



**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL**

**GUÍA DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN DE ACCIDENTES QUÍMICOS
EN UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

GABRIELA ALEJANDRA IBARRA CODOCEO

PROFESOR GUÍA:
GERARDO AHUMADA THEODULOZ

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
FERNANDO HIDALGO TAPIA
ANA MARÍA SANCHA FERNÁNDEZ

SANTIAGO DE CHILE
MAYO 2008

Agradecimientos

Agradezco a mis padres y a mis hermanas, por ser quienes me impulsaron a estudiar Ingeniería y por haberme acompañado en cada etapa de mi vida. Son ellos quienes me formaron como persona y me enseñaron a ser quien soy. Me han acompañado todo este tiempo y sé lo orgullosos que se sienten de que concluya mi carrera, para iniciarme como profesional.

También debo dar las gracias a mis amigas y amigos, que siempre han estado conmigo, y me han ayudado a enfrentar situaciones difíciles. Agradezco principalmente a María José y a Cristina, por darme siempre la motivación necesaria para enfrentar este último peldaño en mi vida universitaria.

Le doy gracias a R, mi pololo, que ha estado conmigo durante todo este período, siendo mi apoyo y fuerza. No ha sido una etapa fácil, pero él siempre ha estado ahí, animándome a trabajar y a ser cada día mejor.

No debo dejar de mencionar a mis profesores de la comisión, quienes han mostrado una gran disponibilidad para llevar adelante este Trabajo de Título.

Muchas gracias a todos.

A mi papá

**RESUMEN DE LA MEMORIA
PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL
POR: GABRIELA IBARRA C.
FECHA: 05/05/2008
PROF. GUÍA: Sr. GERARDO AHUMADA Th.**

“GUÍA DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN DE ACCIDENTES QUÍMICOS EN UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE”

El agua potable es uno de los recursos más preciados por el hombre, dado que mejora considerablemente su calidad de vida, y por tanto merece la mayor prolijidad.

Una Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP), además de ser eficiente en su función, debe brindar seguridad a sus trabajadores y a la comunidad en general. Como todo lugar donde se almacenan y manipulan sustancias peligrosas, genera riesgo de accidentes en su interior si éstas no son bien manejadas. Así, las medidas para prevenir accidentes químicos son de gran importancia.

El objetivo general del presente Trabajo de Título es aportar una herramienta que entregue pautas y recomendaciones de prevención de accidentes químicos al interior de una PTAP, y de mitigación, en caso de que estos ocurran, ya que en nuestro país no existe normativa específica relativa al control de accidentes en que intervengan sustancias peligrosas dentro de este tipo de instalaciones, pese a que el tema está tomando cada vez más fuerza. Caso contrario ocurre en Europa, donde este tipo de normativa sí existe, como por ejemplo en España.

De los antecedentes bibliográficos revisados se tiene que los insumos más utilizados en la potabilización del agua en Chile, y que generan mayor riesgo de accidentes, corresponden al sulfato de aluminio y cloruro férrico en la etapa de coagulación, cloro en la desinfección, y flúor en la etapa de fluoración. Éste último genera un alto riesgo de accidente a quienes lo manipulan, dada su elevada toxicidad, sin embargo, un escape de cloro sería de mayor peligrosidad, o traería mayores consecuencias, dado que no sólo afectaría a los trabajadores, sino que a las poblaciones cercanas y al medio ambiente, por la nube tóxica generada.

Como resultado de la memoria se propone una Lista de Control, o Check List, donde se reseñan los principales riesgos para los insumos más utilizados y se proponen medidas a tomar.

Una de las primeras medidas a considerar es capacitar al personal en la manipulación de sustancias peligrosas, puesto que de ellos depende, en gran medida, una buena manipulación de los insumos y son quienes deben tomar las primeras acciones en caso de una emergencia.

Se concluye que lo más importante es prevenir accidentes y que toda PTAP debe contar con una guía de prevención y mitigación de éstos. Aunque algunas medidas presuponen una inversión, debe tenerse en cuenta que reducir la vulnerabilidad minimiza las pérdidas y evita inversiones e incluso demandas judiciales luego de ocurrido un accidente o desastre.

