



Peligrosidad en instalaciones de manejo de cloro

FERRUZ, R.; PEÑA, J. A., y
SANTAMARÍA, J.

*Departamento de Ingeniería Química y
Tecnologías del Medio Ambiente,
Universidad de Zaragoza*

SUMARIO

En el presente artículo se establece un rápido recorrido por los aspectos más relevantes relacionados con la seguridad personal, de la instalación y el medio ambiente a tener en cuenta en cualquier recinto en el que se manipule cloro. También desde esta perspectiva se analizará el accidente acaecido por una fuga de cloro en Tarragona.

Palabras clave: Toxicología del cloro, accidentes mayores, medio ambiente.

INTRODUCCIÓN

Aunque desde su descubrimiento, a principios del siglo XIX, atribuido a Davy (1808), se ha empleado a menudo como blanqueante para productos textiles y papel, el cometido del cloro ha evolucionado hasta su importancia actual de modo sumamente rápido. Este hecho se debe, en gran medida, a su utilización como reactivo en la

síntesis de productos químicos, orgánicos e inorgánicos, también es empleado por su alto poder oxidante y su capacidad de desinfección en el tratamiento de agua para consumo humano y saneamiento de aguas residuales, o como algicida en torres de refrigeración y equipo industrial diverso.

Debido a la gran extensión actual de los procesos químicos en los que se utiliza y el elevado riesgo que supone su manejo en condiciones no seguras (ya que en condiciones estándar de presión y temperatura se trata de un gas extremadamente tóxico), resulta perentorio conocer las precauciones que deben ser adoptadas para evitar situaciones de peligro que pueden afectar tanto a las personas directamente involucradas en su manejo como a las poblaciones cercanas a las industrias en las cuales se utiliza como materia prima o como producto final.

Tanto la industria del cloro (incluyendo en ésta tanto a las industrias fa-

El gas cloro puede atacar y provocar daños a las personas por varias vías: por inhalación, por la piel y por los ojos, siendo la primera de todas la más importante. El gas cloro es un irritante de las vías respiratorias, aunque en contacto con la piel o con los ojos produce quemaduras y dolor, así como visión borrosa, lagrimeo, enrojecimiento y posibles lesiones de córnea.

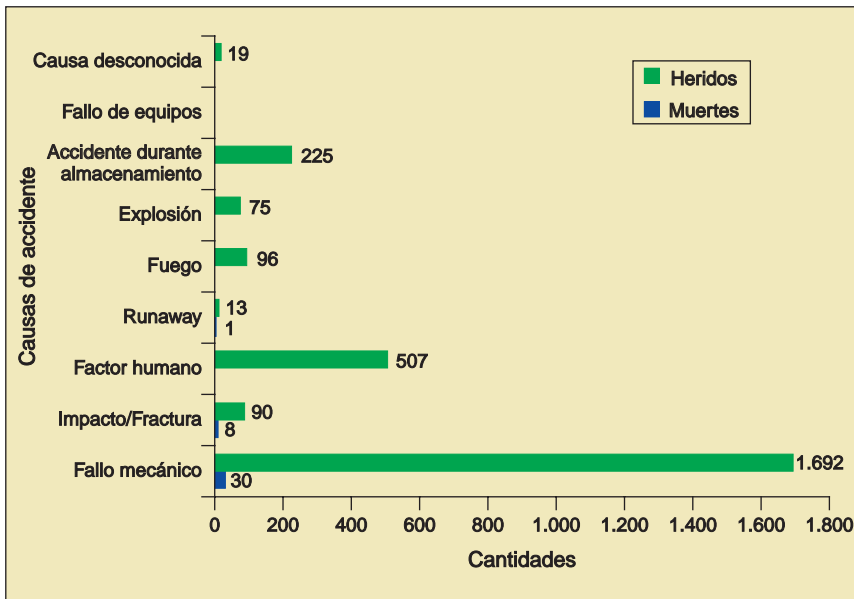
bricantes como a las consumidoras) como diversas organizaciones gubernamentales relacionadas con el medio ambiente y la salud han mostrado desde hace varias décadas un creciente interés sobre los riesgos que entraña el manejo del cloro. Desde 1924, en Estados Unidos y Canadá, el Instituto del Cloro (The Chlorine Institute) ha establecido estándares y recomendaciones para su transporte y manejo en condiciones seguras. En Europa, la Oficina Técnica Internacional del Cloro (Bureau International Technique du Chlor) y Eurochlor, asociaciones de los mayores productores de cloro de Europa, publican periódicamente recomendaciones y códigos para la reducción del riesgo en su transporte y manipulación, así como promueven las mejoras necesarias para la modificación de las normativas particulares en esta materia en los distintos Estados de la Unión Europea.

