Mexicanos. Importaciones en miles de pesos de enero-marzo de 2002".
- [32]INEGI. "Anuario Estadístico del comercio exterior de los Estados Unidos Mexicanos. Exportaciones en miles de pesos de abril-diciembre de 2002".
- [33]Office of the Assistant Secretary of Defense, project SHAD, DTC Test 69-10, Deployment Support Directorate, Versión 10-09-2002. " En paz con el planeta". Ed. Crítica, Barcelona, 1992.
- [34]OMS. "Límites de exposición profesional que se recomiendan por razones de salud: sustancias irritantes de las vías respiratorias". Edit. Serie de Informes Técnicos 707. Ginebra, 1984.
- [35]Alfaomega."Seguridad en la Utilización de Productos Químicos en el Trabajo". 1a. ed. Edit. Alfaomega. México, D. F. 2000. pp. 31-40.
-

# II. Legislación.



## II. Legislación.

### II.1 Nacional.

En los años setenta se creó la Subsecretaría de Protección al Ambiente, adscrita a la Secretaría de Salubridad y Asistencia, que se enmarca jurídicamente en la Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental en el año de 1971. A partir de ello inicia la normatividad en México que se basa en el marco jurídico de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (Artículos 25,27 y 73) publicada el 5 de febrero de 1917, que establece como obligación la preservación y restauración del equilibrio ecológico y el ambiente. Para cumplir esto existen leyes y organismos gubernamentales tales como[36, 37]:

1. Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA); publicada el 28 de enero de 1988, modificada el 13 de diciembre de 1996. Menciona las disposiciones para el manejo de los residuos peligrosos, incluyendo importación y exportación en sus artículos 143-147, 150-153 [38],

2. Ley Orgánica de la Administración Pública Federal, cap IV, publicada el 28 de diciembre de 1994 con el apoyo de la Ley de Metrología y Normalización, crean y establecen las Normas Oficiales Mexicanas, que rigen sobre: la preservación y restauración de la calidad del medio ambiente, el cuidado de los ecosistemas naturales, el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales ( de la flora, fauna silvestre ya sea terrestre o acuática); además las descargas de aguas residuales [37].

---

3. Ley de Metrología y Normalización, publicada el 01 de julio de 1992, que dice en su artículo 40 que las normas oficiales tienen como finalidad cumplir con las condiciones de salud, seguridad e higiene en los centros de trabajo[38].

4. Ley de Comercio Exterior, publicada el 27 de julio de 1993. Establece las medidas de regulación y restricción no arancelaria a la a la exportación, importación, circulación o tránsito de mercancías. Tomando en consideración las situaciones que afecten la seguridad nacional, pública y ecológicas[37, 39].

5. El Reglamento de la Secretaría del Trabajo y Previsión Promueve las acciones necesarias para prevenir accidentes en los centros de trabajo, las que involucran en mayor medida al transporte de cloro son:

- NOM-010-STPS-1999. Describe las condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo, donde se manejen, transporten, procesen o almacenen sustancias químicas peligrosas. Se publicó en el Diario Oficial de la Federación el 21 de septiembre de 1998 en cumplimiento con en el artículo 47 fracción I de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización.
- NOM-018-STPS-2000. Describe los requisitos mínimos para la identificación y comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas peligrosas, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 12 de septiembre de 2000, en cumplimiento al artículo 47, fracción III de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización.

6. Reglamento para el Transporte Terrestre de Materiales y Residuos Peligroso, (publicado el 7 de abril de 1993). Solicita que las unidades transportadoras deban identificar el material peligroso en lugares visibles, así como lo referente a riesgos, precauciones y números telefónicos para usarse en caso de emergencia.

---

Todo esto se describe en los artículos 36-38, Otros artículos que aplican, están consideradas en el capítulo I de este reglamento como son:

Artículo 7º.- Que a la letra dice” Considerando sus características, las sustancias peligrosas se clasifican en:1 Explosivos, 2 Gases comprimidos, refrigerados, licuados o disueltos a presión, 3 Líquidos inflamables, 4 Sólidos inflamables, 5 Oxidantes y peróxidos orgánicos, 6 Tóxicos agudos (venenos) y agentes infecciosos, 7 Radiactivos, 8 Corrosivos, 9 Varios”, y que para el caso del cloro éstas quedan descritas en la tabla 17 [41].

Tabla 17. Clasificación del cloro.

CLASE	DENOMINACION
2	Gases comprimidos, refrigerados, licuados o disueltos a presión.
5	Oxidantes y peróxidos orgánicos.
8	Corrosivos.

- Artículo 9o.- Menciona que la Clase 2 (gases comprimidos, refrigerados, licuados o disueltos a presión) son sustancias que:

I.- A 50°C tienen una presión de vapor mayor de 300 kPa.

II.- Son completamente gaseosas a 20°C y presión normal de 101.3 kPa.

Para las condiciones de transporte las sustancias de Clase 2 se clasifican de acuerdo a su estado físico como:

Gas comprimido, aquél que bajo presión es totalmente gaseoso a 20°C.

Gas licuado, el que es parcialmente líquido a 20°C.

Gas licuado refrigerado, el que es parcialmente líquido a causa de su baja temperatura.

Gas en solución, aquél que está comprimido y disuelto en un solvente.

La tabla 18 describe la división en función del tipo de riesgo de la Clase 2.

Tabla 18. Descripción del gas cloro por su tipo de riesgo.

DIVISION	DESCRIPCION DE LAS SUBSTANCIAS
2.3	<p>Gases tóxicos.</p> <p>Gases que:</p> <p>a) Se conoce que son tóxicos o corrosivos para los seres humanos por lo que constituyen un riesgo para la salud; o</p> <p>b) Se supone que son tóxicos o corrosivos para los seres humanos porque tienen un <math>Cl_{50}</math> igual o menor que <math>5000 \text{ mol/m}^3</math> (ppm).</p> <p>Nota: Los gases que cumplen los criterios anteriores, deben clasificarse como tóxicos con un riesgo secundario corrosivo.</p>

Otros artículos incluidos son del Reglamento para el Transporte Terrestre de Materiales y Residuos Peligrosos:

Artículo 58. Ninguna unidad que traslade materiales o residuos peligrosos deberá transportar personas no relacionadas con las operaciones de la unidad.

Artículo 59. No deberá abrirse ningún envase y embalaje, recipiente intermedio para granel, contenedor, contenedor cisterna, autotanque o unidad de arrastre entre los puntos de origen y destino excepto en casos en que se presuma un riesgo, para lo cual se deberá actuar de acuerdo a lo previsto en la "Información de emergencia en transportación".

Artículo 60. Los operadores de vehículos se abstendrán de realizar paradas no justificadas, que no estén contempladas en la operación del servicio, así como circular por áreas centrales de ciudades y poblados. Al efecto, utilizarán los libramientos periféricos cuando éstos existan.

Artículo 61. Las unidades que transporten materiales o residuos peligrosos, a excepción de las sustancias de la Clase 7 (radiactivos), no podrán circular en convoy.

Artículo 62. Se prohíbe purgar al piso o descargar en el camino, calles o en instalaciones no diseñadas para tal efecto; así como ventear innecesariamente cualquier tipo de material o residuo peligroso.

Artículo 63. En caso de ocurrir un congestionamiento vehicular o se interrumpa la circulación, el conductor de la unidad deberá solicitar al personal responsable de la vigilancia vial, prioridad para continuar su viaje, mostrándole la documentación que ampara el riesgo sobre el producto que se transporta, a fin de que el mismo adopte las precauciones del caso.

Artículo 64. En caso de descompostura mayor de la unidad motriz, el operador y la empresa transportista deberán sustituirla a la brevedad por otra que cuente con los requisitos físicos y mecánicos de operación.

Cuando por descompostura de la unidad de arrastre sea necesario el transvase o transbordo del material o residuo peligroso, éste se llevará a cabo, de acuerdo con lo que indique el fabricante de la sustancia peligrosa, o generador de residuos peligrosos, quien deberá cuidar que la maniobra se realice bajo estrictas condiciones de seguridad con personal capacitado y debidamente equipado, de conformidad con las características y peligrosidad del material o residuo de que se trate.

Artículo 65. Para que una unidad que transporta materiales o residuos peligrosos pueda estacionarse en la vía pública, el conductor además de cumplir con las disposiciones de tránsito vigentes, deberá asegurarse que la carga esté debidamente protegida de conformidad con las indicaciones del expedidor, a fin de evitar que

---

---

---

personas ajenas a la transportación manipulen indebidamente el equipo o la carga de tal forma que pudieran propiciar accidentes.

Artículo 66. Las unidades que transporten materiales o residuos peligrosos, por ningún motivo podrán estacionarse cerca de fuego abierto, o de incendio.

Artículo 67. Si durante el transporte del material o residuo peligroso se presentan condiciones meteorológicas adversas, que impidan la visibilidad a una distancia aproximada de 50 metros, tales como tormenta eléctrica, lluvias intensas, niebla cerrada y presencia de vientos fuertes, el conductor del vehículo deberá estacionarlo, absteniéndose de hacerlo en pendientes, declives, curvas, puentes, cruceros, túneles, cruces de ferrocarril, cerca de instalaciones eléctricas de alta tensión u otro lugar que presente peligro para la carga.

Artículo 68. Cuando por cualquier circunstancia se requiera estacionamiento nocturno en carretera se deben colocar triángulos de seguridad tanto en la parte delantera, como trasera, a la distancia que permita a los otros usuarios del camino tomar las precauciones necesarias.

7. La Secretaría de Comunicaciones y Transportes ha publicado una serie de normas oficiales mexicanas, relacionadas con el transporte terrestre de materiales y residuos peligrosos, entre las que corresponde al transporte de cloro son [38, 39, 41]:

- NOM-002-SCT2-1993. Listados de las sustancias y materiales peligrosos más usualmente transportados.
  - NOM-003-SCT2-1993. Características de las etiquetas de envases y embalajes destinadas al transporte de materiales y residuos peligrosos.
  - NOM-004-SCT2-1994. Sistema de identificación de unidades destinadas al transporte terrestre de materiales y residuos peligrosos.
- 
-

- 
- NOM-005-SCT2-1994. Información de emergencia para el transporte terrestre de sustancias, materiales y residuos peligrosos.
  - NOM-006-SCT2-1994. Aspectos básicos para la revisión ocular diaria de la unidad destinada al autotransporte de materiales y residuos peligrosos.
  - NOM-007-SCT2-1994. Marcado de envases y embalajes destinados al transporte de sustancias y residuos peligrosos.
  - NOM-009-SCT2-1994. Compatibilidad para el almacenamiento y transporte de sustancias, materiales y residuos peligrosos de la clase 1, explosivos.
  - NOM-010-SCT2-1994. Disposiciones de compatibilidad y segregación para el almacenamiento y transporte de sustancias, materiales y residuos peligrosos.
  - NOM-011-SCT2-1994. Condiciones para el transporte de las sustancias, materiales y residuos peligrosos en cantidades limitadas.
  - NOM-012-SCT2-1994, sobre el peso y dimensiones máximas que deben cumplir los vehículos de autotransporte que transitan en los caminos y puentes de jurisdicción federal.
  - NOM-018-SCT2-1994. Disposiciones para la carga, acondicionamiento y descarga de materiales y residuos peligrosos en unidades de arrastre ferroviario.
  - NOM-019-SCT2-1994. Disposiciones generales para la limpieza y control de remanentes de sustancias y residuos peligrosos en las unidades que transportan materiales y residuos peligrosos.
  - 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.
  - NOM-023-SCT2-1994. Información técnica que debe contener la placa que portarán los autotanques, recipientes metálicos intermedios para granel y envases de capacidad mayor a 450 lts. Que transportan materiales y residuos peligrosos.
-

- 
- 
- NOM-043-SCT2-1995. Documento de embarque de sustancias, materiales y residuos peligrosos.
  - NOM-EM-020-SCT2-1995. Requerimientos generales para el diseño y construcción de autotankes destinados al transporte de materiales y residuos peligrosos, especificaciones STC 306, STC 307 y STC 312.

8. La Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales (SEMARNAT) aplica las siguientes normas oficiales mexicanas para el manejo de residuos peligrosos [ 37, 39]:

- NOM-001-ECOL-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.
  - NOM-052-ECOL-1993, que establece las características de los residuos peligrosos, el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente (antes NOM-CRP-001-ECOL/93). Es importante citar que esta NOM fue revisada y aprobada por el Subcomité para Residuos Municipales, Peligrosos y Sustancias Químicas, para ser presentada ante el Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Protección Ambiental, con el fin de que sea publicada en el Diario Oficial de la Federación.
  - NOM-053-ECOL-1993, que establece el procedimiento para llevar a cabo la prueba de extracción para determinar los constituyentes que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente (antes NOM-CRP-002-ECOL/93).
  - NOM-054-ECOL-1993, (antes NOM-CRP-003-ECOL/93) que establece el procedimiento para determinar la incompatibilidad entre dos o más residuos considerados como peligrosos por la Norma.
- 
-

### 9. La ley General de Protección Civil.

Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 8 de mayo de 2000, que en los capítulos VI y VII de ésta ley, menciona las acciones de prevención y salvaguardo que se deben dar a las poblaciones de las Entidades Federativas en colaboración con el Gobierno Federal en caso de siniestro por derrame y fuga de sustancias peligrosas.

### **II.2 Legislación internacional.**

La reglamentación internacional es regulada por el Comité de Expertos en el transporte de sustancias y materiales peligrosos de la ONU, la información que pública se usa en la Oficina Internacional de Estándares (RSPA) y en la de Regulaciones de los Materiales Peligrosos HMR para facilitar el comercio internacional complementándose con los Códigos de Regulaciones Federales siguientes: 40 CFR 117.21, 40 CFR 302.6 y 40 CFR 355.40 K.A.R. 28-65-3 , que describen los requisitos para la notificación de descargas de mezclas o soluciones que contengan sustancias peligrosas al medio ambiente [36, 40].

La implementación de las aportaciones de estos códigos y normas, permiten a muchos países actualizar los suyos con respecto al transporte de sustancias peligrosas . Muestra de ello son los contenidos de las normas oficiales mexicanas antes descritas.

---

---

## Referencias.

[36] Consejo Económico y Social de las Naciones Unidas en Transporte de Mercancías y Sustancias Peligrosas. (ST/ECA/43-E/CN-2/170). USA 1956.  
<http://www.unece.org/trans/danger/publi/unrec/Spanish/Intro.pdf>

[37] de la Cruz L. *"Medidas de prevención y atención de accidentes carreteros donde se involucran sustancias químicas peligrosas"*. 1 ed. Edit. CENAPRED. México 2001. pp.11-49.

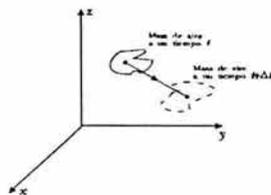
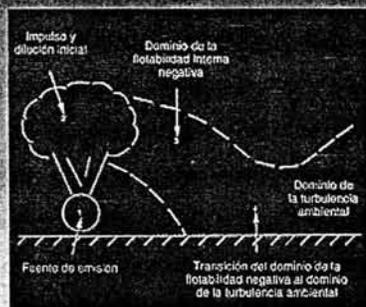
[38] Azuela, A. *"Desarrollo sustentable. Hacia una política ambiental"*. México, UNAM, Coordinación de Humanidades. 1993. pp. 105-176.

[39] Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, 8º ed., Edit. Porrúa. México 1993, pp. 577.

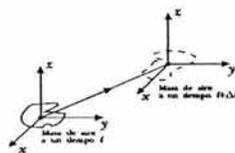
[40]. Código de las regulaciones federales título 40, volumen 14, partes 87 a 135 ] [ revisado en fecha de julio el 1 de 1999 ] de la oficina de impresión del gobierno de ESTADOS UNIDOS vía el acceso de GPO [CITE: **40CFR117.21**] [ contenido Subpart C -- aviso de la PARTE 117 de la página 717] -- determinación DE LAS CANTIDADES DENUNCIABLES PARA SUBSTANCES PELIGROSO -- de la descarga de una cantidad denunciante Sec. 117.aviso **21**.

[41]. Reglamento para el Transporte Terrestre de Materiales y Residuos Peligrosos Diario Oficial de la Federación, 7 de abril de 1993.

# III. Modelos de dispersión atmosférica.



Euleriano



Lagrangiano

$$\langle c(x, y, z, t) \rangle = \frac{1}{(2\pi)^{3/2} \sigma_x(t) \sigma_y(t) \sigma_z(t)} \exp \left[ -\frac{(x - \bar{u}t)^2}{2\sigma_x^2(t)} - \frac{y^2}{2\sigma_y^2(t)} - \frac{z^2}{2\sigma_z^2(t)} \right]$$

### **III. Modelos de dispersión atmosférica.**

#### **III.1 Justificación de la modelación.**

La modelación atmosférica es una herramienta matemática que tiene gran uso en todo el mundo, ya que es indispensable para evaluar los riesgos que tiene la dispersión de una sustancia tóxica en el aire durante su transporte cuando hay fugas o derrames. Es por ello que México lo emplea como tecnología para abordar problemas de contaminación en zonas urbanas y rurales [42]. Cabe mencionar que es necesaria la modelación periódica, en función a las necesidades y características propias de un país, para conocer datos que describan los cambios que afectan la dispersión de gases tóxicos en un sistema, tales como los cambios climáticos ocasionados por la intensidad y frecuencia de fenómenos como El Niño y La Niña, entre otros; generando un continuo cambio de escenarios provistos que difieren de los modelos climáticos globales ya establecidos; dichos modelos resultan como alternativas para analizar los efectos ambientales posible en su condición geográfica y topográfica [43].