Contenido

1	Introducción General	8
1.1	Introducción.....	8
1.2	Objetivos	11
1.2.1	Objetivo General	11
1.2.2	Objetivos Específicos.....	11
1.3	Accidentes Químicos	12
1.3.1	Flixborough, Reino Unido, 1974 ^[1]	12
1.3.2	Seveso, Italia, 1976 ^[1]	13
1.3.3	Bhopal, India, 1984 ^[1]	14
1.3.4	Guadalajara, México, 1992 ^[1]	15
1.3.5	Accidentes ocurridos a nivel nacional ^[10]	16
2	Marco Legal	18
2.1	Normativa Europea	18
2.2	Normativa Española.....	20
2.3	Normativa Nacional.....	22
3	Propiedades de los insumos más utilizados en la potabilización del agua	29
3.1	Acondicionamiento del agua.....	34
3.2	Coagulación - Floculación.....	35
3.2.1	Polielectrolitos	36
3.2.2	Coagulantes metálicos.....	37
3.3	Desinfección del Agua	40
3.3.1	Cloro.....	41
3.3.2	Ozono (O ₃).....	46
3.3.3	Cloraminas	46
3.3.4	Dióxido de cloro (ClO ₂)	47
3.4	Fluoración del agua.....	48
3.5	Neutralización del Cloro.....	51
4	Vandalismo y Cálculo de la Vulnerabilidad	52
4.1	Seguridad	52
4.1.1	Evaluación de riesgos	53
4.1.2	Temas de gestión.....	57
4.1.3	Seguridad física	58
4.1.4	Seguridad de trabajadores y contratistas	60
4.2	Cálculo de la vulnerabilidad	60
4.2.1	Vulnerabilidad de las personas.....	61
4.2.2	Vulnerabilidad al Medio Ambiente	65
5	Manejo Seguro de Sustancias Peligrosas	71
5.1	Medidas de Prevención de Accidentes.....	72
5.1.1	Medidas para el manejo seguro de una PTAP	72

5.1.1.1	Localización y edificios	73
5.1.1.2	Almacenamiento de sustancias peligrosas.....	81
5.1.1.3	Procedimientos de emergencia generales	88
5.1.1.4	Operaciones de limpieza	92
5.1.2	Check List	93
5.2	Medidas de Mitigación Frente a Accidentes Relacionados con el Uso de Insumos	95
5.2.1	Medidas a tomar en caso de derrames y/o fugas.....	96
5.2.2	Primeros auxilios.....	99
5.2.3	Medidas a tomar en caso de incendio y explosión	104
6	Conclusiones y Recomendaciones.....	108
	Bibliografía.....	115
	ANEXO A	A-1
	ANEXO B	B-1
	ANEXO C	C-1
	ANEXO D	D-1

Índice de Tablas

Tabla 1.1 Cobertura de agua potable urbana en Chile 1990, 1996-2005	8
Tabla 2.1 Cuadro resumen normativa nacional	27
Tabla 2.2 Cuadro resumen normativa nacional (Continuación).....	28
Tabla 3.1 Coliformes	30
Tabla 3.2 Potenciales efectos sobre la salud.....	33
Tabla 3.3 Patógenos en el agua	40
Tabla 3.4 Efectos fisiológicos del gas cloro	43
Tabla 4.1 Equivalencia entre valor Probit y porcentaje.....	62
Tabla 4.2 Criterios para el factor probabilidad	68
Tabla 4.3 Criterios para el factor frecuencia	68
Tabla 5.1 Notación Check List	95

Índice de Figuras

Figura 3.1 Esquema general PTAP.....	31
Figura 3.2 Principales sustancias químicas	32
Figura 3.3 Riesgos de las principales sustancias químicas.....	32
Figura 4.1 Los siete principios de HACCP	55
Figura 5.1 Ciclo de prevención de accidentes	71
Figura 5.2 Planta Vizcachitas.....	73
Figura 5.3 Torre de Neutralización.....	76
Figura 5.4 Instalación de Cloradores	80

1 Introducción General

1.1 Introducción

El agua es un recurso imprescindible para el desarrollo de la vida, sólo el 0,003% del volumen total del planeta es agua dulce disponible para el hombre y el consumo promedio de una persona es entre 150 y 200 l/día. La potabilización del agua es un recurso muypreciado, dado que mejora considerablemente la calidad de vida, por ejemplo, ayudando a disminuir la transmisión de algunas enfermedades.

En muchos países el agua potable es un bien cada vez más escaso y se teme que puedan generarse conflictos bélicos por la posesión de sus fuentes. En Chile, sin embargo, la cobertura de agua potable es casi total, como se puede apreciar en la siguiente tabla.