Todos estos esfuerzos y recomendaciones presentan un motivo justificado. Según Lees (1), y basándose en



En Europa, la Oficina Internacional del Cloro publica periódicamente códigos y recomendaciones para su transporte y manipulación.

FIGURA 1. Distribución de muertes y afectados por inhalación de cloro en función de la causa del accidente en el período comprendido entre 1964 y 1996. Fuente: Base de Datos MHIDAS.



un análisis histórico de diversos accidentes que involucran la liberación a la atmósfera de cantidades variables de cloro, el resultado de estos sucesos se salda en promedio con una muerte por cada tonelada de cloro liberada.

Las consecuencias de estos accidentes, analizadas tras una revisión

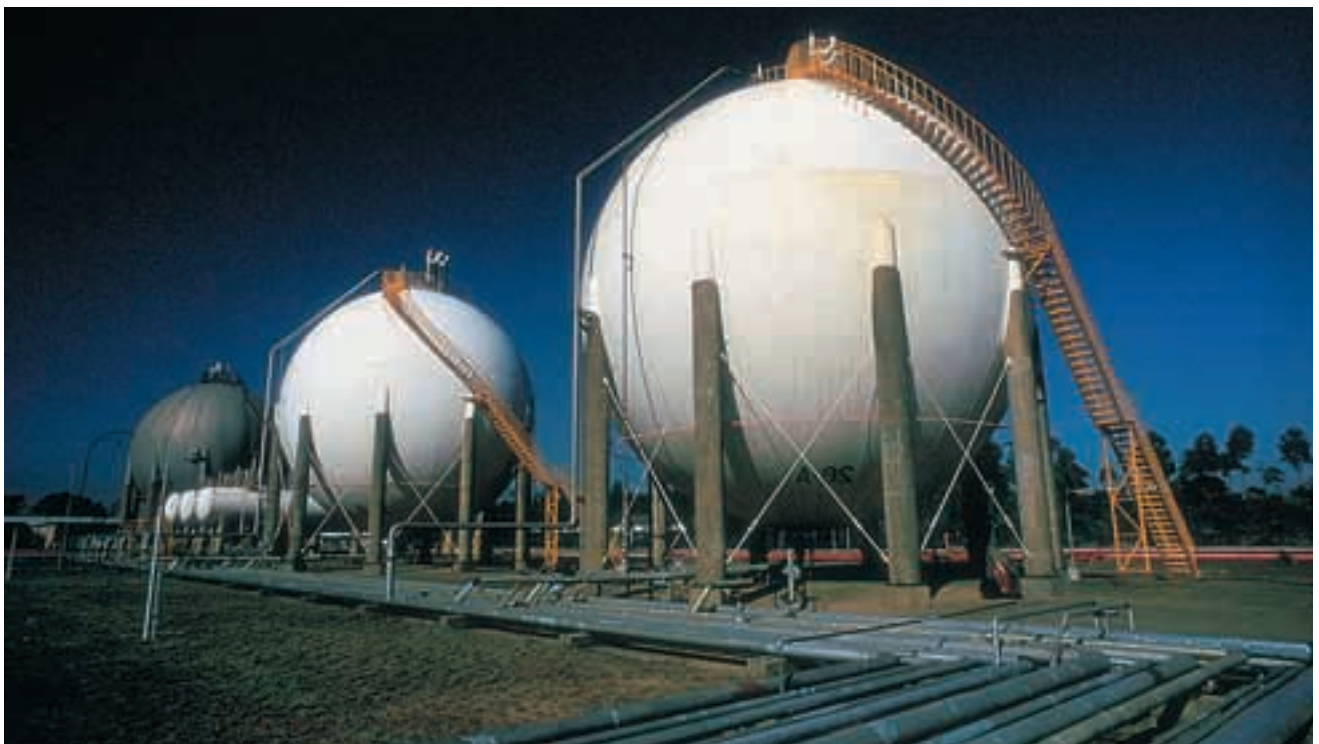
de la base de datos MHIDAS (Major Hazard Incident Data Service), resultan suficientemente autoexplicativas. En el período comprendido entre 1964 y 1996, sobre un total de 96 accidentes descritos, se informa de 39 muertes y más de 2.700 heridos como consecuencia de lo que en el ámbito de la seguridad industrial se ha dado en lla-