Por otra parte las instancias gubernamentales correspondientes se apoyan en estos modelos para establecer regulaciones y normativas sobre el transporte de sustancias peligrosas, así como los valores máximos de las concentraciones que pueden alcanzar los contaminantes que generan. Para establecer dichos reglamentos se parte inicialmente de las experiencias previas y del conocimiento del efecto sobre la salud de cada contaminante para posteriormente poder controlar su evolución así como determinar redes de calidad del aire.[44]

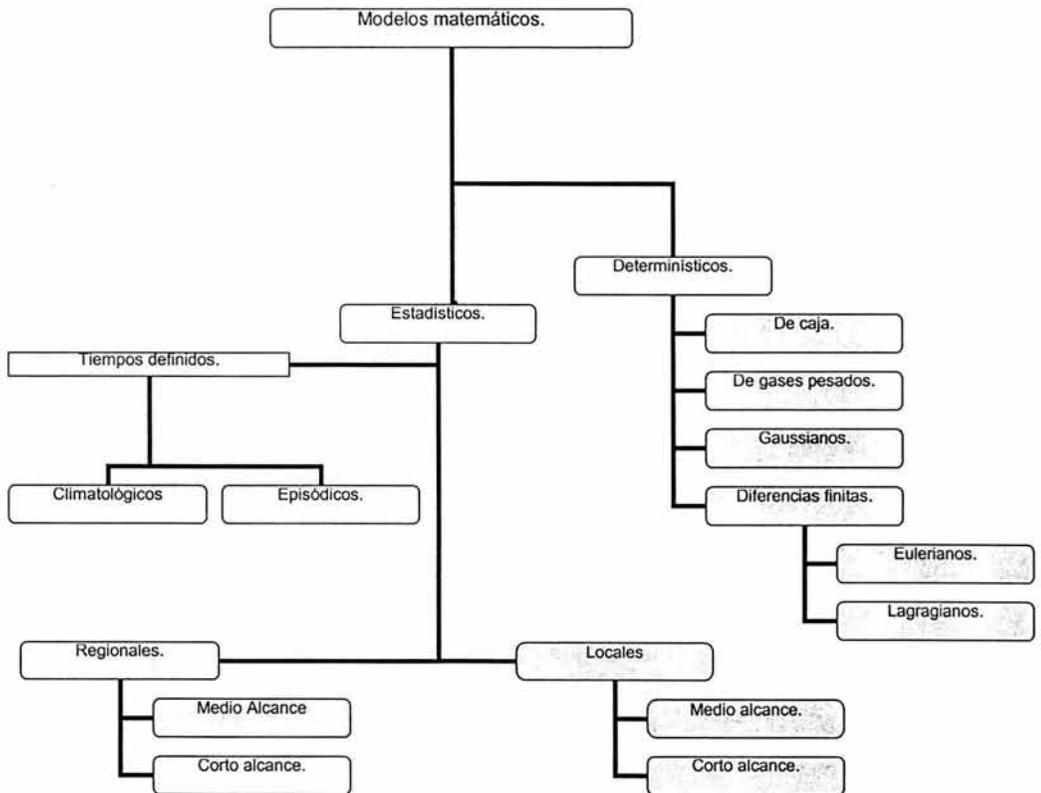
---

---

Todo lo anterior hace imprescindible generar capacidades de entendimiento y de implementación de modelos matemáticos para poder planear rutas seguras además de identificar y evaluar escenarios riesgosos a tiempo durante la transportación de cloro ya que aumenta considerablemente debido a la demanda por sus usos, pues favorece que las poblaciones y sistemas ambientales tengan una mayor exposición a él (debido a fugas o derrames) y como consecuencia a sus efectos tóxicos. Por lo que es imprescindible que se tenga previsto una simulación modelada de casos y lugares posibles por donde pasan los autotanques vía carretera cuidando la fiabilidad de los datos obtenidos, pues dependen de los que se suministran, éstos serán detallados y justificados con base a investigaciones y datos emitidos por organizaciones reconocidas [45].

III.2. Clasificación de los modelos matemáticos.

Fig. 6. Modelos matemáticos.



Existen diferentes modelos matemáticos (como se muestran en la fig. 6, p. 61), que se diferencian unos de otros por su complejidad para resolverlos o por los parámetros que emplean para dar un resultado, éstos se clasifican en:

1. **Estadísticos o de correlación.** Relaciona los datos de emisión con meteorología y concentraciones de contaminantes disponibles. Es usado cuando no es posible medir o evaluar la emisión de focos puntuales perfectamente localizados , o cuando existen diferentes fuentes emisoras.[46, 47]. Éstas se clasifican en otros modelos basados en criterios de alcance espacial como son [47, 48, 49]:

- **Regionales.** Utilizados para el estudio de transporte y difusión de contaminantes en el que se considera el tiempo y la distancia del campo de difusión, que va de los 100 m a 2000 km..
  
- **Locales.** Evalúan la convección y difusión de los contaminantes emitidos en distancias que van desde un km hasta 100 km. Estos fenómenos se llevan a cabo en la capa límite atmosférica, que es la zona inferior de la tropósfera, influenciada directamente en su flujo por la corteza terrestre, por lo que tiene importancia su estudio y caracterización. Su altura varía considerablemente, dependiendo de las condiciones de flujo atmosférico, desde 200 m hasta más de 2 km sobre el nivel del suelo.

Dependiendo del alcance de difusión, los modelos regionales y locales se clasifican en:

- De medio alcance. Predicen la inmisión entre los 15 y 100 km de distancia del foco emisor. Para ello requieren una descripción meteorológica aproximada de la zona de aplicación y una predicción meteorológica local.
- De corto alcance. La distancia considerada es de uno 1 a 15 km. Los datos obtenidos de difusión son escasos, ya que para que exista inmisión apreciable el foco emisor debe estar situado casi a nivel del suelo.

Los modelos que emplean intervalos de tiempo definidos se mencionan a continuación.

- Climatológicos: Utilizan datos meteorológicos históricos para obtener medias de inmisión estacionales o anuales.
- Episódicos: Se utilizan para el estudio de la dispersión con periodos que van desde unas horas a días. Para ello se requiere que los horarios en que ocurrió la difusión se den con un 25% máximo de error.

**2. Determinísticos** establecen una formulación matemática que describe soluciones aproximadas de las ecuaciones de difusión que gobiernan el movimiento de los contaminantes en flujo turbulento atmosférico, ya que relacionan las emisiones con los niveles de concentración en la atmósfera; dividiéndose en: [48, 51].

---

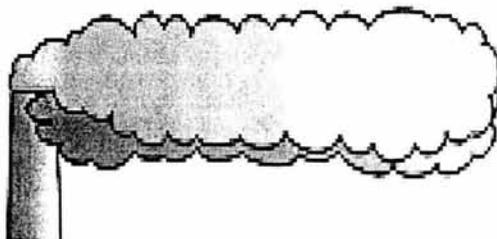
- Caja. Simula la región de estudio como si fuera una celda simple o caja dentro de la cual se calcula la variación temporal de las concentraciones de las diferentes especies químicas suponiendo procesos instantáneos de mezclado. Con esta modelación se puede explicar la evolución temporal de las especies de interés, sin embargo, no se puede conocer el lugar de mayor impacto por carecer de resolución horizontal.
  
- Gaussianos [51]. Consideran que la pluma<sup>32</sup> emitida (mostrada en la fig. 7, pág. 65) sigue una distribución gaussiana perpendicular al movimiento convectivo. De este modo se simula la difusión de contaminantes en la dirección no dominante. Sin embargo, no describe realmente el fenómeno de difusión, aunque obtiene resultados aproximados y rápidos, pero es útil para la modelación que se hará en el presente trabajo.
  
- Gases pesados. Durante su liberación éstos se contraen por ser más pesado que el aire, moviéndose viento abajo por lo que gravedad lo esparce, esto causa que parte del contaminante se disperse viento arriba de la fuente de liberación. Por lo que este modelo estima concentraciones del contaminante a nivel del piso y se rige por las condiciones similares a la del modelo gaussiano (ver sec. III.3.1, p. 67 y 68).
  
- Modelos de diferencias finitas: Resuelven las ecuaciones de difusión utilizando diferentes grados de aproximación, como:
  - Eulerianos: El sistema de referencia empleado es absoluto. Calcular la difusión referida a un sistema basándose en diferentes aproximaciones.

---

32. Forma que adquiere la nube de gas contaminante debido a los escapes continuos.

- Lagrangianos: Recurren a dos sistemas de coordenadas para el cálculo de la difusión de los contaminantes: el primero de ellos es absoluto, que está referido a las coordenadas del foco de emisión, en el que se calcula la traslación media de los elementos de contaminante considerados; el otro es relativo, referido a un punto representativo de la traslación media de la pluma (mostrada en la fig. 7), para tener en cuenta su dispersión debido a la turbulencia.

Fig. 7. Nube contaminante en forma de pluma.



Fuente: Parker A. "Contaminación del aire por la industria" 1era. Ed. Edit. Reverté. España 1986. p. 139.

El conocimiento sobre éstos modelos establece criterios básicos para elegir el adecuado, considerando que están en función de: condiciones meteorológicas, tamaño de la región en estudio, tiempo de predicción y aproximaciones matemáticas (usadas para obtener valores de difusión de un contaminante en el aire). Cabe mencionar que éstas no representan totalmente el comportamiento de la atmósfera.

### III.3 Modelo matemático elegido.

Aunque existe una variedad de modelos de dispersión atmosférica, la utilización práctica con propósitos regulatorios en México sigue centrándose en dos: los gaussianos y los de gases pesados basados en el primero (como ya fue mencionado en la p. 64), ya que los lagrangianos y eulerianos son aplicados a análisis particulares de la dispersión y transformación de contaminantes, en áreas o problemas concretos, además de que requieren de cálculos e información de entrada complicada; ya que en es difícil encontrar información detallada en nuestro país sobre el cloro.

#### III.3.1 Descripción del modelo matemático elegido.

El modelo gaussiano se combinó con el de gases pesados, debido a que ambos suponen, como hipótesis de partida, que las concentraciones de contaminante en cualquier punto están estabilizadas y no dependen del tiempo. Estos modelos describen el comportamiento de los gases dispersados en dirección al viento y arrastrados a la misma velocidad. Por lo que son, en la mayoría de los casos, los más recomendables[46, 48, 50]. La ecuación que describe a ambos modelos es:

$$\langle c(x, y, z, t) \rangle = \frac{1}{(2\pi)^{3/2} \sigma_x(t) \sigma_y(t) \sigma_z(t)} \exp \left[ -\frac{(x - \bar{u}t)^2}{2\sigma_x^2(t)} - \frac{y^2}{2\sigma_y^2(t)} - \frac{z^2}{2\sigma_z^2(t)} \right]$$

Donde:

- C = Concentración del contaminante en un área dada.
- $\mu$  = Velocidad del viento.
- x, y, z = Ubicación de la pluma.
- $\sigma_x \sigma_y \sigma_z$  = Desviación estándar de la pluma.

que puede simplificarse en ocasiones para adaptarse a determinados entornos. Así, considerado un homogéneo y estacionario, en el que el viento va en la dirección del eje X, se puede despreciar el efecto de dispersión representado por  $\sigma_x$  en el transporte en esa dirección, puesto que el efecto del viento es mucho mayor. Además, los restantes parámetros dependientes de la meteorología ( $\bar{u}$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$ ) se mantienen constantes. En estas condiciones, la ecuación gaussiana que define la dispersión de un contaminante desde un foco emisor puntual continuo se simplifica como:

$$\langle c(x, y, z) \rangle = \frac{q}{(2\pi)\sigma_y\sigma_z} \exp\left[-\frac{y^2}{2\sigma_y^2} - \frac{z^2}{2\sigma_z^2}\right]$$

donde q es el caudal másico de emisión del contaminante.

Muestra de ello es si en una carretera, en la dirección perpendicular al viento, se supone que la emisión q es homogénea a lo largo de toda la línea, esto modifica la expresión estacionaria reduciéndola a:

$$\langle c(x, z) \rangle = \frac{q}{(2\pi)^{1/2} \sigma_z} \exp\left[-\frac{z^2}{2\sigma_z^2}\right]$$

Estas expresiones solo pueden ser utilizadas en las condiciones indicadas, por lo que su aplicación en la realidad es muy restringida. Sucediendo lo mismo con la de gases pesados, que se deriva de la de Gauss. Dicha ecuación es:

$$C(x, y, z) = C_c \exp\left[-(y - b(x) / S_y(x))^2 - (z / S_z(x))^{1-a}\right] \quad y > b$$

Donde:

- C = Concentración del contaminante.
- $C_C$  = Concentración del contaminante al nivel del piso.
- b = Ancho de la sección horizontal de la pluma.
- $S_y, S_z$  = Parámetro de perfil de concentraciones.
- X, y, z = Posición del contaminante.

### III.4 Parámetros de modelación.

Los modelos de dispersión seleccionados para usarse en el presente trabajo, evalúan el riesgo de fugas de gases tóxicos, utilizando parámetros internos y externos que afectan la calidad del aire; entre éstos se encuentran las características fisicoquímicas, las condiciones de seguridad de los carrotanques, el tamaño del orificio de la fuga en el tanque y las condiciones ambientales exteriores que existen en el momento del siniestro. Los parámetros que involucran a los modelos de dispersión de contaminantes atmosféricos son descritos a continuación [46, 49, 51, 52].

#### Emisor o fuente de emisión.

El gasto másico y la velocidad total liberada son las variables que se miden cuando hay derrame o fuga en una determinada fuente de emisión; además de la densidad que clasifica a las emisiones gaseosas como:

- Ligeras:  $\rho_{\text{gas}} < \rho_{\text{aire}}$ .
  - Pasivas o neutros:  $\rho_{\text{gas}} = \rho_{\text{aire}}$ .
  - Pesadas:  $\rho_{\text{gas}} > \rho_{\text{aire}}$ .
-

Lo anterior se da porque la densidad contribuye a la dispersión de un contaminante en la atmósfera y a prever el comportamiento en las etapas iniciales del escape. Los gases en condiciones normales son más densos que el aire y tenderán a desplazarse hacia las zonas inferiores por lo que generan graves riesgos al medio.

Aunadas a la densidad, existen otras características que favorecen un comportamiento de gas pesado sin serlo, son:

- Peso molecular del gas.
- Presencia de gotas líquidas arrastradas en la emisión.
- Reacciones químicas en la nube, etc.
- Temperatura del gas.
- Temperatura y humedad del ambiente.
- Presión atmosférica.
- Fase en que se encuentra la sustancia liberada.

Todas las variables anteriores son importantes para una modelación significativa, pues modifican el comportamiento del gas.

### **Receptor (poblaciones humanas, ecosistemas, entre otros).**

Los derrames o fugas durante el transporte de cloro afectan al medio dependiendo del receptor que esté cerca del siniestro, esto es debido a que se dispersará el gas más fácilmente en el aire si hay condiciones climáticas y de espacio favorables con lo que disminuyen los riesgos de toxicidad, corrosividad y oxidación. No sucede así en presencia de asentamientos humanos, zonas agrícolas, bosques, centros industriales, entre otros; debido a que complican las acciones preventivas

---

o correctivas. Por tal situación se generan estrategias más elaboradas para asistir un accidente y disminuir riesgos ambientales y de salud que dependen de los límites de exposición del contaminante.

### Escenarios de liberación.

Los tipos de escape de contaminantes son conocidos como escenarios de liberación durante un incidente vía carretera; la nube que se forma y su dependencia con el tiempo se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 19. Tipos de Escape.

Tipos de escape	Tipo de nube formada	Dependen del tiempo
Instantaneos	Bocanada	No
Continuos	Penacho	No
Continuos	variable	Si

Existen escenarios generados por fugas pequeñas que pasan desapercibidas por tiempo prolongado que generan daños a largo plazo debido a que atacan veladamente a los organismos y al medio.

Cabe mencionar que un escape de cloro líquido representa una mayor riesgo que uno gaseoso debido a que libera mayor volumen de sustancia, además de que el número de fases en que se encuentra y su dependencia con la temperatura de almacenamiento lo incrementa. A pesar de ello, los modelos de dispersión no dependen del tamaño de la emisión.

### Topografía.

La topografía es importante ya que muchos contaminantes gaseosos se distribuyen a nivel del piso; por lo que se establecen valores típicos de rugosidad para distintos usos de suelo cercanos al siniestro (ver tabla 20),

Tabla 20 Valores típicos de la rugosidad ( $\epsilon$ ) del terreno.

Categoría de rugosidad del terreno	Ejemplos	$\epsilon$ (m)
Tierra llana	Huerta con pocos árboles	0.03
Tierra cultivable	Cultivos, huertas con árboles, aeropuertos	0.10
Tierra cultivada	Área abierta con matorrales, casas dispersas	0.30
Zona residencial	Área con edificación densa pero baja, bosques, instalaciones industriales bajas	1.00
Zona urbana	Ciudad con edificios altos, instalaciones industriales con obstáculos elevados	3.00

### Meteorología.

Las condiciones meteorológicas determinan la temperatura, humedad, velocidad, tipo de atmósfera y dirección del aire en el lugar del siniestro o de la modelación, además de que influyen en la dispersión en medio turbulento del contaminante gaseoso.

Estabilidad atmosférica, está depende de la turbulencia atmosférica, del gradiente vertical de temperatura y de la inversión térmica. Todas ellas presentan cambios bruscos o moderados dependiendo de las variaciones de la densidad del aire, debidas a los cambios de presión y temperatura. Por lo que la atmósfera presenta desde una moderada estabilidad hasta una extremada inestabilidad, como se muestra en la tabla 21.

Tabla 21. Categorías de estabilidad atmosférica definidas por Pasquill (1962).

<b>Categoría</b>	<b>Estabilidad</b>
A	Extremadamente inestable
B	Moderadamente inestable
C	Levemente inestable
D	Neutra
E	Levemente estable
F	Moderadamente estable

Fuente: Offside Consequence analysis guidance, EPA, 1999.

Todo lo anterior se define y se corrobora para obtener los diámetros afectados por las concentraciones peligrosas de gases tóxicos y con ello tomar las decisiones correctivas o preventivas en caso de un siniestro por derrame o fuga durante el transporte de gases tóxicos en autotankers.

### III.5 Paquetes comerciales para modelar dispersión de gases.

Los modelos gaussiano y de gases pesados están contenidos en el paquete más común llamado ALOHA versión 5.2.3 (localización de las áreas de atmósferas peligrosas) y solo el gaussiano en Archi versión 1.0 (Recurso automatizado para la evaluación de riesgos químicos). Por lo que ambos modelos son los más usados, ya que permiten conocer información rápida sobre las circunstancias que originan derramamiento accidental, y estiman la magnitud de la dispersión en dirección del viento. Debido a estos beneficios son empleados por la EPA (Environmental Protection Agency) para emitir decretos de seguridad durante el manejo de sustancias químicas peligrosas, todos ellos son requeridos por DOT (Departamento de Transporte de USA) para reglamentar dicho transporte[52].

#### III.5.1 Diferencias entre los paquetes comerciales ALOHA y ARCHIE.

Las diferencias entre los dos paquetes comerciales se aprecia en la tabla 22, ésta es importantes debido a que menciona los elementos que contiene y su comparación [ 52, 53, 54].