Tabla 1.1 Cobertura de agua potable urbana en Chile 1990, 1996-2005

Años	Cobertura Urbana Agua Potable [%]
1990	97,4
1996	98,9
1997	99,3
1998	99,3
1999	99,2
2000	99,6
2001	99,7
2002	99,8
2003	99,8
2004	99,7
2005	99,8

Fuente: SISS. Informe Anual de Coberturas de Servicios Sanitarios 2005.

Una Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP), además de prestar un buen servicio, contando con un suministro continuo, debe brindar seguridad a sus trabajadores y a la comunidad en general, debiéndose tener especial cuidado con la ocurrencia de accidentes al interior de ésta, dado que al igual que otras instalaciones donde se almacenan y manipulan sustancias peligrosas, genera riesgo de accidentes en su interior si los insumos no son bien manejados, por lo que medidas para prevenir accidentes químicos son de gran importancia. Si no es posible evitar la ocurrencia de un accidente, se hace necesario atenuar sus efectos lo antes posible y en forma eficiente mediante medidas de mitigación. También deben tenerse en cuenta medidas de seguridad contra otras amenazas, como vandalismo.

Los desastres químicos son, por lo general, pérdida de gases o líquidos tóxicos de una industria, explosiones e incendios, que producen intoxicación aguda en las poblaciones afectadas por los agentes contaminantes. Se trata en estos casos de un desastre inmediato, y tanto los que trabajan en la industria como los que viven en las zonas cercanas están expuestos a un riesgo agudo.

Muchos accidentes y desastres químicos han ocurrido a lo largo de la historia, dejando graves consecuencias tanto para la salud de la población, daños al medio ambiente y grandes pérdidas económicas, pero algunos de ellos, como el caso de Seveso, Italia, trajo también otro tipo de efectos, como la toma de conciencia por parte de las autoridades, en este caso europeas, para intentar controlar los riesgos en la industria química. Como resultado de ello, se promulgó la primera Directiva Europea relativa al control de accidentes graves en determinadas actividades industriales, la Directiva 82/501/CEE.

El esquema general de una PTAP consta de las siguientes etapas: pretratamiento de desarenación, sedimentación mediante proceso físico-químico de coagulación floculación, filtración por arena, desinfección y fluoración.

Los insumos más utilizados en la potabilización del agua en Chile, y que generan mayor riesgo de accidentes, corresponden a sulfato de aluminio líquido y granulado y cloruro férrico en la etapa de coagulación, cloro en la desinfección, y flúor en la etapa de fluoración. Si estas sustancias químicas no son bien utilizadas, o bien manejadas, pueden causar accidentes a los trabajadores y daños a las poblaciones cercanas, los bienes, y el medio ambiente. Por ejemplo, un escape de cloro podría generar una nube tóxica, capaz de expandirse por varios kilómetros si no está bien controlado.

Lo que este trabajo de título pretende es entregar pautas y recomendaciones para prevenir y/o mitigar accidentes químicos al interior de las plantas de tratamiento de agua potable.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

El objetivo general de este Trabajo de Título es confeccionar una guía para plantas de tratamiento de agua potable, donde se identifiquen los riesgos, se indiquen las medidas de seguridad y prevención para reducir el riesgo, y se planteen las medidas de mitigación para diferentes escenarios de accidentes químicos.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Identificación de sustancias peligrosas presentes en el proceso de potabilización del agua o que se puedan generar, en caso de accidente, en una PTAP.
- Identificación de riesgos y posibles accidentes químicos a ocurrir dentro de una PTAP. Planteamiento de los posibles escenarios.
- Determinación de niveles mínimos de seguridad dentro de la PTAP.
- Determinación de un método que permita estimar la vulnerabilidad de las personas y el medio ambiente frente a estos accidentes.
- Planteamiento de soluciones y medidas de prevención y mitigación para los distintos tipos de accidentes químicos.

1.3 Accidentes Químicos

Muchos accidentes químicos han causado graves daños a las personas, a los bienes y al medio ambiente, por lo que se hace indispensable tomar acciones preventivas, y en caso de que éstos ocurran, se debe actuar de forma apropiada con el fin de lograr el menor efecto dañino.

Algunos de los accidentes industriales de mayor proporción traspasan ampliamente los límites físicos de las industrias involucradas; estos accidentes pueden estar relacionados, ya sea con la fabricación, uso y/o transporte de productos químicos. A continuación se muestran ejemplos de graves accidentes industriales mundiales y nacionales.