mar *accidentes mayores* (2), en este caso involucrando emisiones accidentales de cloro. Es de destacar que esta base de datos no recoge de modo exhaustivo todos los accidentes en los cuales se ha producido un escape de estas características, sino sólo aquellos que han sido públicamente descritos, bien por los propios responsables industriales o por investigadores independientes. Asimismo, no se recogen en estas estadísticas los accidentes «menores» (por contraposición a la definición de accidente mayor) sucedidos en pequeñas instalaciones de manipulación e incluso accidentes de tipo doméstico.

Respecto a las causas más habituales que conducen al escape de estas características, se señala como la de mayor concurrencia el fallo mecánico, en el que se incluye la corrosión como principal subfactor responsable del accidente. La figura 1 muestra de forma gráfica la distribución de muertes y heridos en función de la causa que produjo el accidente.

TOXICOLOGÍA

El gas cloro puede atacar y provocar daños a las personas por varias vías: por inhalación, por la piel y por los ojos, siendo la primera de todas las más importante. El gas cloro es principalmente un irritante de las vías respiratorias, aunque en contacto con



La corrosión en las conducciones y, depósitos es una de las causas más frecuentes de escapes y fugas.

la piel o los ojos produce quemaduras y dolor, así como visión borrosa, lagrimeo, enrojecimiento y posibles lesiones de córnea. En concentraciones altas puede provocar el llamado *acné por cloro* –síntoma característico de las víctimas del accidente de Séveso (3)–, que es el nombre con que se conocen las ulceraciones y quemaduras que produce en la piel.

Este gas es peligroso para la salud porque actúa como un potente oxidante. En el intervalo del pH fisiológico, se convierte en ácido hipocloroso (por reacción con el agua presente en los tejidos humanos), que es una sustancia citotóxica. La zona a la que se extienden las células dañadas depende de la concentración de gas, el tiempo de exposición, el contenido en agua de los tejidos afectados y el estado de salud de la persona expuesta.

Diversas organizaciones gubernamentales y privadas dedicadas a la prevención de enfermedades profesionales y a la protección del medio ambiente y la salud han venido elaborando índices de toxicidad cuya aplicación abarca desde el ámbito laboral hasta el análisis de la contaminación atmosférica, en el caso de un accidente mayor en el que se vea envuelta la sustancia en cuestión.

Además de alcanzar los ojos, laringe y tráquea, el cloro también puede llegar hasta los bronquios y bronquiolos, aunque a causa de su moderada solubilidad en agua afectará a los alveolos sólo si se encuentra en altas concentraciones. La moderada irritación bronquial sigue con el desarrollo de un *edema pulmonar tóxico* a causa del incremento del daño alveolar.

El umbral olfativo del gas cloro está situado entre 0,2-3,5 ml/m³ (siendo 3,5 ml/m³ el valor comúnmente aceptado como detectable para la mayoría de las personas, aunque el INSHT (4)

TABLA 1. Efectos producidos sobre el organismo por inhalación de cloro gas.

Efecto	ml/m ³ de cloro gas en aire
Mínima concentración para producir ligeros síntomas después de varias horas de exposición	1
Mínima concentración detectable por olor	0,2-3,5
Concentración tolerable hasta 30 min. Sin ningún síntoma de malestar (subjetivo)	3-5
Mínima concentración para provocar irritación moderada del tracto superior respiratorio y mucosa conjuntiva	5-8
Mínima concentración para provocar tos leve y supuración en los ojos	15
Mínima concentración para que aparezcan náuseas, vómitos, sensación de ahogo, falta de respiración y ataques de tos, y a veces espasmos bronquiales	30
Concentración que conduce al desarrollo de una traqueobronquitis tóxica	40-60
Cantidad que causa la muerte en la mayoría de los animales en un tiempo muy corto	1.000

da un valor inferior, de 0,31 ml/m³). Una exposición prolongada parece incrementar el umbral olfativo por saturación de la pituitaria.

El resumen de los síntomas que pueden aparecer en una persona expuesta a ambientes en presencia de cloro se resume en la Tabla 1.