Tabla 22. Elementos que contiene ALOHA y ARCHIE[1]:

<b>Tratamiento de datos:</b>	ALOHA	ARCHIE
Contiene una biblioteca de Base de datos químicos (700compuestos).	*	-
Datos recogidos por la estación meteorológica portátil.	*	-
Archiva las características del accidente.	*	-
Se puede seleccionar las unidades de trabajo para los datos de entrada del modelo.	*	*
Dependencia del tiempo	*	*
Traza tablas de los datos obtenidos	-	*
Traza gráficas de la dispersión del gas.	*	-

Cont. Tabla 22.

**Datos requeridos de la fuente:**

La velocidad de entrada del contaminante.	*	*
La presión del gas en el tanque.	*	*

**Dispersión del vapor:**

Proporciona opciones de distancias posibles.	*	
Considera la altura(partiendo del piso) en que se encuentra la fuente.	*	*
Efectos de inversión.	*	
Gases neutros.	*	*
Gases pesados.	*	-
Considera la entrada de aire por la entrada o salida del contam.	*	-
Concentración y localización específica del contaminante.	*	-
Dosis de exposición de la localización específica.	*	-
Toma en cuenta factores que afectan la velocidad de emisión sobre el tiempo: evaporación de gases fríos provenientes de los tanques	*	-
Incorpora dos modelos de dispersión uno para calcular el comportamiento de la nube de vapor del gas y otro para modelar la dispersión de gases pesados.	*	-
Predice la duración de la liberación siempre y cuando no sea mayor de una hora, de lo contrario se debe retroalimentar ajustando las condiciones meteorológicas	*	*
Asume que todo el material sale del tanque	*	-
Se basa en la velocidad del sonido para conocer el flujo del gas.	*	*
Modela sustancias que se dispersan en el aire que producen incendios y/o peligros de explosión	-	*

### **III.5.2 Selección del paquete comercial.**

Con base en la comparación entre los elementos que aporta cada paquete comercial (ver cap.III.5.1, pp. 73 y 74 ), se seleccionó el de ALOHA ; ya que el programa aporta resultados tabulados y gráficos con lo que facilitará la interpretación de éstos para obtener una respuesta rápida durante la dispersión de gases pesados, como es el caso del cloro; además de que usa por separado los modelos que Gaussiano de pluma y de gases pesados (DEGADIS), favoreciendo una modelación representativa para el cloro. Cabe aclarar que éstos dependen del sitio evaluado y de las características físicas del gas liberado [52, 53, 54]. Otra ventaja es que la simulación da como resultado un diagrama, que muestra una visión aérea de la dispersión de las concentraciones del contaminante con lo que se sabrá si sus niveles son peligrosos.

### III.5.3 Limitaciones del paquete comercial.

Las limitaciones del paquete comercial están dadas por los mismos modelos en que se basan (como se mostró en la sec. III.3.1, p.66 y III.5, p. 73 ). Éstas se reducen si se usan parámetro de condiciones extremas, como se mencionaron en sec. III.4, p. 68). Aún con éstas sobreestimaciones surgen inconvenientes, como se mencionan a continuación [53, 54]:

1. Condiciones que generan problemas cuando se simula:

- Velocidades bajas del aire.
- Atmósferas estables.
- Topografía inestable.
- Concentraciones variables cerca de la fuente de emisión.

2. No predice situaciones como:

- Presencia de fuego o reacción química.
  - Reacción química.
  - Presencia de partículas suspendidas.
- 
-

---

---

**Referencias.**

[42]Centro Panamericano de Ecología. "Guías Para el Cálculo de Exposiciones" 1a. ed. Edit. Enviomental Protection Agency. México 1988. pp. 1-37.

[43]Sax I. "Dangerous Properties of Industrial Materials". 7a. ed. Edit. Van Nostrand. U. S. A. 1984. pp. 768-769.

[44] Liw D. "Air Pollutions". 1era. edit.Edit.Lewis Publishers. USA 2000. pp. 49-69.

[45]Baumbach G. "Air Quality Control". 1era. ed. Edit. Springer-Verlag. Alemania 1996. pp. 157-167.

[46]Baumbach G. "Air Quality Control. Formation and Sources, Dispersion, characteristics and Impact of air pollutants. Mesuring Methods, Techniques for Reduction of Emisions and Regulations for Air Quality Control" 1era. ed. Edit Springer-Verlag. Alemania 1996. pp 156-167.

[47]J.A. del Giorgio, "Contaminación Atmosférica. Métodos de Medidas y Redes de Vigilancia". 1ª ed. Edit. Alambra. España 1977. pp 145-159.

[48]Parker A. "Contaminación del Aire por la Industria". 1ª ed. Edit. Reverté. España 1986. pp.131-149.

[49]Freeman H. "Manual de Prevención de la Contaminación Industrial" 1ª ed. Edit Mc Graw-Hill. México D.F. 1998. 192-203.

[50]Lipták B. "Air Pollutions" 1ª ed. Edit. Lewis Publishers. USA 2000. pp. 49-67.  
Mitsch W. "Ecological Engineering. An Introduction to Ecotechnology". 1ª ed.Edit. John Wiley and Sons. USA 1989. pp 39-58.

[51]Nevers de N. "Air Pollution Control Engineering" 1ª ed. Edit. Mc Graw-Hill. Singapur 1995. pp 139-141.

---

---

[52]. Evans M. *"Modeling and Simulation Studies Branch, Hazardous Materials Response and Assessment División"* Report No. HAZMAT 93-2. Office of Ocean Resources Conservations and Assessment. National Oceanic and Atmospheric Administration. Seattle, Washington. Abril 1993.

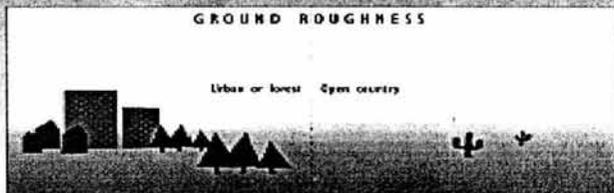
[53]. Manual del Usuario ALOHA versión 5.2.3 (localización de las áreas de atmósferas peligrosas) 1999.

[54]. Manual del Usuario Archi versión 1.0 (Recurso automatizado para la evaluación de riesgos químicos) 1999.

# IV. Selección del sitio y escenarios.



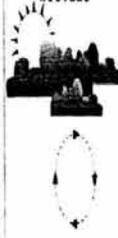
GROUND ROUGHNESS



UNSTABLE



NEUTRAL



STABLE



UNSTABLE

weak winds



SUNSHINE,  
STRONG HEATING  
MUCH TURBULENT  
MIXING

NEUTRAL

strong winds



NIGHTTIME  
COOLING  
LITTLE TURBULENT  
MIXING

STABLE

weak winds



\*In rare cases, stronger winds may be associated with  $\bar{F}$  stability.

## IV. Selección de sitios y escenarios.

El sitio elegido comprende el tramo carretero entre Pajaritos, Ver. y San Martín Texmelucan Pue. (líneas gruesas dibujada entre Coatzacoalcos y Puebla, mapas 2 y 3, pp. 80 y 81, respectivamente), éste sitio se determinó debido a la gran problemática que presenta la zona:

- Tiene un tránsito continuo de sustancias peligrosas.
- Es la ruta en que ocurren la mayor cantidad de accidentes (ver anexo D, p.106).
- Creciente explosión demográfica asentada en las orillas de las carreteras.
- Presencia de escenarios en condiciones críticas extremas estables de liberación (ver cap. III, p.72 y cap.IV, p. 83).
- Ubicación de las más importantes productoras de cloro y de PVC.
- Cercanía con empresas derivadas del petróleo y metalúrgica, que incrementan el riesgo de explosión o incendio al contacto con el cloro, como se mencionó en el cap. I, pp. 8-10.

En cambio en las rutas de Méx-Laredo y Méx-Jalisco, no se presentan con tanta incidencia como en las de Méx-Ver.

### IV.1 Sitios para la modelación.

Dentro de la ruta Ver-Pue se tiene que los puntos específicos a modelar son:

- Coatzacoalcos.
- Orizaba.
- Córdoba.
- Puebla.

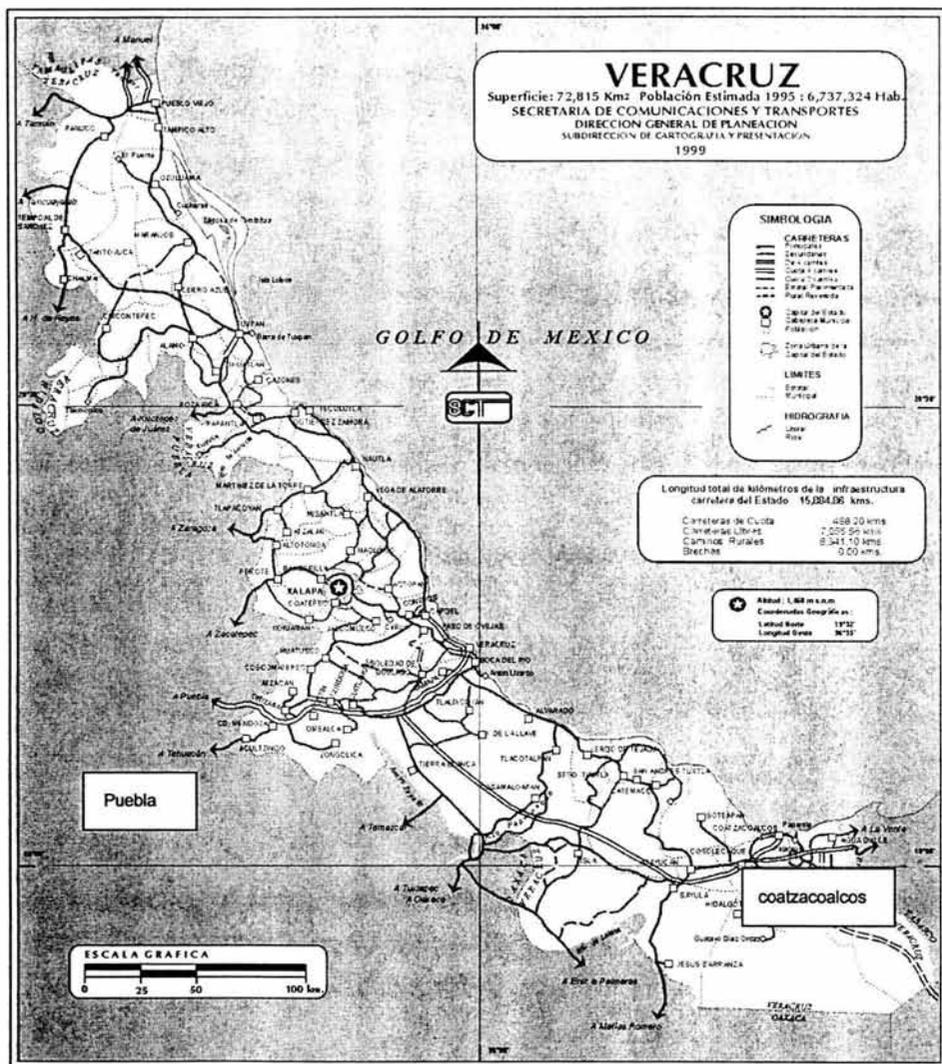
Dichos municipios se eligieron por estar más involucrados con la problemática descrita en el cap. IV, además de que la información que se requiere para modelar, se encuentra documentada solo para éstos lugares, así como por ser los sitios representativos de las zonas por donde circula el cloro entre Pajaritos y San Martín Texmelucan.

---

---

modelar, se encuentra documentada solo para éstos lugares, además de que son representativos de las zonas típicas de paso del cloro entre Pajaritos y San Martín Texmelucan.

Mapa 2. Carreteras de Veracruz.





## IV.2 Escenarios de liberación.

Durante la modelación se requiere conocer el tipo de escenario de liberación que se presenta durante los accidentes ocurridos cuando se transporta sustancias peligrosas. Para ello se especifica el volumen, la longitud y el diámetro del carrotanque; para evaluar los posibles daños que se suscitan en un accidente; esto se logra empleando el paquete comercial ALOHA[52].

El escenario de liberación que se adecua más a las necesidades de modelación (descritas en la sec. III.4, pp. 68-72 y IV.1, p. 79) es el de fuga instantánea, que consiste en una ruptura por la cual se libera espontáneamente el gas al medio ambiente. Ésta elección se debe a que los accidentes reportados presentan este escenario con mayor frecuencia [55, 56, 58].

Tabla 23 .Dimensiones del tanque para el transporte de cloro.

Dimensiones	Valor
Volumen	36, 223 L
Longitud	11.53 m
Diámetro	2m

Fuente: MS Carriers S.A de C.V., 2000.

Los tanques, diseñados y construidos bajo la especificación SCT-331 (anexo E, p. 108) se usan para transporta gases comprimidos a altas presiones, se fabrican para operar de 7 a 35 kg/cm<sup>2</sup>. Los gases reducen su volumen de 400 a 1[57].

La estabilidad atmosférica<sup>1</sup>(mencionado en el cap. III.4, p. 72) más común es la D para condiciones críticas extremas y F para frecuentes, ya que abarca un rango muy amplio de velocidades de viento en este caso la más crítica es la de menor velocidad del viento [60]. Aunado a todo lo anterior los escenarios a modelar se describen como se muestran en la tabla 24.

Tabla 24. Condiciones críticas y sus características.

<b>Tipo de Condiciones críticas.</b>		
	<b>Frecuentes<sup>a</sup>.</b>	<b>Extremas<sup>b</sup>.</b>
<b>Tipo de atmósfera.</b>	Inestable.	Estable.
<b>Tipo de cielo.</b>	No despejado.	Despejado.
<b>Temperaturas</b>	altas	Bajas
<b>Velocidad del viento</b>	< a 1.5 m/s	> a 1.5 m/s
<b>Humedad relativa.</b>	Alta.	Baja.

Fuente: Offside consequence análisis guidance; EPA, 1999.

a. Se dan durante el día.

b. Se dan durante la noche.

1. Obtenida de la tabla de estabilidades de Turner, 1970.

Con base en lo anterior, a continuación se mencionan los valores de los parámetros que se usarán par modelar en el programa de dispersión ALOHA; que están en función del sitio elegido (como se mencionó en la sec IV.1, p. 79).

Condiciones meteorológicas [52, 55].

Tabla 25 Condiciones de Coatzacoalcos, Ver.

Parámetro	Condiciones crít. extremas	Condiciones crít. frec.
Temperatura promedio del aire	15.57	26.5
Dirección predominante del viento.	N	N
Velocidad del viento.	1.5	3
Estabilidad atmosférica.	F*	D*
Humedad relativa.	8.05	10.56
Elevación (m.s.n.m.)	65	65
Latitud norte.	18°08'	18°08'
Longitud oeste.	94°24'	94°24'

Tabla 26 Condiciones de Cordoba, Ver.

Parámetro	Condiciones crít. extremas	Condiciones crít. frec.
Temperatura promedio del aire	15	27
Dirección predominante del viento.	N	N
Velocidad del viento.	1.5	3
Estabilidad atmosférica.	F*	D*
Humedad relativa.	36	45
Elevación (m.s.n.m.)	860	860
Latitud norte.	18°53'	18°53'
Longitud oeste.	96°55'	96°55'

Tabla 26 Condiciones de Orizaba, Ver.

Parámetro	Condiciones crít. extremas	Condiciones crít. frec.
Temperatura promedio del aire	14	27
Dirección predominante del viento.	N	N
Velocidad del viento.	1.5	3
Estabilidad atmosférica.	F*	D*
Humedad relativa.	37	45
Elevación (m.s.n.m.)	1230	1230
Latitud norte.	18°50'	18°50'
Longitud oeste.	97°05'	97°05'

Tabla 27 Condiciones de Puebla, Pue.

Parámetro	Condiciones crít. extremas	Condiciones crít. frec.
Temperatura promedio del aire	10	26
Dirección predominante del viento.	N	N
Velocidad del viento.	1.5	3
Estabilidad atmosférica.	F*	D*
Humedad relativa.	45	60
Elevación (m.s.n.m.)	2162	2162
Latitud norte.	19°02'	19°02'
Longitud oeste.	98°11'	98°11'

\*Ver tabla 21, pág.72.

Cabe aclarar quede acuerdo con CFR 40 parte 68.22 los escenarios críticos para liberaciones accidentales del cloro son a una velocidad de viento de 1.5 m/s (como se muestra en la tabla 23, p.83) [56].

### **IV.3 Receptores.**

Los receptores son las poblaciones: humanas, animales y vegetales, que se encuentran cerca de las carreteras por las que transitan los carrotanques que transportan cloro. Las concentraciones de éstos están localizados en los lugares designados para modelar, debido a que son las que presentan mayores densidades de receptores por sus actividades económicas y comerciales [59].

El presente trabajo tiene como finalidad, analizar las diferentes zonas por las que transitan los carrotanques para identificar los riesgos que corren los receptores y describir las condiciones que debe cumplir el tránsito del cloro por las zonas que sean de alto riesgo y/o implementar estrategias que permitan prevenirlo o atenderlo cuando no exista ruta alternativa.

---

---

## Referencias.

[52\*]Evans M. “ *Modeling and simulation Estudios Branche Hazardous Materials Response and Assesment División*”. Oficce of Ocean Resources Conservation and Assesment. National Ocenanic &Atmospheric Administration, Washington. Pp. 1-3.

[55]ACQUIM. "Atlas Nacional de Riesgos ". CENAPRED/SEGOB, México 2000.

pp. 166-170.

[56] EPA “*Parámetros de Referencia para la determinación de escenarios en el análisis de consecuencias*” Offsite consequence análisis guidance, USA 1999.

[57]Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-057-sct2/2001, “*Requerimientos para la construcción de autotankes destinados al transporte de gases comprimidos, especificación SCT 331*”. Piblicada en el Diario Oficial de la Federación el 11 de enero de 2002.

[58] Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-057-sct2/2001, “*Requerimientos para la construcción de autotankes destinados al transporte de gases comprimidos, especificación SCT 331*”. Piblicada en el Diario Oficial de la Federación el 11 de enero de 2002.

[59]INEGI. “*Anuario de Estadísticas por Entidad Federativa*” ed.2003.