En presencia de cantidades elevada, a partir de 30 ml/m³, puede producir la muerte por asfixia. Para concentraciones más altas, comprendidas en el intervalo de 40-60 ml/m³, pueden producirse edemas pulmonares debido a la destrucción de la membrana alveolar, incluso tras haber finalizado la exposición. Este fenómeno se caracteriza por una falta creciente de respiración, desasosiego y cianosis. Por consiguiente, pueden aparecer complicaciones mayores tras varios días, (por ejemplo, en forma de neumonía) debido a la superinfección del tejido pulmonar dañado.

En el caso de que sobrevenga la muerte, ésta es debida a una intoxicación aguda por un fulminante edema pulmonar.

La mínima cantidad para producir ligeros síntomas después de varias horas de exposición es de 1 ml/m³. La mitad de este valor (0,5 ppm) ha sido adoptado como TLV-TWA por la ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists), valor máximo permitido de exposición en ambientes de trabajo a lo largo de una jornada de ocho horas (4).

Diversas organizaciones gubernamentales y privadas dedicadas a la prevención de enfermedades profe-

sionales y a la protección del medio ambiente y la salud han venido elaborando índices de toxicidad cuya aplicación abarca desde el ámbito laboral hasta el análisis de la contaminación atmosférica, en el caso de un accidente mayor en el que se vea envuelta la sustancia en cuestión. Las Tablas 2 y 3 recogen, respectivamente, algunos de los índices de toxicidad más extendidos en la actualidad, así como los valores de las constantes utilizadas en la ecuación PROBIT para la determinación de muertes por inhalación de cloro en un análisis de vulnerabilidad. En la Tabla 4 se muestran la relación entre concentración y tiempo de exposición para diferentes niveles de consecuencias, según los datos de Eisenberg y cols. (5).

TABLA 2. Índices de toxicidad del cloro según diversas organizaciones.

Índice toxicidad	Concentración
MAK	0,5 ml/m ³ (1,5 mg/m ³)
TLV-TWA	0,5 ml/m ³ (3 mg/m ³)
TLV-STEL	3,0 ml/m ³ (9 mg/m ³)
IDLH (IPVS)	25 ml/m ³ (75 mg/m ³)
PEL	1 ml/m ³ (3 mg/m ³)
ERPG-1	1 ml/m ³ (3 mg/m ³)
ERPG-2	3 ml/m ³ (9 mg/m ³)
ERPG-3	20 ml/m ³ (58 mg/m ³)

TABLA 3. Valores de las variables de la ecuación PROBIT para mortalidad ocasionada por inhalación de cloro (6, 7).

<ul style="list-style-type: none"> • Ecuación PROBIT para concentraciones constantes. • Ecuación PROBIT para concentraciones variables en el tiempo. 		$Y = k_1 + k_2 \cdot \ln(C^n \cdot t)$ $Y = k_1 + k_2 \cdot \ln\left(\int_0^t C^n \cdot t\right)$	
k₁	k₂	n	
-8.29	0.92	2	

Y = número de unidades PROBIT; t = tiempo de exposición [min.].

TABLA 4. Efecto de distintas concentraciones de cloro en aire.

Concentración (ml/m ³)	Tiempo de exposición	Efecto
3	Indefinido	Molestias sin riesgo importante.
7	≥ 1 h	Irritación de fuerte a intolerable. Riesgo para personas de alta susceptibilidad.
20	Varias horas	50 por 100 de mortalidad.
33	~ 1 h	50 por 100 de mortalidad.
60	10 minutos	50 por 100 de mortalidad.

Para seres humanos se acepta la LC₅₀ calculada en base a los resultados obtenidos por extrapolación de experimentos con animales, comprendida entre 300 y 400 ml/m³ (6) (7) durante treinta minutos de exposición. No se han observado muertes de los animales en estudio para concentraciones menores de 50 ml/m³ en exposiciones de treinta minutos (10). A este respecto, debe recordarse que el valor IDLH (Immediate Dangerous for Life or Health), o IPVS (Inmediatamente Peligroso para la Vida o la Salud), establecido por NIOSH es de 25 ml/m³ (o ppm), y representa la máxima concentración en aire a la cual se considera que un trabajador en buen estado de salud puede exponerse durante treinta minutos sin resultado de muerte o daños orgánicos irreversibles.