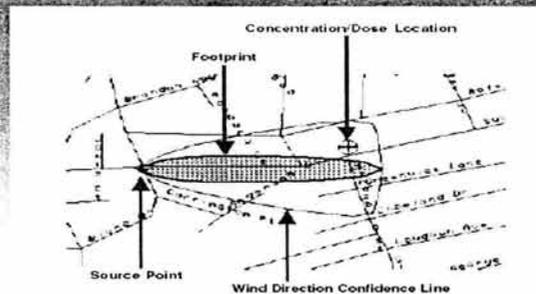
[60]Rivera D. “ *Metodología para la evaluación del riesgo en el transporte terrestre de materiales y residuos peligrosos*”. 1era. ed. Edit. CENAPRED. Méx. 2002, pp. 11-50.

---

---

\*Usado en el cap III.

# V. Resultados y análisis de la modelación.



## V. Resultados y análisis de la simulación.

De la tabla 29 a la 32, pp. 88-90 se muestran los resultados de la simulación de la dispersión de cloro en la atmósfera para Coatzacoalcos, Córdoba, Orizaba y Puebla (ver sección IV.1, p. 79). Los datos de los parámetros son producto de las condiciones climatológicas críticas extremas y frecuentes del sitio a modelar. Además cabe señalar que los diámetros de la fuga que se usaron en el paquete comercial de dispersión de gases (ALOHA), fueron sugeridos por personal del CENAPRED con base en los más comunes observados durante los siniestro reportados en la tabla 16, p. 43. La modelación se hizo suponiendo que la fuga se localizaba en el cuerpo, en alguna de las válvulas o en los tubos del autotanque.

Tabla 29. Resultados de la simulación en el transporte para Coatzacoalcos, Ver.

Parámetros.	Condiciones críticas											
	Extremas.						Frecuentes.					
	Tamaño del orificio de la fuga en el cuerpo del autotanque (pulg).			Tamaño de la abertura en una válvula o tubo del autotanque (pulg).			Tamaño de la abertura en el cuerpo del autotanque (pulg).			Tamaño de la abertura en una válvula o tubo del autotanque (pulg).		
	0.2	0.3	1.0	0.2	0.3	1.0	0.2	0.3	1.0	0.2	0.3	1.0
Distancia máx. donde se difunde el cloro (m).	818	1,200	3,700	560	799	2,500	492	763	2,700	300	470	1,700
Tiempo de liberación (min).	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
Flujo liberado (Kg/min).	7.18	16.20	178.00	2.89	6.50	72.10	7.18	16.20	178.00	2.89	6.50	72.10
Conc. fuera de las edificaciones(ppm).	20.60	37.60	271.00	10.50	19.10	122.00	9.76	21.60	163.00	3.97	8.96	84.90
Conc. dentro de las edificaciones(ppm).	4.34	7.89	51.40	2.20	4.04	24.60	3.80	8.37	61.10	1.55	3.49	32.50
Cant. total liberada de cloro(Kg).	431	966	10,229	173	390	4,312	431	966	10,230	173	390	4,312

Tabla 30 Resultados de la simulación en el transporte para Córdoba, Ver.

Parámetros.	Condiciones críticas											
	Extremas.						Frecuentes.					
	Tamaño del orificio de la fuga en el cuerpo del autotanque (pulg).			Tamaño de la abertura en una válvula o tubo del autotanque (pulg).			Tamaño de la abertura en el cuerpo del autotanque (pulg).			Tamaño de la abertura en una válvula o tubo del autotanque (pulg).		
	0.2	0.3	1.0	0.2	0.3	1.0	0.2	0.3	1.0	0.2	0.3	1.0
Distancia máx. donde se difunde el cloro (m).	858	1,300	3,900	516	744	2,500	535	819	2,900	303	476	1,700
Tiempo de liberación (min).	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
Flujo liberado (Kg/min).	8.19	18.40	203.00	2.94	6.62	73.50	8.19	18.40	2.30	2.94	6.62	73.50
Conc. fuera de las edificaciones (ppm).	22.20	40.70	194.00	10.50	19.00	123.00	11.40	24.70	179.00	4.06	9.14	84.40
Conc. dentro de las edificaciones (ppm).	4.90	8.99	35.00	2.30	4.20	26.00	4.47	9.54	67.80	1.60	3.61	32.80
Cant. total liberada de cloro (Kg).	491	1,103	1,1756	177	397	4,401	491	1,103	1,1751	177	397	4,401

Tabla 31. Resultados de la simulación en el transporte para Orizaba, Ver.

Parámetros.	Condiciones críticas											
	Extremas.						Frecuentes.					
	Tamaño del orificio de la fuga en el cuerpo del autotanque (pulg).			Tamaño de la abertura en una válvula o tubo del autotanque (pulg).			Tamaño de la abertura en el cuerpo del autotanque (pulg).			Tamaño de la abertura en una válvula o tubo del autotanque (pulg).		
	0.2	0.3	1.0	0.2	0.3	1.0	0.2	0.3	1.0	0.2	0.3	1.0
Distancia máx. donde se difunde el cloro (m).	856	756	3,900	279	433	2,500	524	807	2,800	296	470	1,700
Tiempo de liberación (min).	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
Flujo liberado (Kg/min).	8.19	18.40	203.00	2.94	6.62	73.60	8.19	18.40	203.00	2.94	6.62	73.50
Conc. fuera de las edificaciones (ppm).	22.20	22.00	307.00	3.38	7.65	123.00	10.90	24.10	174.00	3.89	8.91	82.00
Conc. dentro de las edificaciones (ppm).	5.10	5.20	64.20	0.808	1.81	27.10	4.21	9.15	64.60	1.50	3.43	31.30
Cant. total liberada de cloro (Kg).	491	1,103	1,1756	177	397	4,401	491	1,103	1,1750	177	3.97	4,401

Tabla 32. Resultados de la simulación en el transporte para Puebla, Pue.

Parámetros.	Condiciones críticas											
	Extremas.						Frecuentes.					
	Tamaño del orificio de la fuga en el cuerpo del autotanque (pulg).			Tamaño de la abertura en una válvula o tubo del autotanque (pulg).			Tamaño de la abertura en el cuerpo del autotanque (pulg).			Tamaño de la abertura en una válvula o tubo del autotanque (pulg).		
	0.2	0.3	1.0	0.2	0.3	1.0	0.2	0.3	1.0	0.2	0.3	1.0
Distancia máx. donde se difunde el cloro (m).	889	1,300	4,000	754	504	2,400	575	311	3,100	311	479	1,700
Tiempo de liberación (min).	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
Flujo liberado (Kg/min).	9.49	21.40	236.00	6.73	2.99	74.80	9.49	2.99	236.00	2.99	6.73	74.80
Conc. fuera de las edificaciones(ppm).	23.70	43.70	342.00	18.40	10.10	121.00	12.90	4.20	194.00	4.20	9.27	82.20
Conc. dentro de las edificaciones(ppm).	6.35	11.80	75.40	4.95	2.71	31.50	5.04	1.64	72.90	1.64	3.62	31.50
Cant.total liberada de cloro(Kg).	569	1,278	13,699	404	180	4,479	569	180	13,700	180	404	4,479

La gráfica 9, p. 92 muestra el comportamiento ascendente de la concentración de cloro con respecto al tiempo de una fuga o derrame de éste. Por lo que se puede estimar el tiempo aproximado en que se debe dar respuesta a la población afectada (dependiendo de la zona crítica o de tolerancia en que se encuentre, ambas mostradas en la fig. 8 p. 93).

Además de esto es importante hacer notar que el cloro es un gas pesado que se concentra a nivel del piso con alturas que van de los 8 a los 12 m (a temperaturas extremas) y de 1.5 a 2 m (a temperaturas bajas) y que tiene una forma de dispersión cónica (ver fig. 8, pág. 93); cabe mencionar que esta información no es proporcionada por el modelo sino por la observación durante los accidentes por parte del SETIQ y CENAPRED, entre otros; por lo que el comportamiento de la dispersión del gas no es exactamente como lo muestra "aloha" (ver sección III.5.2, p. 75), pues por ser un siniestro en carretera, el

---

---

movimiento del contaminante no sólo está determinado por la dirección del viento, sino también por el tránsito automovilístico que circula y por la topografía del lugar, esta aclaración se hace debido a que el modelo sólo considera terrenos planos y direcciones fijas del viento (como se puede apreciar en el anexo F, p.109 y tablas de la 24 a la 27, pp. 84-85).

Por otra parte, tanto el tiempo como la distancia máxima de dispersión son directamente proporcionales al tamaño de la fuga o derrame, como se puede apreciar en las tablas 29 a la 32, pp. 88-90; además se muestra en esas tablas que los tiempos y las distancias son mayores cuando se da una fuga en el autotank y menores cuando se da en su válvula, brida o tubo.

Tomando en cuenta lo anterior, se tiene que cuando se presenta un diámetro de fuga entre 0.2 y 0.3 pulgadas ya sea en el cuerpo, en las válvulas, en las bridas, en los tubos del autotank (en la fig, 10, p. 93 se muestran estas partes sin fuga) las distancias o radios de difusión del cloro se acercan al valor de 800 m, que es la reportada en la guía 124 del "North American Emergency Response Guidebook" (ver anexo G, 110). Con esto no se quiere decir que sea la fuga típica en todos los siniestros, sino que se considera que las fugas son menores a 0.2 y 0.3 pulgadas de diámetro, esto da como consecuencia que las áreas críticas de dispersión sean menores. Cabe aclarar que el modelo deja de proporcionar datos gráficos a partir de un diámetro de orificio menor o igual a 0.1 pulgadas y el tiempo máximo de dispersión que proporciona es de 60 minutos, producto de las limitantes mencionadas del modelo (ver sección III.5.3, p.76) con lo que no se supone que el tiempo real de dispersión del gas es mucho mayor.

Las fugas o derrames comunes que se pueden suscitar son debidas a la mala o baja calidad de la soldadura del cinturón y/o a la antigüedad del tanque. Otra causa común es cuando se vuelca éste (como se muestra en las figs. 9 a y b, p. 94) y la válvula de relevo se estrangula o la brida se daña por el impacto con el piso.

---

---

Cabe aclarar que en un autotanque presurizado entre 7 y 35 kg/cm<sup>2</sup> [57, cap. IV] y temperaturas aproximadas a los -30 °C, el cloro contenido es líquido (ver cap. I.2, p. 11) por lo que al existir un orificio se derrama, pero inmediatamente se convierte en fuga ya que por la diferencia de presión y temperatura con el ambiente, dicha sustancia pasa al estado gaseoso con facilidad, para lograr ésto absorbe calor de los cuerpos hasta a veces congelarlos.

Gráfica 9. Variabilidad de la concentración con el tiempo en el transporte de cloro.

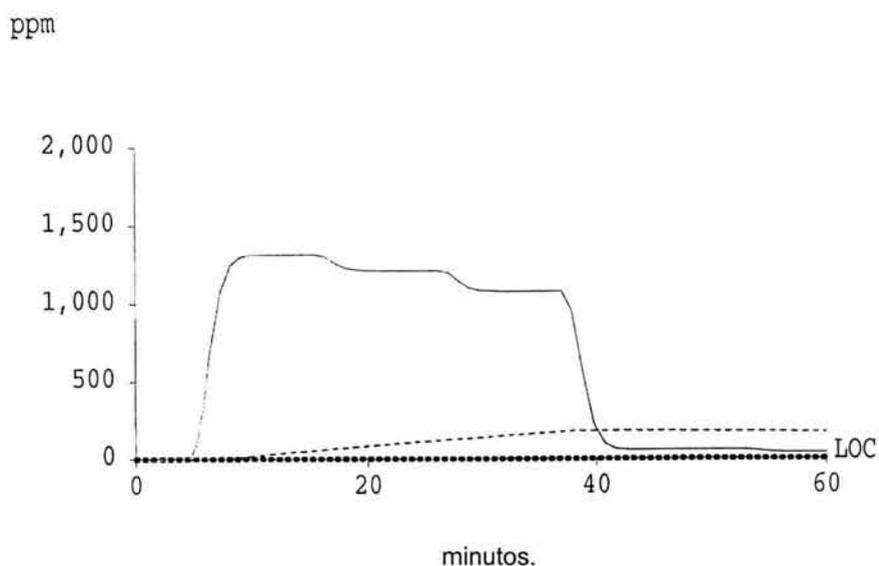


Fig. 8 Distancia en donde la concentración se difunde en el transporte de cloro.

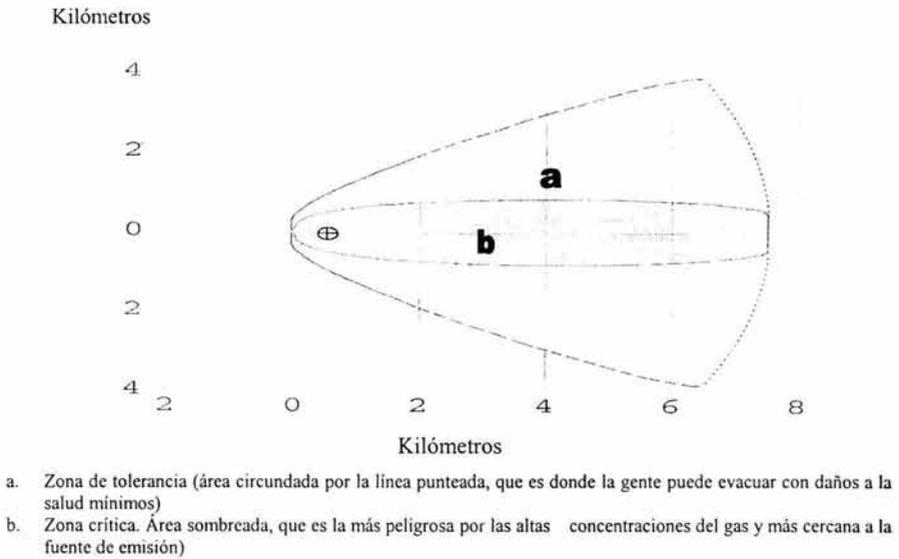
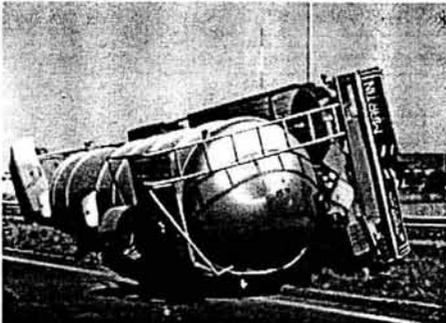


Fig. 9 Volcadura de autotanques.

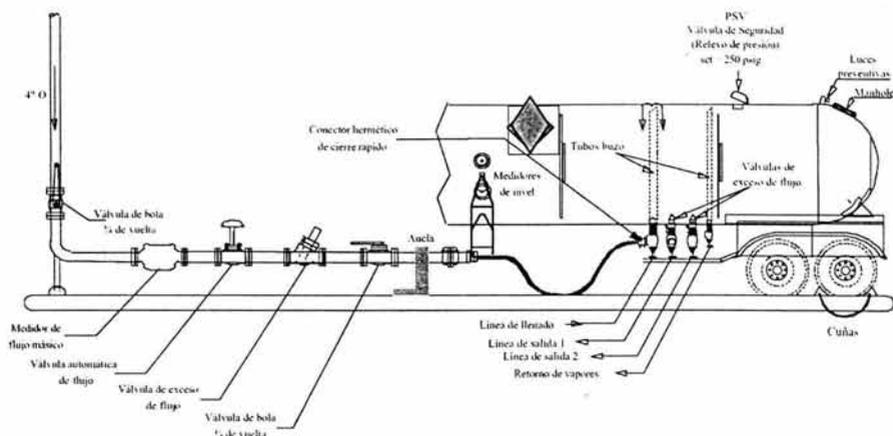
a) Volcadura en que se estrangula la válvula de relevo.



b) Volcadura típica que causa ruptura del cinturón de la soldadura.



Fig. 10 Partes, válvulas, tuberías y accesorios que contiene un autotanque y instalación típica de llenado.

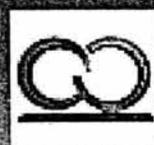


Fuente: PROY-NOM-057-SCT2/2001, p. 23.

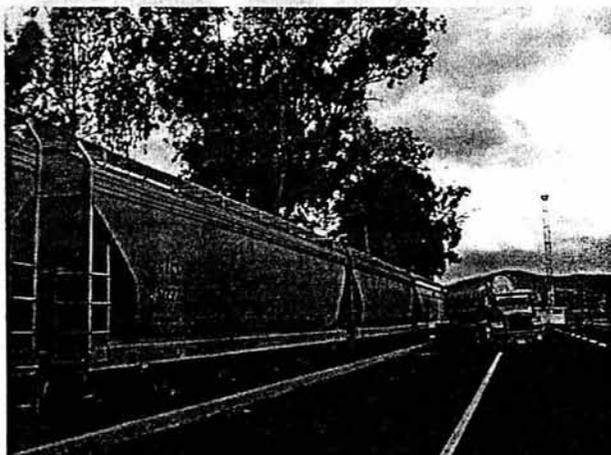
Con base a los datos obtenidos de todo lo anterior se establece que para los tramos carreteros que son utilizados para el transporte de gas cloro que pasa por Coatzacoalcos, Córdoba, Orizaba y Puebla, el intervalo del radio de afectación crítica (ver fig. 8 p. 93) es menor a 800 m a la redonda, con un tiempo de liberación mayor a 60 minutos y el flujo de liberación es de 4 kg/min en promedio, además la concentración dentro de las edificaciones tiene un intervalo que va de 4.34 a 6.35 ppm, que de acuerdo con la tabla 15, p.40 origina en la población desde una simple incomodidad para respirar hasta posibles irritaciones de los órganos respiratorios y riesgo de bronquitis, en esta situación se aplica los primeros auxilios descritos en la sección 1.6, p. 41. Para el caso de fuera de las edificaciones es de 431 a 569 ppm, dicho intervalo de concentración genera la muerte. La evacuación no se debe hacer en la dirección del viento, ya que también es la del contaminante.

**Nota:** En la contraportada del presente trabajo, se incluye un disco compacto con el modelo de dispersión y su manual de usuario.