Recientes estudios indican la posibilidad de la aparición de daños reversibles en la función del pulmón a concentraciones de 0,5 ml/m³ (8) (9). No obstante, investigaciones (11) a largo plazo sobre trabajadores expuestos a cloro (por ejemplo, en plantas de electrólisis de cloro-álcali o de pulpa para papel) no indican un incremento de los índices de mortalidad o baja laboral por enfermedad pulmonar. Asimismo, también es importante destacar que no se han detectado indicaciones de que el cloro sea cancerígeno o mutagénico en experimentos sobre animales, ni se han encontrado eviden-

cias sobre este aspecto en medicina industrial.

Además de los efectos producidos por el cloro en su estado gaseoso, es conveniente recordar también los posibles efectos de sus productos de reacción: el cloro emite humos altamente tóxicos cuando se calienta, y cuando reacciona con agua se producen vapores corrosivos de ácido clorhídrico.

Por supuesto los posibles efectos para el medio ambiente son también muy negativos, ya que tanto en la flora como la fauna se ven afectadas por la presencia de una nube tóxica de cloro. Los animales, dependiendo de sus características propias, pueden presentar síntomas similares a los de los humanos con daños generalmente proporcionales a su tamaño. Las quemaduras y efectos oxidantes del cloro son bien patentes e incluso puede trazarse el camino que ha seguido una nube de cloro observando las secuencias en la flora que ha estado expuesta a este agente.

MEDIDAS A ADOPTAR EN CASO DE ACCIDENTE MAYOR

En los estudios de evaluación de riesgos, el diseño de las instalaciones y equipos que manejan cloro, así como las normas de mantenimiento y operación, deben examinarse en profundidad para minimizar los riesgos. No obstante, todavía existirá un cierto riesgo inherente al procesado de este

material, y todos los esfuerzos deberán emplearse en proteger a las personas y el medio ambiente en caso de una *emergencia por cloro*.

De ahí la necesidad de contar con un plan de emergencia (interior y exterior) en caso de accidente y de darlo a conocer anticipadamente al personal que pueda verse involucrado, incluida la población circundante (12). En este contexto es necesario realizar simulacros y ejercicios periódicos para comprobar el buen funcionamiento de los sistemas de seguridad.

En cualquier caso, una vez conocida la existencia de una fuga, si el tiempo disponible lo permite, debe inmediatamente evacuarse y aislarse la zona en peligro, que puede tener un radio desde 50 m (en caso de fugas en pequeños recipientes) hasta varios kilómetros (en caso de grandes tan-

Los sistemas de medida instalados por Protección Civil para la prevención de la contaminación atmosférica registraron valores de cloro en el aire de al menos 25 ppm. Debido a que el rango de medida de estos sensores estaba comprendido entre 0 y 25 ppm., éstos se saturaron, por lo que es de suponer que sí se alcanzaron concentraciones muy superiores al límite inmediatamente peligroso para la salud.

ques). No debe permitirse el retorno del personal hasta que se haya comprobado que la concentración de cloro es tolerable en todo el área, especialmente en los puntos bajos y protegidos del viento donde puede haberse acumulado gas cloro, favorecido por su alta densidad o por la presencia de restos de líquido. Cuando no hay tiempo suficiente para la evacuación, debe alertarse a la población que pueda ser afectada, con objeto de que tome las medidas de autoprotección necesarias (por ejemplo, refugio en el interior de edificios, precin-



Los estudios de evaluación de riesgos y de diseño de instalaciones y equipos que manejan cloro, así como las normas de mantenimiento y operación, deben examinarse en profundidad para minimizar los riesgos.

tando de puertas y ventanas, y parada inmediata de los sistemas de ventilación hasta que haya pasado la nube).

Los responsables de seguridad de la planta donde se ha producido el accidente deben valorar la magnitud de éste para determinar, si es necesario, poner en marcha el plan de seguridad externo (y avisar a las autoridades pertinentes), o es suficiente con la activación del plan interno.

En cuanto a las medidas de mitigación, puede disponerse de cortinas de agua, fijas o móviles, para reducir la dispersión de la nube de gas cloro. Con todo, debe evitarse dirigir el agua hacia la zona donde se produce la fuga, puesto que la formación de ácido clorhídrico (reacción Cl_2 y agua) podría hacer aún mayor el orificio de salida del gas, y tampoco debe dirigirse sobre el cloro líquido, ya que se le suministraría calor que utilizaría para vaporizarse, aumentando, además, la turbulencia y favoreciendo nuevamente la evaporación.