# VI. Aportaciones.



SETIQ



## VI. Aportaciones.

La preocupación principal al elaborar este trabajo ha sido los riesgos que presenta el transporte de gas cloro vía carretera, dado que es tóxico con repercusiones al ser humano y al ambiente, por lo que con base en el análisis de resultados se recomienda:

Identificar a las empresas que comparten rutas de distribución de sustancias peligrosas que comparten rutas de distribución, para elaborar en conjunto con las que transportan cloro programas preventivos, brigadas de apoyo en las carreteras de uso común, lo cual se logra monitoreando el autotanque en los puntos de control. Los cuales se eligieron partiendo del lugar en que se carga cloro, que en este caso se inicia en Pajaritos, Ver. hasta la descarga en San Martín Texmelucan, Pue. Dichos puntos deben estar ubicados en: Coatzacoalcos-Cosoleacaque-Isla-La tinaja-La luz-Fortín-Esperanza-Amazoc-San Martín Texmelucan (representada con una línea de doble ralla en los mapas 2 y 3, cap. IV, pp. 80-81). Estas zonas son las que presentan problemas para el transporte debido a la topografía, al clima y a la cercanía de las poblaciones con las carreteras de riesgo, Cabe mencionar que estos puntos facilitan la supervisión por la infraestructura de la carretera.

Funciones del personal que monitore a las unidades en los puntos de control:

- Supervisar frecuentemente a las unidades durante sus trayectorias, apoyándose en el capítulo IV del reglamento para el Transporte Terrestre de Materiales y Sustancias Peligrosas.
  - Asegurar que los conductores no transporten personas ajenas.
  - Llevar una bitácora de incidentes, accidentes o de fenómenos que se presenten que puedan generar problemas a los autotaneques.
  - Estar capacitados para apoyar en caso de siniestro cuando se requiera.
-

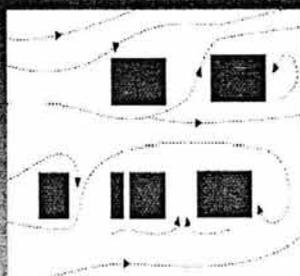
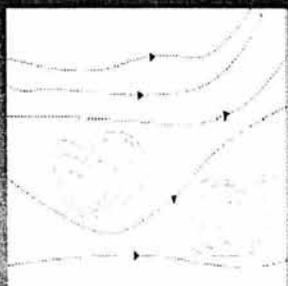
- Detener la unidad que presente cualquier indicio que pueda generar fuga o volcadura y reportarla.
- Colocar y mantener en buen estado las señalizaciones en zonas de riesgo para la población con base en la normatividad (cap II, p.49), en la hoja de transporte, (anexo C, p. 103) y en la Guía 124 ( Anexo G, p. 110), en las que indiquen:
  - El tipo de sustancias que transita por el lugar y sus efectos nocivos (sec. I.6, p.38)
  - Descripción de las estrategias de evacuación y atención a la salud (Anexos C, p.103 y G, p. 110).
  - Ilustración detallada de la zona crítica y de tolerancia (sec. V, p.93fig. 8).
  - Fuentes de información, comunicación y reportes de siniestros (teléfonos, lugares, etc).
  - Rutas y dirección en que se debe evacuar (cap. V, p.88).
  - Tiempo en que se debe permanecer dentro de sus casas con las ventanas, puertas o cualquier orificio por el que pueda entrar el gas cloro, éstas deberán estar totalmente cerradas y herméticas (cap. V, p.88).
  - Especificar que el cloro se mantiene a nivel del piso, aún con montículos y que la altura de la nube es de 2 a 8m con un radio aproximado de 800m por lo que se debe evacuar fuera de éste.
- Reportar asentamientos irregulares que generen riesgo por estar dentro de la zona crítica (fig. 8, p.93).
- Reportar la presencia de condiciones climatológicas ya extremas o frecuentes, según sea el caso a la empresa transportadora de cloro y a los chóferes (sec. IV.2, p.82).
- Contar con equipo de atención de emergencias médicas como son camillas, mascarillas con protección de ojos y purificador de aire, maletín con material de curación y broncodilatadores para atención inmediata (sec. I.6, p.41).
- Disponer con Kits recomendados en la hoja de seguridad de los anexos C, p. 103 y G, p.110.
- Elaborar simulaciones con el programa de dispersión de gases pesados (ALOHA) con las condiciones climatológicas que prevalezcan para cada día para recaudar información del comportamiento de las nubes de cloro en caso de una posible fuga o derrame.

Con base en el cap. V, p.88 (en el que se señala los resultados y su análisis) se sugiere:

- Elaborar un manual que explique estrategias para evitar o atender volcaduras, así como saber que hacer en caso de que ocurran.
- Crear un cuestionario interno que permita construir mapas de riesgo (en función de volumen y frecuencia de accidentes para compararlos con los reportados a SETIQ, SENACOM y CENAPRED).

Esto permitirá capacitar y certificar brigadistas para auxiliar en siniestros con la implementación de acciones preventivas o correctivas durante el transporte de cloro vía carretera. Otra estrategia que se puede implementar para reforzar lo anterior es monitorear los autotankers vía satélite.

# VII. Conclusiones.



---

---

## VII. Conclusiones.

Por la situación en la que se encuentra el transporte de cloro referente a su diversidad de usos (ver anexo B, p.102) y a la escasa tecnología de modelación, así como a la carencia o desconocimiento de la normatividad nacional e internacional se considera relevante que:

1. El cloro es utilizado en gran medida por la industria del PVC, del papel, de tratamiento de aguas, de fabricación de solventes y de síntesis de diferentes compuestos orgánicos, por todo esto su importancia es reflejada en la producción anual nacional e internacional, ya que forma parte de los productores más importantes del mundo.
  2. La legislación mexicana esta basada en la normatividad internacional emitida por el consejo de seguridad para el transporte de sustancias peligrosas de la ONU y como consecuencia por los decretos CFR del departamento de HAZMAT (DOT), a través de documentos ("North American Emergency Response Guidebook y el reglamento internacional de transporte de materiales y sustancias peligrosas"). Muestra de ello son los reglamentos de la SCT.
  3. El modelo empleado para el análisis de la dispersión de nubes de cloro en la atmósfera es el gaussiano, por proporcionar datos aproximados a la realidad en forma inmediata y sencilla con una mínima información.
  4. El paquete comercial que se ajusto para las necesidades del presente trabajo fue el de ALOHA, ya que contiene tanto el modelo gaussiano como el de gases pesados (DEGADIS). Este paquete muestra resultados tabulados, área de afectación, tiempo de liberación y concentraciones en zonas críticas y de tolerancia con lo que se pueden establecer radios a evacuar aunque con una precisión que depende del orificio de la fuga.
  5. Los inconvenientes del paquete comercial son que no gráfica áreas de afectación para orificio de fuga menores a 0.1 pulgadas ni tiempos mayores a 60 minutos.
  6. Los parámetros elegidos fueron para los peores escenarios, éstos son los que se presentan en condiciones extremas y frecuentes. Lo anterior se hizo para sobrestimarlos, para obtener resultados que abarcaran un intervalo confiable.
  7. Los sitios para la modelación fueron Coatzacoalcos, Orizaba, Córdoba y Puebla, estos se escogieron al considerar que son los que tienen una gran población cerca de las carreteras en que se transporta el cloro y son los más representativos para el tramo entre Pajaritos, Ver. y San Martín Texmelucan, Pue. Además por su importancia en el país, fue más fácil encontrar los datos meteorológicos y topográficos empleados en el paquete de modelación.
- 
-

8. Los resultados obtenidos en la simulación de la dispersión de gas cloro para los sitios a modelar son:

Parámetros.	Ubicación de la fuga o derrame.	
	Cuerpo del tanque	Válvula de relevo, brida ó tubos
Diám. de la fuga.	> 0.2 pulg.	> 0.3 pulg.
Radio de afectación.	800 m	800 m
Tiempo de liberación.	<6 min	< 60 min
Flujo de liberación.	4 kg/min	4 kg/min

Cabe aclarar que las alturas de la nubes contaminantes fluctúan entre 1.5 y 8 m, estos valores dependen de las condiciones climatológicas y del tránsito de automóviles por las carreteras en que se suscite el accidente.

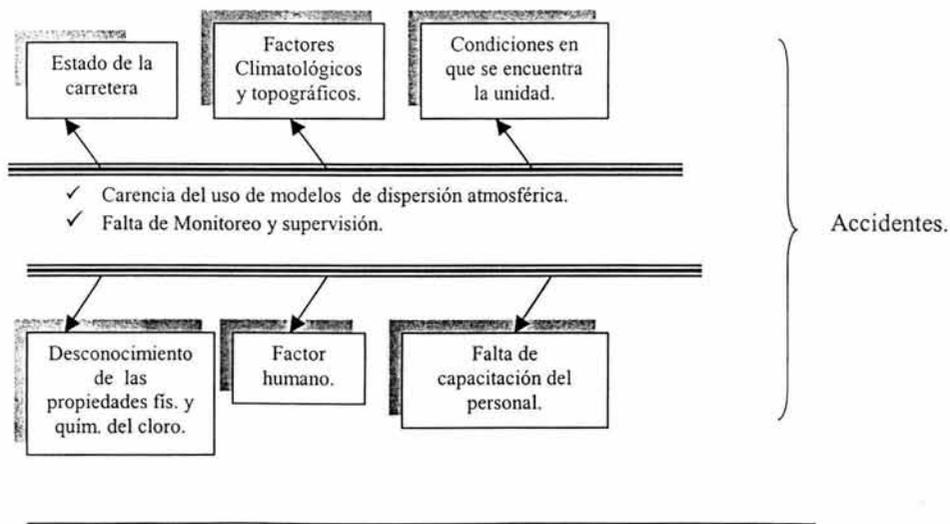
En la siguiente tabla se muestran los valores de las concentraciones que se pueden tener tanto dentro como fuera de las construcciones cerradas.

Edificaciones.	Concentraciones (ppm).	Daños a la salud.	Atención médica.
Dentro.	De 4.34 a 6.35	Irritación de los órganos respiratorios y riesgo de bronquitis.	Ver. p. 41 de
Fuera.	431 a 569	Muerte	----

9. La comunicación de riesgos, respuesta a emergencias y su evaluación son importante para preservar vidas y el ambiente, por lo que se recomienda seguir el siguiente esquema.



10. Causas que generan accidentes por derrame o fuga cuando ocurre: volcadura, salida del camino, descompostura o choque en el transporte de cloro vía carretera.





## Anexo A. Factores de conversión.

LONGITUD							
UNIDAD	PULGADAS	PIES	MILLAS	MILÍ- METROS	CENTÍ- METROS	METROS	KILÓ- METROS
PULGADAS	1	0.8333	-	25.4	2.54	0.0254	-
PIES	12	1	-	304.8	30.48	0.3048	-
MILÍMETROS	0.03937	0.003281	-	1	0.1	0.001	-
CENTÍMETROS	0.3937	0.032808	-	10	1	0.01	-
METROS	39.3701	3.28084	-	1,000	100	1	0.001
KILÓMETROS	39,370	3,280.8	0.62137	-	100,000	1,000	1

ÁREA O SUPERFICIE						
UNIDAD	PULGADAS CUADRADAS	PIES CUADRADOS	ACRES	MILÍ- METROS CUADRADOS	CENTÍ- METROS CUADRADOS	METROS CUADRADOS
PULGADAS CUADRADAS	1	0.006944	-	645.16	6.4516	0.00064516
PIES CUADRADOS	144	1	-	92,903.04	929.0304	0.09290
MILÍMETROS CUADRADOS	0.00155	-	-	1	0.01	-
CENTÍMETROS CUADRADOS	0.1550	0.001076	-	100	1	0.0001
METROS CUADRADOS	1,550.0031	10.76391	0.000247	-	10,000	1

## Temperatura



$$0.555 (°F - 32) = \text{Grados Celsius (°C)}$$

$$(1.8 \times °C) + 32 = \text{Grados Fahrenheit (°F)}$$

$$°C + 273.15 = \text{Grados Kelvin (°K)}$$

## Cont. Anexo A.

### Unidades de Volumen

Pulgadas cúbicas (pulg. <sup>3</sup> )	x	16.3871	=	Centímetros cúbicos (cm <sup>3</sup> )
Pies cúbicos (pie <sup>3</sup> )	x	28,317	=	Centímetros cúbicos (cm <sup>3</sup> )
Pies cúbicos (pie <sup>3</sup> )	x	0.028317	=	Metros cúbicos (m <sup>3</sup> )
Pies cúbicos (pie <sup>3</sup> )	x	28.317	=	Litros (lt)
Galones (gal)	x	3.7854	=	Litros (lt)
Galones (gal)	x	0.0037854	=	Metros cúbicos (m <sup>3</sup> )

### Unidades de Presión

Libras/pulgada cuadrada (psi)	x	6.8948	=	Kilopascales (kPa)
Libras/pulgada cuadrada (psi)	x	0.00689	=	Pascales (Pa)
Libras/pulgada cuadrada (psi)	x	0.070307	=	Kilogramos/centímetro cuadrado (kg/cm <sup>2</sup> )
Libras/pie cuadrado (lb/pie <sup>2</sup> )	x	47.8803	=	Pascales (Pa)
Libras/pie cuadrado (lb/pie <sup>2</sup> )	x	4.8824	=	Kilogramos/metro cuadrado (kg/m <sup>2</sup> )

### Unidades de masa

Libras (lb)	x	453.59	=	Gramos (g)
Libras (lb)	x	0.4536	=	Kilogramos (kg)
Toneladas (cortas: 2,000 lb)	x	0.9072	=	Megagramos (tonelada métrica)

### Energía

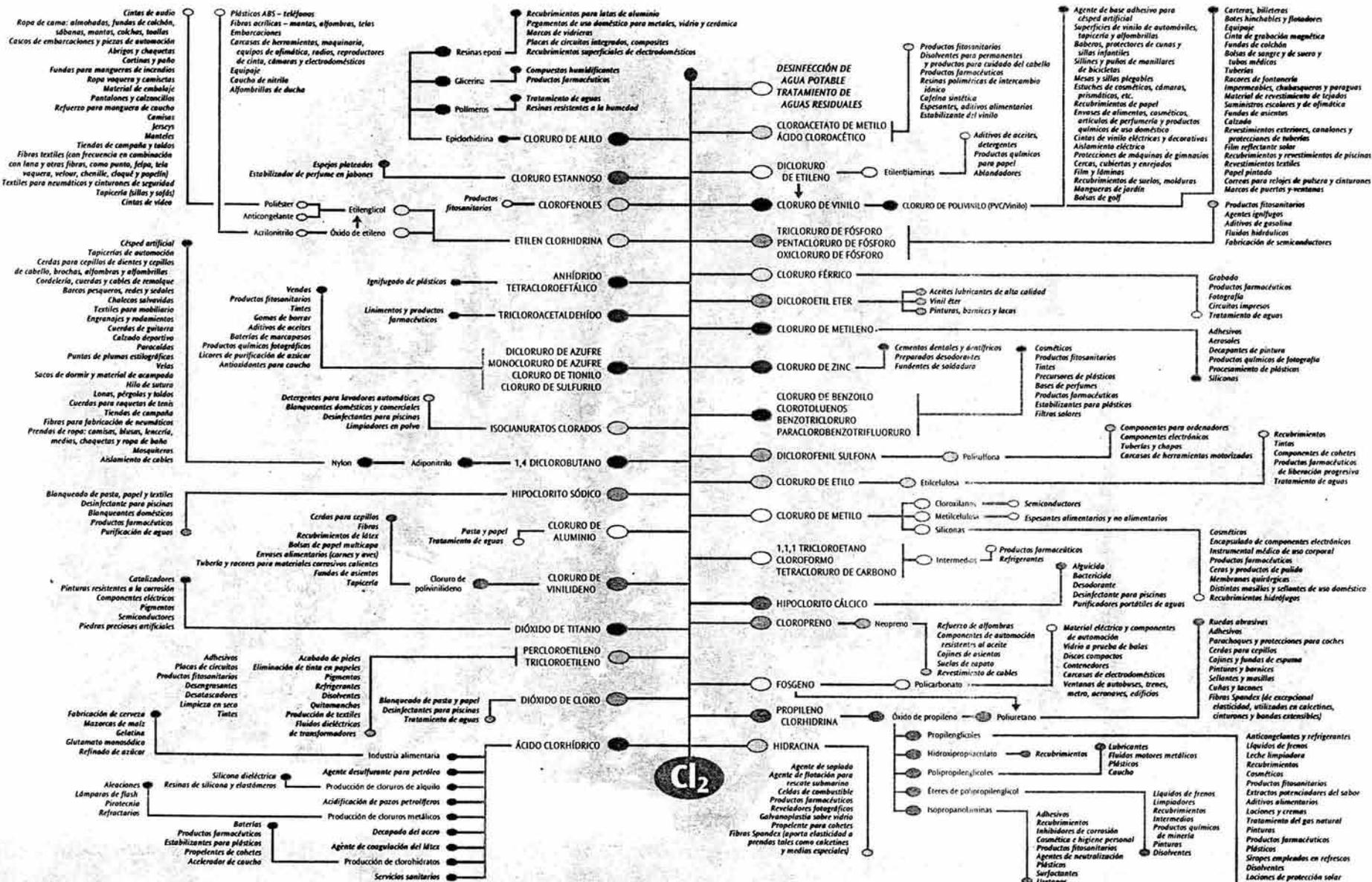
Para convertir de	a	multiplicar por
calorías (cal)	Jule (J)	4.148
calorías (cal)	British Termal Units (BTU)	3.9651 · 10 <sup>-3</sup>
British Termal Units (BTU)	julios (J)	1055.06
British Termal Units (BTU)	calorías (cal)	252.2

# Productos del árbol del cloro

El cloro es uno de los elementos químicos más abundantes en la naturaleza. También ocupa un puesto muy destacado en la fabricación de miles de productos de los que dependemos cada día.

Anexos.

Anexo B. Productos que se obtienen con cloro.



Fuente: Charles River Associates



ANE  
 Para más información:  
 Centro de Información del Cloro  
 Edificio El Cano  
 Paseo de Gracia, 64, 2-0  
 08007 Barcelona  
 Tel. 91 555 12 17 - Fax. 91 215 07 67  
 info@cloro.info  
 www.cloro.info

http://www.cloro.info/grafics/ARBOL\_CLORO.pdf

## Anexo C. Hoja de datos de seguridad para el transporte de cloro.

HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD  
PARA MATERIALES PELIGROSOS

FICHAS TÉCNICAS Y DATOS DE SEGURIDAD DE CLORO

FICHAS TÉCNICAS Y DATOS DE SEGURIDAD DE CLORO

FICHAS TÉCNICAS Y DATOS DE SEGURIDAD DE CLORO

## I. DATOS GENERALES DEL RESPONSABLE DE LA SUSTANCIA

NOMBRE DEL FABRICANTE O PROVEEDOR: Cloro de Tehuantepec, S.A. de C.V.