También es importante contar con algún medio para medir la dirección del viento cerca de las instalaciones de cloro; de este modo será posible predecir qué zonas podrían verse afectadas por la progresión de la nube

Los sistemas de medida instalados por Protección Civil para la prevención de la contaminación atmosférica registraron valores de cloro en el aire de al menos 25 ppm. Debido a que el rango de medida de estos sensores estaba comprendido entre 0 y 25 ppm., éstos se saturaron, por lo que es de suponer que sí se alcanzaron concentraciones muy superiores al límite inmediatamente peligroso para la salud.

y, en caso de evacuación, no alejarse en la misma dirección en la que se desplaza la nube tóxica.

Cualquier persona desprovista de máscara deberá evitar respirar profundamente hasta que se encuentre lejos de las emanaciones. Se debe evitar el pánico y no correr, pues la aceleración del ritmo respiratorio aumenta la acción nociva del cloro. Es preferible mantener la boca cerrada y respirar poco y rápidamente para no llenar los pulmones de aire viciado.

La atención primaria de las personas que han estado en presencia de una nube tóxica de cloro debe ser la siguiente (13):

- Situar a los afectados en una zona con aire limpio, separándolos de la zona de la fuente de contaminación.
- Mantenerlos en reposo, ya que, dependiendo de la gravedad de sus lesiones respiratorias, no es recomendable realizar ningún tipo de actividad.
- Si está indicado por personal cualificado, aplicar respiración asistida. Si el intoxicado ha dejado de respirar, realizar el boca a boca.
- Enjuagar con abundante agua los ojos durante varios minutos.

– En caso de contacto con la piel, quitarse las ropas contaminadas, evitando respirar los vapores que desprenden; aclarar la piel con abundante agua y jabón, o ducharse, si es necesario, al menos durante quince minutos.

– En todos los casos, proporcionar asistencia médica.

ANÁLISIS DE UN CASO REAL

El 21 de enero de 1996, alrededor de las 14.10 horas, una tubería que transportaba cloro líquido en la planta de producción de clorometanos propiedad de una empresa de Tarragona,

(España) se rompió, liberando su contenido y el de un tanque de almacenamiento intermedio (5.000-6.000 kg) (14). Inmediatamente se produjo una nube tóxica de cloro en la que se alcanzaron concentraciones muy elevadas, teniendo que ser activados tanto el plan de emergencia interno de la planta como el plan de emergencia externo. La nube tóxica se trasladó, impulsada por el viento, hacia la localidad más próxima (aproximadamente, 5.000 habitantes), situada a menos de un kilómetro del punto del accidente.

Las concentraciones de cloro medidas en el área residencial fueron de, al menos, 25 ppm, lo cual las sitúa en valores inmediatamente peligrosos

Según Lees, y basándose en un análisis histórico de diversos accidentes que involucran la liberación a la atmósfera de cantidades variables de cloro, el resultado de estos sucesos se salda en promedio con una muerte por cada tonelada de cloro liberada.



Una vez conocida la existencia de una fuga, se debe evacuar inmediatamente al personal y aislar la zona en peligro.

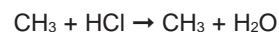
para la salud (IDLH del cloro es de 25 ppm). Sin embargo, y debido a la hora en que se produjo el accidente (en la madrugada) y la baja temperatura ambiente (aproximadamente 4 °C), la población de Flix se encontraba mayoritariamente en sus casas y con las ventanas cerradas, evitando así un contacto directo con la nube tóxica. Por fortuna, sólo 12 personas necesitaron atención médica, de las cuales dos debieron ser mantenidas en observación médica durante las veinticuatro horas siguientes al accidente.

Descripción del escenario

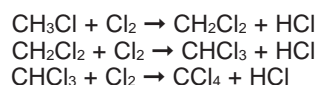
Esta planta química produce clorometanos que se utilizan como disolventes y como productos químicos intermedios.

La síntesis de estos productos se realiza en dos etapas en reactores distintos:

1. Hidrocloración de metanol para obtención de monoclorometano:



2. Cloración sucesiva para conseguir el resto de clorometanos:



El cloro necesario para la cloración progresiva se obtiene de una planta anexa (proceso cloro-sosa por cátodo de mercurio), que se encuentra dentro de las propias instalaciones de la empresa.

Este cloro, producido en las celdas de electrólisis, pasa por un tanque intermedio con una presión de trabajo de 7,8 bar-g antes de pasar al reactor, impulsado por una bomba encapsulada preparada para impulsar cloro líquido.