DOMICILIO COMPLETO: Complejo Industrial Pajaritos, Coatzacoalcos, Veracruz

EN EMERGENCIAS COMUNICARSE AL TELEFONO: 01 800 71 21275, Fax: 01 921 219 00 62

## II. IDENTIFICACION DE LA SUSTANCIA

NOMBRE QUIMICO: <b>CLORO</b>	NOMBRE COMERCIAL: CLORO LIQUIDO	SINONIMOS: Ninguno
FORMULA QUIMICA: Cl	FORMULA MOLECULAR: Cl <sub>2</sub>	FORMULA DESARROLLADA: Cl-Cl
GRUPO QUIMICO: VIA, GASES HALOGENOS	PESO MOLECULAR: 70.906 gr/mol	IDENTIFICACION: UN 1017, CAS 7782-50-5, EINEC 231-969-5, RTECS FO210000

## III. IDENTIFICACION DE COMPONENTES RIESGOSOS

NOMBRE DEL COMPONENTE	%	No. ONU	No. CAS	CPT				GRADO DE RIESGO				
				CPT	CCT	P	IPVS	R	ESP	E.P.P.		
Cloro	99.5	1017	7782-50-5	3	9	9	30	4	0	0	oxi	SCBA, Traje Encapsulado

## IV. PROPIEDADES FISICOQUIMICAS

1. ESTADO FISICO	Gas / liquido	13. CAPACIDAD CALORIFICA	0.473 KJ / Kg °C
2. COLOR	Amarillo verdoso / ámbar	14. DENSIDAD DE VAPOR (aire = 1)	2.482 (0° C, 1 atm)
3. OLOR (olor umbral 0.31 ppm en aire)	Picante, irritante, sofocante	15. DENSIDAD RELATIVA (agua = 1)	1.468 (0° C)
4. TEMPERATURA DE EBULLICION	-34.05° C a 1 atm	16. DENSIDAD DEL GAS SECO	3.209 gr / cc (0° C, 1 atm)
5. TEMPERATURA DE FUSION	-101.00° C a 1 atm	17. DENSIDAD DEL LIQUIDO	1.468 gr / cc (0° C, 1 atm)
6. TEMPERATURA DE INFLAMACION	El cloro es un material no inflamable en el aire pero mantiene la combustión.	18. RELACION GAS / LIQUIDO	463.8 litros (0° C, 1 atm)
7. TEMPERATURA DE AUTOIGNICION		19. COEFICIENTE DE EXPANSION	21.9 %
8. L.S. INFLAMABILIDAD-EXPLOSIVIDAD	Forma mezclas explosivas con el hidrógeno y otros gases inflamables	20. SOLUBILIDAD EN AGUA	7.1 gr / l (20° C, 1 atm)
9. L.I. INFLAMABILIDAD-EXPLOSIVIDAD		21. PRESION DE VAPOR	6.62 atm (25° C)
10. CALOR DE COMBUSTION		22. % DE VOLATILIDAD (Por Volumen)	100 %
11. CALOR DE VAPORIZACION	68.8 cal/gr (-34.05° C, 1 atm)	23. VEL. DE EVAPORACION (bulbosidad=1)	No Determinado
12. CALOR DE FUSION	22.8 cal/gr	24. TEMPERATURA DE DESCOMPOSICION	No Aplica

## V. RIESGOS DE FUEGO O EXPLOSION

A. MEDIO DE EXTINCION:	CO <sub>2</sub> : X	NIEBLA DE AGUA:	ESPUMA: X	PQS: X	OTRO (especificar): Ninguno
B. EQUIPO DE PROTECCION PERSONAL:	Los bomberos deben usar equipos de respiración autónoma (SCBA) y traje encapsulado de nylon recubierto con butyl, tyvek o materiales con resistencia química al cloro.				
C. PROCEDIMIENTO Y PRECAUCIONES ESPECIALES EN EL COMBATE DE INCENDIOS:	Aisle de 100 a 200 metros para recipientes de 68 Kg de cloro y de 800 metros en todas direcciones si un carro tanque o plataforma con contenedores se ve involucrada en un incendio. Aléjese si las válvulas de seguridad abren o si se presentan ruidos, deformaciones o decoloración en los recipientes. Evalúe los riesgos y haga su plan de ataque. Muchos metales arden en presencia del cloro (ejemplo el acero a 252° C (485° F)). Retire los recipientes del fuego si es posible o enfriarlos con agua siempre y cuando no exista fuga de cloro. Use sólo niebla de agua para evitar la dispersión rápida del cloro en el aire.				
D. CONDICIONES QUE CONDUCE A OTRO RIESGO ESPECIAL:	Nunca usar agua cuando un recipiente ya sea cilindro, contenedor o carro tanque este fuyendo cloro. En este caso utilice el equipo de control de fugas específico para cada recipiente de acuerdo a su entrenamiento recibido. Puede usar agua solo para control del fuego alrededor de recipientes con cloro.				
E. PRODUCTOS DE LA COMBUSTION TOXICOS O NOCIVOS PARA LA SALUD:	Ninguno, el cloro no se descompone; puede reaccionar con los gases de combustión de las sustancias químicas involucradas en un incendio, el cloro es un oxidante muy fuerte.				

## VI. RIESGOS DE REACTIVIDAD

A. SUSTANCIA:	ESTABLE:	INESTABLE: <b>X</b>	EXTREMADAMENTE INESTABLE:
B. CONDICIONES A EVITAR:	No almacene ni transporte cloro con sustancias incompatibles. El cloro seco es muy reactivo con metales como titanio, estaño y otros sobre todo si están en polvo y calientes. Almacene los cilindros y contenedores en lugar fresco, ventilado y bajo techo, libre de humedad y alejados de fuentes de calor. Recuerda que el cloro es altamente reactivo y más en presencia de humedad (agua).		
C. INCOMPATIBILIDAD (sustancias a evitar):	Reacciona violentamente generando calor, fuego o explosión con las siguientes sustancias químicas: Turpentina, éter, amoníaco gas, hidrocarburos, hidrógeno, metales en polvo y calientes, polidimetilsiloxano, propileno, polipropileno, etileno, acetileno, óxido de etileno, etileno, sileno, grasas minerales, ácido sulfámico, As <sub>2</sub> (CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> , UO <sub>2</sub> , acetaldehído, alcoholes, sales de alquil-isotiocianuro, alquil-sulfonios, Al, Sb, As, As <sub>2</sub> , AsH <sub>3</sub> , BaP <sub>2</sub> , CaH <sub>2</sub> , Bi, B, BP <sub>1</sub> , B <sub>2</sub> S <sub>3</sub> , latón, BiF <sub>3</sub> , Ca, CaCl <sub>2</sub> +KOH, Ca(ClO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> , Ca <sub>3</sub> N <sub>2</sub> , CaP <sub>2</sub> , C, CS <sub>2</sub> , Cs, CsHC, Co <sub>2</sub> O, Cs <sub>2</sub> N, C+Cr(ClO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> , Cu, CuH <sub>2</sub> , Cu <sub>2</sub> C, diaquilosulfonios, diborano, dibutiltalato, Zn(C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> , C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> , etilaminina, C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> PH <sub>2</sub> , F <sub>2</sub> , Ge, glicerol, (NH <sub>3</sub> ), H <sub>2</sub> O+KOH, I <sub>2</sub> , hidroxibmina, Fe, FeCl <sub>2</sub> , Li, Li <sub>2</sub> C <sub>2</sub> , Li <sub>2</sub> O, Mg, Mg <sub>2</sub> P <sub>2</sub> , Mn, MnP <sub>2</sub> , HgO, Hg <sub>2</sub> , Hg, Hg <sub>2</sub> P <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , Nb, Nb <sub>2</sub> O <sub>7</sub> , OF <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> , OF <sub>2</sub> +Cu, PH <sub>3</sub> , P, P(SnCl <sub>2</sub> ), P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , PCB's, K, KHC <sub>2</sub> , KH, Ru, RuHC <sub>2</sub> , Si, SiH <sub>4</sub> , Ag <sub>2</sub> O, Na, NaHC <sub>2</sub> , Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> , SnF <sub>2</sub> , SbH <sub>3</sub> , SnP <sub>2</sub> , Te, Th, Sn, WO <sub>2</sub> , U, V, Zn, Zn <sub>2</sub>		
D. PRODUCTOS PELIGROSOS DE LA DESCOMPOSICION:	El cloro es un elemento químico, no se descompone	POLIMERIZACION ESPONTANEA:	PUEDA OCURRIR: <b>NO</b>
		CONDICIONES A EVITAR:	No almacene cloro con sustancias incompatibles

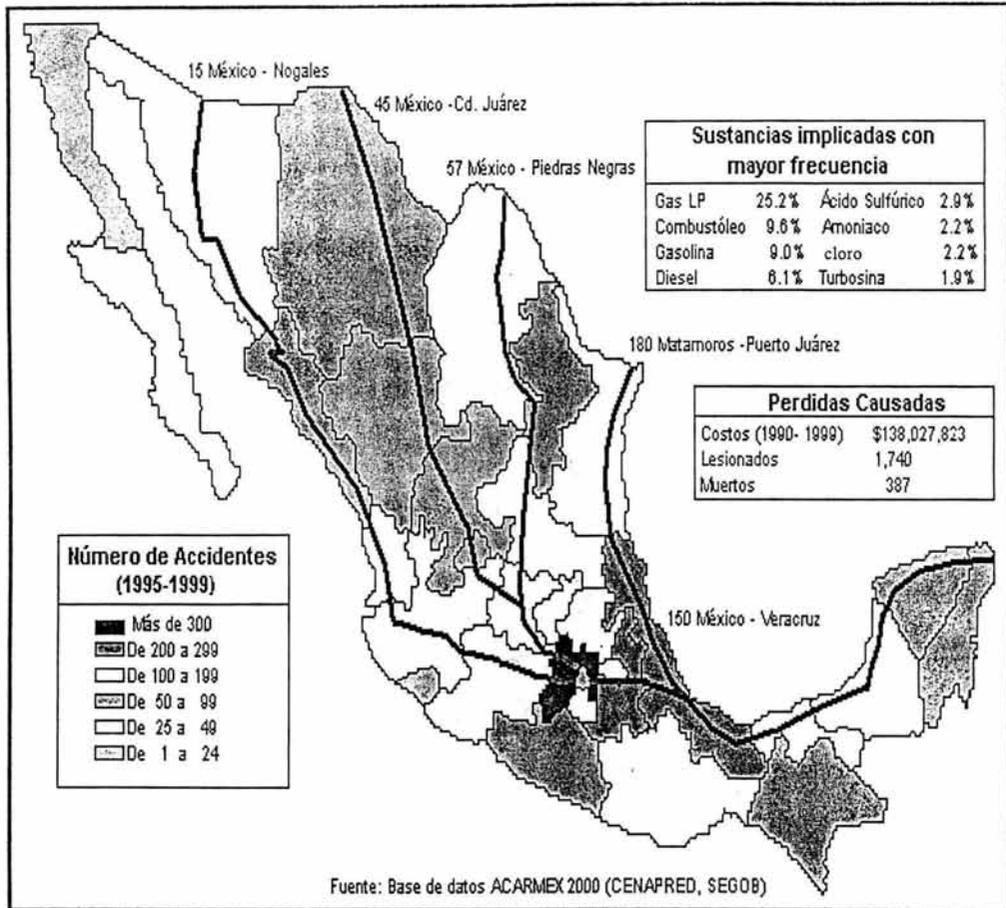
## cont. Anexo C.

VII. RIESGOS A LA SALUD (TOXICIDAD)			
VII.1 Efectos a la Salud por Exposición Aguda			
Limite de Exposición	ppm	mg/m <sup>3</sup>	Tipo de Organismos que se Someterán a la Exposición del Agente Químico
LMPE ó TLV: CPT ó TWA	1	3	Exposición promedio ponderada en 8 horas de trabajo para humanos sin efectos adversos a la salud
LMPE ó TLV: CCT ó STEL	3	9	Exposición única a corto tiempo (15 min) en 8 horas de trabajo para humanos, sin efectos adversos
LMPE ó TLV: P ó C	3	9	Exposición única e instantánea que no se debe rebasar para humanos en sus 8 horas de trabajo
IPVS ó IDLH: CT <sub>FEEL</sub> ó TC	10	30	Concentración tóxica baja por inhalación reportada para humanos en una hora de exposición, valor no bien establecido, algunas bibliografías reportan 20 y hasta 25 ppm.
IPVS ó IDLH: DT <sub>FEEL</sub> ó TD			
LC <sub>50-15</sub>	450	1,247	Concentración letal baja por inhalación reportada para humanos en 30 minutos de exposición
LD <sub>50</sub>			
LC <sub>50-4</sub>	293	849	Concentración letal por inhalación reportada para el 50% de las ratas en una hora de exposición
LD <sub>50</sub>			
Rutas Potenciales de Ingreso al Organismo			
A. INHALACION: Es la vía principal de exposición. El cloro es un irritante de las vías respiratorias muy agresivo ya que forma ácido clorhídrico y ácido hipocloroso en presencia de humedad de las mucosas. Concentraciones en el aire de 0.014 a 0.097 ppm causa cosquilleo en la nariz y garganta, de 0.1 a 0.3 ppm causa comezón y sequedad de nariz y garganta, de 0.35 a 0.72 ppm causa quemadura de la conjuntiva y dolor después de 15 min. arriba de 1.0 ppm causa irritación ocular y respiratoria con los, respiración corta y dolor de cabeza, de 1 a 3 ppm causa irritación de las membranas mucosas medias. Con 10 ppm se puede causar severa irritación del tracto respiratorio alto y los ojos. Con 15 ppm se puede causar los muy intensa. Con 30 ppm causa dolor de pecho intenso, disnea, tos muy intensa y vómito, con 40 a 60 ppm causa neumonía química y edema pulmonar, con 450 ppm es fatal después de 30 min, con 1000 ppm es letal (para respiratorio y la muerte) en pocos segundos. Si alguien sobrevive a una exposición aguda a cloro, usualmente se recupera sin secuelas.			
B. INGESTION: A la temperatura y presión ambiente el cloro es un gas. La ingestión de cloro líquido es poco probable, pero si llegara a ocurrir puede causar quemaduras severas en la boca, esófago y estómago, pudiendo ocurrir náuseas, dolor y vómito.			
C. OJOS (contacto): El contacto con el cloro líquido puede ocasionar quemaduras químicas severas. El contacto con cloro gas puede ocasionar irritación, enrojecimiento, fuerte lagrimeo o quemaduras.			
D. PIEL (contacto y absorción): El contacto con el cloro líquido puede ocasionar quemaduras químicas severas y ampollas. El contacto con cloro gas puede ocasionar irritación, depilación o quemaduras.			
VII.2 Efectos a la Salud por Exposición Crónica			
SUSTANCIA CONSIDERADA COMO: CANCERIGENA: NO TERATOGENICA: NO MUTAGENICA: NO OTRO: Tóxica, Irritante Corrosiva			
POR LA DEPENDENCIA U ORGANISMO: STPS (NOM-010-STPS-1999): X OSHA: X NIOSH: X ACGIH: X OTRO: EPA			
VII.3 Información Complementaria			
La exposición prolongada a concentraciones bajas de cloro puede agravar problemas de asma, enfisema, bronquitis crónica, tuberculosis, baja en la capacidad pulmonar, daño crónico a la garganta, corrosión de dientes y senos nasales así como dermatitis crónica. No clasificado como Cancerígeno Humano (AH) ya que los datos son insuficientes para clasificar al cloro en términos de su carcinogenicidad en humanos y animales. El límite de exposición al cloro establecido por OSHA (PEL), ACGIH (REL), NIOSH (REL) y DFG (MAK) es de 0.5 ppm ó 1.5 mg/m <sup>3</sup> . La LC <sub>50-15</sub> en ratas es de 293 ppm y 137 ppm en ratones en 1 hora. La LC <sub>50</sub> para puercos de guinea es de 330 ppm en 7 horas, 660 ppm para conejos y galos en 4 horas. Los órganos blanco para toxicidad aguda y crónica en humanos es tracto respiratorio y sangre y en animales es sistema inmunológico, sangre, sistema cardiovascular y tracto respiratorio. No se han observado efectos adversos en humanos ingiriendo agua con cloro a concentraciones de 50 a 90 ppm (1.4 a 2.6 mg/kg/día). La EPA establece para una dosis experimental en humanos de 14.4 mg/kg/día una RID de 0.1 mg/kg/día.			
VII.4 Emergencias y Primeros Auxilios			
A. INHALACION: Retire a la víctima del área contaminada. Si ha cesado la respiración suministrar respiración artificial. Si respira con dificultad suministre oxígeno húmedo. Mantenga a la víctima abrigada y en reposo. Consulte a un médico de inmediato.			
B. INGESTION: Si la persona esta consciente dé a beber agua fría de 228.6 ml (8 onzas) para adultos y 114.3 (4 onzas) para niños. No induzca el vómito, pero si éste ocurre lave y dé a beber más agua. Mantenga a la víctima en reposo y caliente. Consulte a un médico de inmediato.			
C. OJOS (contacto): Lávese con abundante agua corriente al menos durante 30 minutos ocasionalmente girando el globo ocular y abriendo y cerrando los párpados con el objeto de lavar perfectamente toda la superficie del ojo. Consulte a un médico de inmediato.			
D. PIEL (contacto y absorción): Retire la ropa contaminada bajo la regadera, lávese con abundante agua al menos durante 30 minutos. No use aceites, cremas o líquidos neutralizantes. Consulte un médico de inmediato.			
E. OTROS RIESGOS A LA SALUD: La toxicidad del cloro es aguda no crónica. Sustancia altamente corrosiva para las mucosas.			
F. ANTIDOTO (dosis en caso de existir): NO se conoce antídoto.			
G. INFORMACION PARA ATENCION MEDICA PRIMARIA: Evoluciones médicas deben ser hechas al personal a partir de cuando presentan signos o síntomas de irritación de piel, ojos e tracto respiratorio alto. Cada emergencia médica es única dependiendo del grado de exposición al cloro, pero algunos tratamientos médicos exitosos fueron los siguientes: Mantenga a la víctima en reposo y abrigada. Suministre oxígeno húmedo a una presión inferior a 4 cm de columna de agua ó 10 a 15 litros por minuto. Considere el suministro de sedantes en caso de ansiedad y falta de reposo así como el uso de corticosteroides en aerosol, beta adrenérgicos y broncodilatadores para broncoespasmos, expectorantes y antibióticos para el edema y bronconeumonía. Vigile de cerca el desarrollo de edema y bronconeumonía después de una exposición severa al cloro.			
VIII.- PROTECCION PERSONAL EN CASO DE EMERGENCIAS			
A. PROTECCION RESPIRATORIA: De 1 a 10 ppm usar respirador con cartuchos para gases y vapores ácidos (cubre nariz y boca), de 11 a 25 ppm usar respirador con careta facial con cartucho tipo canister (cubre cara, nariz, boca y ojos), de 26 ppm o más usar un equipo de respiración autónomo de aire comprimido con regulador de presión a demanda (SCBA). Para derrames de cloro líquido use además de lo anterior equipo encapsulado tipo responder. De preferencia use equipo autorizado por normas oficiales mexicanas o la NIOSH / OSHA.			
B. PROTECCION PARA LA PIEL: Utilice guantes recubiertos de clorbutilo o neopreno durante las operaciones diarias. Traje encapsulado tipo responder para derrames de cloro líquido.			
C. PROTECCION PARA LOS OJOS: Utilice goggles o careta durante las operaciones de conexión y desconexión de tuberías o al operar válvulas.			
D. HIGIENE: Evite el contacto con la piel o los ojos así como respirar los vapores. No comer, beber o fumar en las áreas de trabajo. Lavarse las manos antes de comer, beber o ir al baño.			
E. VENTILACION: La necesaria para mantener la concentración de cloro en el ambiente menor a 1.0 ppm. Sistema de ventilación directo al exterior e independiente colocado en las partes bajas de los edificios (recuerde que el cloro es 2.5 veces más pesado que el aire).			
F. OTRAS MEDIDAS DE CONTROL Y PROTECCION: Para determinar el nivel de exposición de los trabajadores debe efectuarse un monitoreo regular y periódico de acuerdo a la norma NOM-010-STPS-1999 y Método de Análisis 24 de la misma norma o método NIOSH 6011. Se recomienda realizar las siguientes pruebas médicas a los trabajadores expuestos: rayos X de pecho, aire expirado, y pruebas de funcionalidad pulmonar.			

## Cont. Anexo C.

IX.- INDICACIONES EN CASO DE FUGA O DERRAME				
<p>A. Mantenga y conserve siempre la calma. Identifique de inmediato que recipiente está fugando cloro y por dónde. Evalúe la magnitud del problema.</p> <p>B. Para derrames de cloro líquido o gas utilice un traje protector de una sola pieza (de preferencia encapsulado) fabricado en nylon recubierto con butilo o tyvek así como un equipo de respiración autónomo de aire con presión a demanda (SCBA).</p> <p>C. Evacúe las personas cercanas y ponga su señalización de emergencia. Si hay la intervención de bomberos, protección civil, policía de tránsito o caminos u otro organismo gubernamental, explíqueles los riesgos del cloro para que tomen las medidas de protección pertinentes.</p> <p>D. Reporte el accidente a su patrón, distribuidor, línea de transporte, destinatario o fabricante. Use cualquier medio de comunicación.</p> <p>E. Trate de controlar el derrame proveniente del contenido: cierre válvulas, tapone orificios, reacomode el contenedor, transvase el recipiente, etc. Procure que la fuga de cloro sea en forma de gas, para lo cual gire el cilindro o contenedor. Coloque el equipo de emergencias para control de fugas de acuerdo al tipo de recipiente de que se trate: cilindros, contenedores o carrostanque. Estos equipos son los conocidos como KIT A, B o C respectivamente.</p> <p>F. Si la fuga se presenta en unidades de transporte permanezca en movimiento de ser posible hasta llegar a un lugar seguro, alejado de zonas habitacionales, escuelas, hospitales, comercios, etc. Trate de corregir la fuga pero si ésta persiste, el cloro se dispersará en la atmósfera sin causar mayores daños.</p> <p>G. Use niebla de agua sobre los vapores de cloro para minimizar su rápida dispersión en la atmósfera, no la aplique directamente sobre el cloro líquido o el punto de fuga en el recipiente debido a que la emisión se hará más grande.</p>				
X.- INFORMACIÓN SOBRE TRANSPORTACIÓN				
<p>A. PRECAUCIONES PARA TRANSPORTE: Use solo unidades autorizadas para el transporte de materiales peligrosos que cumplan con la regulación de la SCT y demás autoridades federales así como con las sugerencias hechas por el fabricante. En el caso de emergencia en transportación consulte la Hoja de Emergencia en Transportación (HET) y la Guía Norteamericana de Respuesta en Caso de Emergencia No. 124, llame al SETIO día y noche al Tel. (01) 800 000-214-00, en el D.F. al 01 (55) 5550-1588, CENACOM (01) 800 000-413-00 y en el D.F. al 01 (55) 5550 1552, 5550 1496.</p>				
B. CLASIFICACIÓN SCT o DOT:	C. ETIQUETA DEL ENVASE o EMBALAJE	D. ROMBO DE IDENTIFICACION EN TRANSPORTE: UN 1017	E. ROMBO PARA EL ALMACENAMIENTO	
<p>Descripción: Cloro, Gas Licuado a Presión y Temperatura.</p> <p>Clasificación: Gas Tóxico, Venenoso a Cloro (Opcional), Clase 2, División 3</p>				
XI.- INFORMACIÓN SOBRE ECOLOGIA				
<p>A. AIRE: No hay suficiente evidencia del impacto ambiental del cloro como tal en el aire (atmósfera), no así de los derivados clorados como los freones que destruyen la capa de ozono, etc.</p> <p>B. AGUA: El cloro se hidroliza rápidamente en el agua formando ácido hipocloroso y ácido clorhídrico. El cloro libre (Cl<sub>2</sub>, HClO y ClO<sup>-</sup>) reacciona rápidamente con compuestos orgánicos presentes sobre todo en aguas residuales. Esta reacción produce cloruros, compuestos orgánicos oxidados tales como cloramínicos, trihalometanos, oxígeno, nitrógeno, cianatos, bromatos y bromo-orgánicos. Concentraciones de hasta 0.05 - 0.15 mg/litro provocan cambios significativos en la composición de especies del fitoplacton marino.</p> <p>C. AGUA PARA BEBER: El cloro gas o sales de Hipoclorito añadido al agua potable destruye todo microorganismo en 20 minutos a concentraciones de 0.03 a 0.05 mg/litro a rangos de pH de 7.0 a 8.5 y temperaturas de 4 a 20° C. Las redes de suministro de agua potable aplican cloro a concentraciones de 1 a 29.7 mg/litro para mantener niveles de cloro residual de 0.2 a 0.6 mg/litro, sin que se haya observado efectos adversos en la salud humana. El agua para beber se vuelve de mal sabor a concentraciones de cloro arriba de 25 ppm.</p> <p>D. SUELO: El cloro reacciona con todos los componentes químicos del suelo formando cloruros que dependiendo de su solubilidad, son fácilmente lavados con agua. Un derrame de cloro líquido pudiera congelar temporalmente la zona de suelo afectado.</p> <p>E. FLORA Y FAUNA: El cloro es altamente tóxico para los seres vivos (plantas y animales), sobre todo para los de medio acuático, (peces y microorganismos). La TLm en pasto es de 0.22 mg/litro en 96 horas y en fitoplacton de 0.14 mg/litro en 24 horas. La toxicidad aguda en plantas se manifiesta por amarillamiento y defoliación. No existe potencialidad de factores de bioacumulación o bioconcentración.</p> <p>F. Al controlar una emisión de cloro posiblemente sea necesario desgasar o despresurizar los recipientes, por lo que el cloro deberá ser burbujeado a una solución de hidróxido de sodio, carbonato de sodio o hidróxido de calcio (cal). No aplique estos materiales en forma directa sobre un derrame de cloro líquido ya que la reacción se vuelve muy violenta y exotérmica.</p> <p>G. Los residuos de la absorción del cloro no neutralizados clasifíquelos de acuerdo al análisis CRETIB.</p> <p>H. Su manejo y disposición final debe ser acorde a la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, Reglamento de la L.G.E.E.P.A. en Materia de Residuos Peligrosos, las Normas Oficiales Mexicanas NOM-052-ECOL/93 y NOM-053-ECOL/93, demás ordenamientos técnicos legales federales, estatales o municipales aplicables.</p>				
XII.- PRECAUCIONES ESPECIALES DE MANEJO Y ALMACENAMIENTO				
<p>A. Evite las emisiones de cloro en todo momento. En caso que se requiera desgasar un recipiente, se recomienda instalar un sistema de absorción.</p> <p>B. Use el equipo de protección personal recomendado y tenga disponible regadera y lavaojos de emergencia en el área de almacenamiento.</p> <p>C. El área de almacenamiento debe estar bajo techo, bien ventilada (ventilas al nivel de piso), libre de humedad y alejada de fuentes de calor.</p> <p>D. Coloque la señalización de riesgo de acuerdo a la normatividad aplicable tales como: etiquetas, rombos o señalamientos de advertencia.</p> <p>E. No esilar los contenedores (encimarlos), asegure los cilindros en canastillas o jaulas, coloque los capuchones protectores de las válvulas, etc.</p> <p>F. Inspeccione periódicamente los recipientes para detectar daños y prevenir fugas. Detecte fugas usando una antorcha impregnada con solución de amoníaco formandose en el ambiente una niebla blanca de cloruro de amoníaco.</p> <p>G. Las tuberías y equipos para el manejo de cloro deben limpiarse de materia orgánica, polvo, humedad, grasas minerales, etc. antes de usarse.</p> <p>H. Las tuberías de cloro líquido deben de disponer de cámaras de expansión debido a su alto coeficiente de expansión.</p> <p>I. Evite almacenar otros productos químicos incompatibles junto al cloro ya que pudieran reaccionar violentamente.</p>				
XIII.- INFORMACION ADICIONAL				
<p>Marco Regulatorio: El cloro está regulado por las siguientes dependencias: SCT, SEMARNAT (PPA), STPS, SSA, DOT, EPA (SARA III / EPCRA 302, 313, CAA 112 HAP, CERCLA 42 RQ, TRI, FIFRA, TSCA, SDWA / NPDWR, CWA), OSHA, NIOSH.</p>				

## Anexo D. Mapa de rutas por donde transitan sustancias peligrosas.



## **Anexo E. Especificación SCT 331 (MC-331).**

Que a la letra dice:

- Autotankes se utilizan principalmente para el transporte de gases comprimidos.
- Diseñados y construidos de acuerdo con el catálogo ASME.
- Fabricación de acero o aleaciones especiales de aluminio. El material debe cumplir con especificaciones ASTM (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales).
- Cubierto con un forro de acero si el autotankes tiene aislamiento.
- La presión de diseño de estos autotankes no debe ser menos de 1.03 Kg/cm<sup>2</sup> (100 psi) ni más de 35.1 Kg/cm<sup>2</sup> (500 psi).
- Las válvulas de relevo de presión deben estar localizadas arriba del tanque o en las tapas.
- El tratamiento térmico después de la soldadura debe ser de acuerdo al código ASME.
- El espesor mínimo del metal para el cuerpo y tapas debe ser 4.76 mm (0.187") para acero y 6.86 mm (0.270") para aluminio. Considerar una tolerancia de 20% por corrosión.
- Los autotankes deben de estar provistos con un domo de acuerdo al código ASME.

## Cont. Anexo E

- Todas las válvulas, conexiones, válvulas de seguridad y relevo y otros accesorios del propio tanque, deben estar protegidos en caso de volcaduras o colisión.
- Los autotanques en las salidas del producto deben cerrarse con tapón, tapadera o brida atornillada.
- Debe tener una válvula de acceso de flujo en la descarga del producto o protección con una válvula de retención en la entrada del producto.
- Debe tener una válvula de cierre automático.
- La válvula de relevo de presión debe ser diseñada y construida, marcada con la calibración de presión que no sea menor de la presión de diseño del tanque.
- La presión de ruptura de toda la tubería, válvulas, mangueras y accesorios debe ser cuando menos 4 veces la presión de diseño del tanque.
- Debe estar provisto de manómetros. Una válvula de cierre, debe estar instalada entre el manómetro y el tanque.
- Si se utilizan bombas para líquidos o compresores para gas debe ser de diseño aprobado para el producto.
- La inspección y pruebas de materiales de construcción del autotanque debe ser como lo requiere el código ASME.
- Un certificado debe ser entregado tal como lo requiere el código ASME.

---

---

## Anexo F. Muestra de datos que aporta el paquete comercial

### ALOHA.

#### SITE DATA INFORMATION:

Location: VERACRUZ, COATZACOALCOS  
Building Air Exchanges Per Hour: 0.54 (sheltered single storied)  
Time: March 11, 2004 1514 hours ST (using computer's clock)

#### 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: -34.03° C  
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: 3 meters/sec from n at 3 meters  
No Inversion Height  
Stability Class: D (user override)  
Air Temperature: 26.5° C  
Relative Humidity: 50% Ground Roughness: open country  
Cloud Cover: 5 tenths

#### SOURCE STRENGTH INFORMATION:

Leak from hole in horizontal cylindrical tank  
Tank Diameter: 2.00 meters  
Tank Length: 11.57 meters  
Tank Volume: 36223 liters Tank contains liquid  
Internal Temperature: -30° C  
Chemical Mass in Tank: 47,678 kilograms  
Tank is 85% full  
Circular Opening Diameter: 0.2 inches  
Opening is 90 centimeters from tank bottom  
Release Duration: ALOHA limited the duration to 1 hour  
Max Computed Release Rate: 7.18 kilograms/min  
Max Average Sustained Release Rate: 7.18 kilograms/min  
(averaged over a minute or more)  
Total Amount Released: 431 kilograms  
Note: The chemical escaped as a mixture of gas and aerosol (two phase flow).

#### FOOTPRINT INFORMATION: (HEAVY GAS SELECTED)

Model Run: Heavy Gas  
User-specified LOC: equals IDLH (10 ppm)  
Max Threat Zone for LOC: 492 meters

#### TIME DEPENDENT INFORMATION:

Concentration Estimates at the point:  
Downwind: 500 meters

Off Centerline: 0 meters

Max Concentration:  
Outdoor: 9.76 ppm  
Indoor: 3.8 ppm

Note: Indoor graph is shown with a dotted line.

---

---

## Anexo G. Guía 124 del "North American Emergency Response Guidebook".

### GUIA GASES TÓXICOS Y/O CORROSIVOS OXIDANTES 124

GRE2000

#### PELIGROS POTENCIALES

##### A LA SALUD

- TOXICO; puede ser fatal si se inhala o se absorbe por la piel.
- El fuego producirá gases irritantes, corrosivos y/o tóxicos.
- El contacto con gas o gas licuado puede causar quemaduras, lesiones severas y/o quemaduras por congelación.
- Las fugas resultantes del control del incendio pueden causar contaminación.

##### INCENDIO O EXPLOSION

- La sustancia no arde, pero propiciará combustión.
- Los vapores de gas licuado son inicialmente más pesados que el aire y se esparcen a través del piso.
- Estos son oxidantes muy fuertes y reaccionarán vigorosamente o explosivamente con muchos materiales, incluyendo los combustibles.
- Puede encender otros materiales combustibles (madera, papel, aceite, ropa, etc.).
- Algunos reaccionarán explosivamente con aire, aire húmedo y/o agua.
- Los contenedores pueden explotar cuando se calientan.
- Los cilindros con rupturas pueden proyectarse.

#### SEGURIDAD PUBLICA

- **LLAMAR primero al número de teléfono de respuesta en caso de emergencia en el documento de embarque. Si el documento de embarque no está disponible o no hay respuesta, dirijase a los números telefónicos enlistados en el forro de la contraportada.**
- Aisle el área del derrame o fuga inmediatamente a por lo menos 100 a 200 metros (330 a 660 pies) a la redonda.
- Mantener alejado al personal no autorizado.
- Permanezca en dirección del viento.
- Muchos de los gases son más pesados que el aire y se dispersan a lo largo del suelo y se juntan en las áreas bajas o confinadas (alcantarillas, sótanos, tanques).
- Manténgase alejado de las áreas bajas.
- Ventile los espacios cerrados antes de entrar.

##### ROPA PROTECTORA

- Use el equipo de aire autónomo de presión positiva (SCBA).
- Use ropa protectora contra los productos químicos, la cual esté específicamente recomendada por el fabricante. Esta puede proporcionar poca o ninguna protección térmica.
- El traje estructural de bomberos provee protección limitada SOLAMENTE en situaciones de incendio; no es efectivo en situaciones de derrame.

#### EVACUACION

##### Derrame

- Vea la Tabla de Aislamiento Inicial y Distancias de Acción Protectora para las sustancias resaltadas. Para las otras sustancias, aumente como sea necesario en la dirección del viento, la distancia de aislamiento mostrada en "SEGURIDAD PUBLICA".

##### Incendio

- Si un tanque, carro de ferrocarril o autotank está involucrado en un incendio, AISLE a la redonda a 800 metros (1/2 milla) a la redonda; también, considere la evacuación inicial a la redonda a 800 metros (1/2 milla).

## Cont. Anexo G.

GRE2000

GASES TÓXICOS Y/O CORROSIVOS OXIDANTES

GUIA  
124**RESPUESTA DE EMERGENCIA****FUEGO****Incendios Pequeños**

- Solamente agua, no use polvos químicos secos, CO<sub>2</sub> o Halon®.
- Contenga el fuego y permita que arda. Si el fuego debiera ser combatido se recomienda rocío de agua o niebla.
- No introducir agua en los contenedores.
- Mueva los contenedores del área de fuego si lo puede hacer sin ningún riesgo.
- Los cilindros dañados, deberán ser manejados solamente por especialistas.

**Incendio que involucra Tanques**

- Combata el incendio desde una distancia máxima o utilice soportes fijos para mangueras o chiflones reguladores.
- Enfrie los contenedores con chorros de agua hasta mucho después de que el fuego se haya extinguido.
- No ponga agua directamente a la fuente de la fuga o mecanismos de seguridad; puede ocurrir congelamiento.
- Retírese inmediatamente si sale un sonido creciente de los mecanismos de seguridad de las ventilas, o si el tanque se empieza a decolorar.
- SIEMPRE manténgase alejado de tanques envueltos en fuego.
- Para incendio masivo, utilizar los soportes fijos para mangueras o los chiflones reguladores; si esto es imposible, retirarse del área y dejar que arda.