Fue precisamente en ese punto donde se produjo la fuga de cloro, rompiéndose la tubería de entrada de alimentación al reactor y vaciándose el tanque de almacenamiento intermedio.

Causas del accidente

Todos los estudios llevados a cabo hasta la fecha indican que el incremento de fricción interno en la bomba de impulsión de cloro líquido al reactor de cloración fue el desencadenante del suceso (15). Esto provocó la parada del impulsor del líquido y el consiguiente calentamiento del cloro que se encontraba en ese instante en el interior de la bomba (la bomba del amperímetro del circuito estator, tras el bloqueo de la bomba, equivalía a una velocidad de generación de calor de 130 W). Cuando la temperatura del cloro fue lo suficientemente elevada como para producir la ignición del acero (material de construcción de las tuberías y la bomba), la reacción se propagó rápidamente por la conducción y se produjo la ruptura de ésta a poca distancia del punto de admisión de cloro en la bomba. Tras la ruptura, nada se pudo hacer para evitar que se

Para seres humanos se acepta la LC₅₀, calculada en base a los resultados obtenidos por extrapolación, comprendida entre 300 y 400 mL/m³ durante treinta minutos de exposición.

vaciara el tanque de almacenamiento intermedio. La válvula manual existente no pudo ser utilizada en esas condiciones. Las aproximadamente 6 toneladas de cloro contenidas en el tanque se vaciaron por completo en menos de 3,5 minutos.

Consecuencias del accidente

Tras la pérdida de contención, primeramente se produjo una evaporación súbita (*flash*) al ponerse el líquido a temperatura y presión ambiente. La nube de cloro incrementó su contenido debido a la evaporación; parte de las pequeñas gotas de líquido arrastradas en este *flash* inicial volvieron a caer al suelo. Las gotas sedimentadas, junto con el resto de cloro líquido, formaron en el suelo un charco de forma no conocida al no existir un recinto de contención. De esta forma se obtuvo una nube inicial (*flash*), seguida de una evaporación más lenta, a partir del charco de cloro líquido.

La nube tóxica principal se desplazó lentamente, debido a la existencia de un ligero viento, hacia la cuenca del río Ebro, localizado a escasamente unas decenas de metros del punto de ruptura. La presencia del río sirvió para encauzar la nube hacia la población.

Los sistemas de medida instalados por Protección Civil para la prevención de la contaminación atmosférica registraron valores de cloro en el aire de al menos 25 ppm. Debido a que el rango de medida de estos sensores estaba comprendido entre 0 y 25 ppm, éstos se saturaron, por lo que es de suponer que sí se alcanzaron concentraciones muy superiores al límite inmediatamente peligroso para la salud (IDLH).

Debido a la naturaleza del accidente, que provocó una parada total de la planta por falta de alimentación de cloro al reactor, el fallo se descubrió inmediatamente, aunque los esfuerzos para detener la descarga del cloro contenido en el tanque fueron completamente inútiles debido a la corta duración del vaciado de éste.

Los servicios de emergencia procedieron a cortar rápidamente el tráfico por carretera y por ferrocarril de la zona y se alertó a los servicios médicos. Los vecinos de la localidad no fueron avisados en vista de la situación, aun a pesar de que esta circunstancia esba expresamente prevista en los Planes de Emergencia Exterior de la población, ya que a esa hora (bastante entrada la media noche), y en invierno, la mayoría de ellos se encontraba en sus casas, durmiendo, con

las ventanas cerradas. Probablemente se estimó más adecuado no alertar a la población, con objeto de evitar un pánico que hubiera resultado peligroso. Aun así, se enviaron patrullas para asegurarse de que nadie se viera sorprendido por el paso de la nube tóxica. La situación hubiera sido considerablemente distinta (mucho más peligrosa) si el accidente se hubiera producido en horario laboral, con la población en el exterior, o a otra hora más temprana, o durante el verano, cuando la población tiene puertas o ventanas abiertas a causa del calor.

Parece claro que en un accidente de este tipo se podría haber actuado de manera mucho más efectiva y sin provocar el pánico si la población hubiera sido informada previamente de los riesgos que acarrea la presencia de las empresas cercanas que manejan productos peligrosos y de cómo comportarse en estas situaciones, tal como prevé el artículo 13 de la nueva Directiva europea sobre el «Control de los riesgos inherentes a accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas» (Dir. 96/82 CE) (2) de inminente transposición a la legislación española.