**DERRAME O FUGA**

- Deberán usarse trajes protectores de encapsulamiento total contra el vapor, en derrames y fugas sin fuego.
- No tocar ni caminar sobre el material derramado.
- Mantener los materiales combustibles (madera, papel, aceite, etc.) lejos del material derramado.
- Detenga la fuga, en caso de poder hacerlo sin riesgo.
- Use rocío de agua para reducir los vapores; o desviar la nube de vapor a la deriva. Evite que flujos de agua entren en contacto con el material derramado.
- No ponga agua directamente al derrame o fuente de la fuga.
- Si es posible, voltee los contenedores que presenten fugas para que escapen los gases en lugar del líquido.
- Prevenga la entrada hacia vías navegables, alcantarillas, sótanos o áreas confinadas.
- Aisle el área hasta que el gas se haya dispersado.
- Ventile el área.

**PRIMEROS AUXILIOS**

- Mueva a la víctima a donde se respire aire fresco.
- Llamar a los servicios médicos de emergencia.
- Aplicar respiración artificial si la víctima no respira.
- **No usar el método de respiración de boca a boca si la víctima ingirió o inhaló la sustancia: proporcione la respiración artificial con la ayuda de una máscara de bolsillo con una válvula de una sola vía u otro dispositivo médico de respiración.**
- Suministrar oxígeno si respira con dificultad.
- La ropa congelada a la piel deberá descongelarse antes de ser quitada.
- Quitar y aislar la ropa y el calzado contaminados.
- En caso de contacto con la sustancia, enjuagar inmediatamente la piel o los ojos con agua corriente por lo menos durante 20 minutos.
- Mantener a la víctima en reposo y con temperatura corporal normal.
- Mantener a la víctima bajo observación.
- Los efectos de contacto o inhalación se pueden presentar en forma retardada.
- Asegúrese que el personal médico tenga conocimiento de los materiales involucrados, y tomar las precauciones para protegerse a sí mismos.

## Anexo H.

**Fragmento del documento del "MANUAL DEL CLORO". Enero 2004. Adaptación de "The Chlorine Manual - Sixth Edition, January 1997", hecha por CLOROSUR con la autorización de The Chlorine Institute, Inc**

### Absorción de cloro.

Un sistema de absorción sencillo consiste en un tanque adecuado capaz de contener la solución alcalina necesaria. El álcali se deberá almacenar de tal forma que una solución se pueda preparar con rapidez en caso de necesidad. Después de haber sido preparada la solución, el cloro podrá ser trasladado del envase hacia el interior de la solución a través de una conexión con un peso para mantener la salida de la manguera de transferencia, o cañería, por debajo del nivel de la solución. No sumergir el envase. Ver Tablas 4.1A y 4.1B para la solución recomendada (las cantidades recomendadas de álcali suministran 20% en exceso).

El proceso se deberá monitorear para asegurar el control de la absorción en el sentido de calor y reacción. No deberá hervir la solución ni exceder la capacidad de la reacción.

Tabla 4.1 A

#### UNIDADES U.S.

Capacidad Del Envase De Cloro	Solución Hidróxido de Sodio 20 peso %		Solución Carbonato de Sodio 10 peso %	
	lb(Netto)	Galón de Agua	lb(Netto)	Galón de Agua
100	135	65	200	750
150	203	98	338	783
200	270	130	514	783

Tabla 4.1 B

#### UNIDADES MÉTRICAS

Capacidad Del Envase De Cloro	Solución Hidróxido de Sodio 20 peso %		Solución Carbonato de Sodio 10 peso %	
	kg(Netto)	Galón de Agua	kg(Netto)	Galón de Agua
45.4	61.5	248	162	1170
68	92	370	244	1230
90.7	127.0	493	366	1230

### Kit de Emergencia y Recipientes de Recuperación.

El Kit de Emergencia del Instituto del Cloro y los recipientes de recuperación de envases son proyectados para contener la mayoría de los escapes que puedan ocurrir en el transporte de los envases de cloro. Los siguientes kits y recipientes de recuperación (Fig. 4.1) están disponibles.

- Kit A - para cilindros de 100 lb y 150 lb
- Kit B - para contenedores de una tonelada
- Kit C - para camiones y vagones tanque
- Recipientes de recuperación de cilindros

Estos kits operan bajo el principio de contener fugas de válvulas por la aplicación de cápsulas de cierre y empaquetaduras. Para cilindros y contenedores de una tonelada, se suministran parches para sellar pequeños agujeros en las paredes laterales. Se suministran dispositivos de encapsulado para taponos fusibles de los contenedores de una tonelada. Los kits contienen instrucciones paso a paso para el uso de los dispositivos. Las herramientas necesarias están incluidas, pero el equipo de protección personal no está incluido. Las Cartillas IB/A, IB/B e IB/C suministran información sobre estos kits y sus usos. Muchos consumidores de cloro incorporan planes emergencias. Más informaciones sobre la utilidad, disponibilidad, y compra de los kits, en los componentes de los kits y ayudas audiovisuales de entrenamiento están disponibles a través del Instituto. Los recipientes de recuperación de cloro son equipos que están disponibles comercialmente, y son proyectados para contener un cilindro completo. La cartilla IB/RV proporciona información detallada sobre los recipientes de recuperación para cilindros de 100 lb y 150 lb. El cilindro que presenta fugas se podrá colocar dentro de un recipiente de recuperación que a continuación se cierra, conteniendo de ese modo la fuga. El cloro se podrá recapturar, entonces, del recipiente de recuperación. *Figura 4.1 Kit A de Emergencia del Instituto del Cloro para Cilindros de Cloro*

Los usuarios son los responsables por suministrar las instrucciones de uso de los sets y de los recipientes de recuperación y de su correcto mantenimiento. El proveedor de cloro podrá ofrecer asistencia en esos asuntos. Los lugares de uso o almacenamiento de cloro deberán tener los kits de emergencia apropiados del Instituto o recipientes de contención, rápidamente disponibles, con combatientes de emergencia entrenados en sus usos o tener contratos formales con un grupo externo de respuesta a las emergencias que pueda enfrentarlas usando tal equipo.



---

<b>Índice de tablas.</b>	<b>Página.</b>
1. Propiedades atómicas y moleculares.	7
2. Claves identificadoras.	8
3. Sustancias incompatibles con cloro.	10
4. Propiedades físicas y químicas comunes.	11
5. Densidades a presión y temperatura dada.	11
6. Solubilidades.	12
7. Gravedad específica.	12
8. Presión de vapor a temperatura dada.	12
9. Viscosidad para a temperatura y edo. Físico dado.	12
10. Índice de refracción.	13
11. Presión de licuefacción.	13
12. Datos de las celdas electrolíticas de disoluciones acuosas de NaCl.	21
13. Producción anual de cloro en México.	36
14. Exportación de cloro mexicano.	37
15. Riesgos por tiempo de exposición a diferentes concentraciones de cloro.	40
16. Accidentes ocurridos en el transporte de cloro vía carretera en México del año 1991 al 2000.	43
17. Clasificación del cloro.	51
18. Descripción del gas cloro por su tipo de riesgo.	52
19. Tipos de escape.	70
20. Valores típicos de rugosidad ( $\epsilon$ ) del terreno.	71
21. Categorías de estabilidad atmosférica definidas por Pasquill (1962).	72
22. Elementos que contiene ALOHA y ARCHIE.	73
23. Dimensiones del tanque para el transporte de cloro.	82
24. Condiciones críticas y sus características.	83
25. Condiciones meteorológicas de Coatzacoalcos, Ver.	84
26. Condiciones meteorológicas de Córdoba, Ver.	84
27. Condiciones meteorológicas de Orizaba, Ver.	85
28. Condiciones meteorológicas de Puebla, Pue.	85
29. Resultados de la simulación en el transporte para Coatzacoalcos, Ver.	88
30. Resultados de la simulación en el transporte para Córdoba, Ver.	89
31. Resultados de la simulación en el transporte para Orizaba, Ver.	89
32. Resultados de la simulación en el transporte para Puebla, Pue..	90

---

## **Índice de figuras.**

	<b>Página.</b>
1. Esquema de una celda con cátodo de mercurio.	17
2. Esquema representativo de una celda electrolítica tanto de diafragma como de membrana.	19
3. Diagrama de bloques para el proceso de electrolisis con electrodo de mercurio.	22
4. Diagrama de bloques para el proceso de electrolisis con diafragma.	24
5. Diagrama de bloques para el proceso de electrolisis con membrana.	25
6. Clasificación de los modelos matemáticos.	61
7. Nube contaminante en forma de pluma.	65
8. Distancia en donde la concentración se difunde en el transporte de cloro.	93
9. Volcadura de autotanques.	93
10. Partes, válvulas, tuberías y accesorios que contiene un autotanque, así como la instalación típica de llenado.	94

## **Índice de gráficas.**

	<b>Página</b>
1. Demanda global de cloro y sosa cáustica.	25
2. Porcentajes de uso del cloro.	29
3. Producción nacional de sal.	31
4. Participación en la producción mundial de sal.	33
5. Consumo de sal por diferentes usos en el año de 1995.	34
6. Aportaciones a la producción mundial de cloro de diferentes países.	35
7. Clases de accidentes y su porcentaje de ocurrencia durante el transporte de cloro.	44
8. Frecuencia de accidentes por año.	44
9. Variabilidad de la concentración con el tiempo en el transporte de cloro.	92

## **Índice de mapas.**

1. Localización de los productores de sal en México.	32
2. Carreteras de Veracruz.	80
3. Carreteras de Puebla.	81

---

**Acrónimos.**

**ACQUIM** Sistema de Base de Datos Gubernamentales.

**ALOHA** Localización de las áreas de atmósferas peligrosas.

**ARCHI** Recurso automatizado para la evaluación de riesgos químicos.

**CAS** Chemical Abstracts Service.

**CDs** Discos compactos.

**CENAPRED** Centro Nacional de Prevención de Desastres.

**CFR** Código de Regulaciones Federales.

**CHO** Choque.

**Cp** Centipoise.

**D** Estabilidad Atmosférica Neutra.

**D** Derrame.

**DDT** Diclorodifeniltricloroetano.

**DEGADIS** Modelo de Dispersión para Gases Pesados.

**DOT** Departamento de transportación en Estados Unidos.

**ECOL** Ecología.

**EPA** Environmental Protection Agency.

**F** Estabilidad Atmosférica moderadamente estable.

**F** Fuga.

**GHS** Sistema Global Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos.

**HMR** Regulaciones de los Materiales Peligrosos.

**IDLH** Nivel que representa un peligro inmediato para la vida o la salud humana.

**INGI** Instituto Nacional de Geografía e Informática.

**Kpa** Kilopascales.

**L<sub>D</sub>** Dosis Letal.

**LGEEPA.** Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente.

**LLDPE** Polietileno.

**MEC** Falla mecánica.

**NIOSH** The National Institute for Occupational Safety and Health.

**OMS** Organización Mundial de la Salud.

**ONU** Organización de las Naciones Unidas.

**PBC's** Policlorofenilos.

**PNB** Producto Interno Bruto.

**PP** Polipropileno.

**Pue.** Puebla.

**PVC** Cloruro de polivinilo.

**PVDC** Policloruro de Vinilideno.

**R** Descriptores que indican la naturaleza del riesgo de sustancias.

**RCP** Resucitación Cardiopulmonar.

**RCPA** Oficina Internacional de Estándares.

**SC** Salida del camino.

**SCT** Secretaría de Comunicaciones y transportes.

**SECOFI** Secretaría de Economía.

**SEGOB** Secretaría de Gobernación.

**SEMARNAT.** Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales.

**SENACOM** Servicio Meteorológico Nacional y del Centro Nacional de Comunicaciones.

**SETIQ** Sistema de Emergencias en Transporte para la Industria Química.

**STPS** Secretaria del Trabajo y Previsión Social.

**V** Volcadura.

**VCM** Monómero de cloruro de vinilo.

**Ver.** Veracruz.

---

---



---

## Glosario:

Para los propósitos del presente trabajo, se tienen las siguientes definiciones:

**Absorción.** El proceso de asimilación, como cuando una esponja se impregna con agua. Las sustancias químicas pueden ser absorbidas por la piel y entrar al torrente sanguíneo y luego ser transportadas a otros órganos. También pueden ser absorbidas en el torrente sanguíneo luego de uno respirar o tragar.

**Accesorio.** Cualquier aditamento del tanque que no tiene relación con la carga o función de contención y no provee soporte estructural.

**Autotanque.** Vehículo cerrado, camión tanque, semirremolque o remolque tipo tanque, de especificaciones especiales destinado al transporte de materiales y residuos peligrosos: líquidos, gases licuados o sólidos en suspensión.

**Bioacumulación.** Se refiere a la acumulación de contaminantes en los organismos

**Cátodo.** Es el electrodo donde se producen las reacciones de reducción.

**Código de diseño.** Base técnica de diseño y construcción de tanques a presión elaborado por la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos, de observancia en Canadá, Estados Unidos y México, (código ASME).

**Compatibilidad.** Factibilidad de transportar en la misma unidad vehicular al mismo tiempo, diferentes sustancias sin que representen un riesgo por una posible reacción accidental.

**Cuerpo del autotanque.** Aquellas partes del autotanque que corresponden a la estructura primaria que contiene el producto, incluyendo el cuerpo, cabezas y las conexiones.

**Dérmico(a).** El referirse a la piel.

**Determinístico.** Sistema en el cual todo lo que ocurre está determinado por una cadena causal y el estado futuro del sistema y los productos están claramente definidos.

**Dispersión.** Proceso por el cual un contaminante se traslada a sitios remotos de su fuente. También se le llama expansión.

**DL<sub>50</sub>.** Cálculo estadístico de la cantidad de una sustancia tóxica por kilogramo de peso corporal que, si es administrada en una sola ocasión, causará la muerte del 50% de los animales de experimentación expuestos a ella en condiciones específicas. Se abrevia DL<sub>50</sub>.

**Ecosistema.** Unidad estructural, funcional y de organización que incluye a todos los organismos y las variables ambientales bióticas y abióticas que interactúan en un área determinada.

**Electrólisis.** Es la producción de una reacción redox no espontánea, mediante el paso de una corriente eléctrica. Es por lo tanto el proceso inverso al que ocurre en una pila eléctrica, y se lleva a cabo en un contenedor llamado cuba electrolítica. Un ejemplo sencillo es el de la electrólisis del agua, en la que el paso de corriente descompone este líquido en sus elementos constituyentes, hidrógeno y oxígeno.

**Emisión.** Salida de contaminantes hacia el ambiente a partir de una fuente fija o móvil. En general, el término se usa para el caso de la contaminación atmosférica.

**Espasmo bronquial.** Contracción súbita, violenta e involuntaria de la musculatura lisa de los bronquios, como sucede en el asma.

**Especificaciones de diseño SCT.** Características con las que todo autotanque destinado al transporte de materiales y residuos peligrosos, debe ser diseñado y construido en México, de acuerdo a la clase de riesgo del material peligroso clasificado por la Organización de las Naciones Unidas y Normas Oficiales Mexicanas, cuyo transporte se pretenda realizar, cada tipo de autotanque deberá contar con un número de especificación de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, que define el tipo de material, características del tanque, accesorios y su sistema de operación.

**Estabilidad.** Tendencia de un sistema natural al estado de equilibrio, después de que fue alterado.

**Evaluación del riesgo.** Comparación de los riesgos calculados de la exposición a un agente ambiental en particular, con los riesgos ocasionados por otros agentes o factores sociales y con los beneficios asociados con la producción o uso del agente.

**Exposición.** (1) Interacción entre un agente tóxico y un sistema biológico. (2) Cantidad de un agente químico o físico particular que llega al receptor. Debe expresarse en términos numéricos de duración, frecuencia, cantidad, concentración, (para agentes químicos y microorganismos) e intensidad (para agentes físicos). **Hidrocarburos clorados.** Cualquier hidrocarburo (alifático, alicíclico o aromático) en el cual uno o más de los hidrógenos ha(n) sido sustituidos por uno o más átomos de cloro. Sus propiedades fisicoquímicas y toxicológicas dependen de la estructura química del hidrocarburo y del número y posición de los átomos de cloro. Un subgrupo importante es el de los plaguicidas organoclorados.

**Hidrocarburos poliaromáticos.** Aquellos hidrocarburos aromáticos que tienen dos o más anillos aromáticos con dos átomos de carbono comunes a cada dos anillos; por ejemplo, naftaleno, antraceno, o benzopireno. También se les conoce como hidrocarburos policíclicos o hidrocarburos polinucleares y, en inglés, como PAH. Son contaminantes atmosféricos de gran importancia por sus propiedades toxicológicas, en particular, por su carcinogenicidad.

**Humedad atmosférica.** Es la cantidad de vapor de agua contenida en el aire y varía según las condiciones climatológicas, está presente en la troposfera (desde el nivel del mar hasta una altura media de 11 km) y varía de 0 a 25 % en volumen.

**Parámetro.** (1) Constante en una expresión matemática que determina y restringe el comportamiento de las variables. (2) En general, factor que determina el comportamiento de un conjunto de variables y en términos del cual pueden expresarse.

**Seguridad.** Certeza práctica de que no habrá daño como resultado de la exposición, bajo ciertas condiciones específicas, a un agente tóxico determinado.

**Sustancia peligrosa.** Aquella que, por su naturaleza o por el uso que el hombre haga de ella, representa un riesgo de daño para el ambiente, las personas o sus propiedades. Comprende a las sustancias corrosivas, inflamables, explosivas, ecotóxicas, tóxicas y radiactivas.

**Sustancia tóxica.** Aquella que causa efectos adversos en los organismos expuestos, como resultado de interacciones fisicoquímicas con sus tejidos. También se les llama sustancias químicas tóxicas, materiales tóxicos, agentes de etiología química y, simplemente, tóxicos.

**Tolerancia.** Disminución en la sensibilidad de un organismo una sustancia después de una exposición a ella o a otra de estructura química relacionada.

**Veneno.** Sustancia que causa alteraciones estructurales o funcionales graves en un organismo, que puede inducir daño o la muerte.