CONSIDERACIONES

Una válvula operada por control remoto, que ya ha sido colocada a raíz del accidente, hubiera impedido el vaciado total del tanque y minimizado el impacto del escape. En general, el manejo de cloro obliga a extremar las medidas para evitar fallos mecánicos, a una adecuada elección de materiales y a la reducción de las tuberías y de las ramificaciones de éstas, etc., con objeto de minimizar los acciden-

Este accidente fue extremadamente grave y hubiera tenido consecuencias más serias en caso de producirse en condiciones más desfavorables. Este accidente sirvió para que tanto la población como la empresa involucrada tomaran conciencia de la necesidad de realizar un plan de simulación y preparación de las emergencias.

tes y sus consecuencias. El uso de agua para arrastrar el charco de cloro formado tras la fuga no es correcto (aunque se hizo), ya que suministra calor al líquido que aún está a baja temperatura y favorece la evaporación del cloro. Es preferible utilizar espumas especialmente indicadas para ello. Asimismo es recomendable reemplazar las bombas de impulsión del líquido por un gas inerte seco que proporcione presión al recipiente de almacenamiento y sirva de impulsión para el movimiento y la transferencia del líquido.

Este accidente fue extremadamente grave y hubiera tenido consecuencias más serias en caso de producirse en condiciones más desfavorables, y sirvió para que tanto la población como la empresa involucrada tomaran conciencia de la necesidad de realizar un plan de simulación y preparación de las emergencias.

BIBLIOGRAFÍA

- (1) LEES, F. P. (1996): *Loss Prevention in the Process Industries*, (2nd Edition); Butterworth-Heinemann. Londres.
- (2) Directiva 96/82/CE del Consejo de 9 de diciembre de 1996 relativa al control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas. D.O.C.E. núm. L 10/13.
- (3) KING, R. (1990): «Safety in the Process Industries». Butterworth-Heinemann. Londres.
- (4) INSHT (1996): «Contaminantes Químicos. Evaluación de la Exposición». *Aplicaciones informáticas para la prevención*, Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.
- (5) EISENBERG, N. A.; LYNCH, C. J. y BREEDING, R. J. (1975): «Vulnerability Model. A Simulation System for Assessing Damage Resulting from Marine Spills». *National Technology Information Service Report AD-A015-245*, Springfield.
- (6) LEES, F. P. (1996): *Loss Prevention in the Process Industries*. Butterworth-Heinemann, Londres.
- (7) CCPS (Center for Chemical Process Safety) (1989): «Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis». *AIChE*, Nueva York.
- (8) ROTMAN, H. H.; FLIEGELMAN, M. J.; MOORE, T.; SMITH, R. G.; ANGLIN, D. M.; KOWALSKI, J. y WEG, J. G. (1983): «Effects of Low Concentrations of Chlorine on Pulmonary Functions in Humans». *J. Appl. Physiol.: Resp. Environ. Exercise Physiol.*, núm. 54, p. 1.120.
- (9) (1984): «Chronic Inhalation Toxicity Study on Chlorine in Non-Human



Los responsables de seguridad de la planta donde se ha producido un accidente deben valorar la magnitud de éste, por si es necesario activar el plan interno o externo de seguridad.

- Primates». *CITT Activities Chemical Institute Toxicology*, núm. 4, p. 1.
- (10) DAVIES, P. y HYMES, I. (1985): «Chlorine toxicity criteria for hazard assessment». *Chem. Eng.*, June 30.
- (11) PATIL, L. R. S.; SMITH, R. G.; VORWALD, A. J. y MOONEY, T. F. (1970): «The health of diaphragm cell workers exposed to chlorine». *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.*, núm. 31, p. 678.
- (12) Dirección General de Protección Civil (1991): *Guía para la Comunicación de Riesgos Industriales Químicos y Planes de Emergencia*, Madrid.
- (13) Ministerio de Industria, Comercio y Energía (1991): «Reglamento de

- Aparatos a Presión e Instrucciones Complementarias». *Centro de Publicaciones*, Ministerio de Industria, Comercio y Turismo. Madrid.
- (14) MARCO, E.; PEÑA, J. A. y SANTAMARÍA, J. (1998): «The Chlorine Release at Flix (Spain) on January 21st 1996: A Case Study». *J. Loss Prev. Process Ind.*, en prensa.
- (15) (1996): «Informe sobre el accidente ocurrido el día 21 de enero de 1996». *por comunicación privada del Departament d'Industria i Energia*, Generalitat de Catalunya.