1.3.1 Flixborough, Reino Unido, 1974 ^[1]

El 1 de junio de 1974 en la planta de Flixborough Works de Nypro Ltd., se produjo un grave accidente en la sección de reacción de la planta de producción de caprolactama, de fórmula química $C_6H_{11}NO$, que es una molécula clave en la síntesis del nylon, a partir de la oxidación de ciclohexano. El proceso de producción consistía en un tren de seis reactores en serie en los que el ciclohexano se oxida con ciclohexanona y ciclohexanol por inyección de aire en presencia de un catalizador.

Algunos días antes de que ocurriera el accidente se produjo una fuga en el reactor número 5 y una grieta de casi dos metros, lo que indujo a eliminar dicho reactor en serie y se sustituyó por un conducto o tubería bypass que unía los reactores 4 y 6. El incidente se produjo precisamente por la rotura de esta unión provisional debido a un aumento de presión en los mismos. El control de presión se podría haber realizado venteando parte del gas de los reactores a las antorchas inyectando nitrógeno, pero había poca cantidad almacenada y no se podía recibir más nitrógeno hasta la media noche, lo que habría motivado la paralización de la producción. Por tanto se decidió no ventear, lo que impidió el control de presión en los reactores.

Por la tarde se produjo un escape de unas 40 toneladas de ciclohexano, lo que formó una nube inflamable y casi inmediatamente estalló generando una explosión de vapor no confinada. Las consecuencias fueron:

- Destrucción completa de la planta de producción de caprolactama
- 28 personas muertas, 36 heridos graves y varios centenares de heridos leves
- Daños graves en alrededor de 1.800 casas y 170 tiendas de las proximidades
- Extensión de los daños a otras instalaciones próximas.

Como consecuencia de este accidente el Reino Unido decreta una serie de normativas relativas al manejo de residuos peligrosos (legislación CIMAH).

1.3.2 Seveso, Italia, 1976 ^[1]

El 9 de julio de 1976 se procedió, como era habitual, a la elaboración de TCP en la planta Icmesa Chemical Company en Seveso, Italia. El tanque de reacción de TCP se llenó con diversas materias primas y se dio comienzo a un proceso que finalizó de madrugada, cuando uno de los técnicos dio la orden de interrumpir una destilación que no estaba completa.

A la mañana siguiente, la brida de una válvula de seguridad del tanque de TCP estalló como resultado de una sobrepresión, causada por una reacción exotérmica (paso del estado líquido a gaseoso con desprendimiento de calor) accidental. El resultado fue la emisión de una nube tóxica, que contenía sustancias tóxicas y, entre ellas, la dioxina TCDD, muy tóxica. El área cubierta por la nube fue de aproximadamente 1.800 hectáreas, donde se produjeron numerosos intoxicados (447 casos de quemaduras químicas agudas y 193 casos de cloracné, erupción persistente de furúnculos dolorosos en todo el cuerpo) y graves daños en cultivos, suelo y medio ambiente.

Una de las principales consecuencias de este accidente fue la toma de conciencia por parte de las autoridades italianas y europeas para intentar controlar los riesgos de este tipo de instalaciones, dando origen a la primera Directiva Europea relativa al control de los riesgos de accidentes graves en determinadas actividades industriales, la Directiva 82/501/CEE.

1.3.3 Bhopal, India, 1984 ^[1]

La noche del 2 al 3 de diciembre de 1984, en la sala de control de la planta de pesticidas Union Carbide India Limited se detectó un aumento de presión en uno de los depósitos de isocianato de metilo (MIC), que es un producto intermedio que se usa en la fabricación de algunos insecticidas. Además, es altamente tóxico, muy reactivo y polimeriza en presencia de determinados reactivos como hierro o cloruros. Se detectó que el recubrimiento del depósito estaba agrietado por la elevada temperatura en su interior y la alta presión hizo que se abriera la válvula de seguridad, con una emisión de MIC. Seis de las medidas de seguridad diseñadas para prevenir un escape de gas no funcionaron bien, estaban desconectadas o resultaron inadecuadas.

Se produjo un escape al exterior de alrededor de 30 toneladas de MIC. La nube tóxica que se formó afectó a la ciudad de Bhopal, de aproximadamente 800.000 habitantes. Aunque las cifras de muertos y heridos son muy imprecisas, se estima que se produjeron entre 2.500 y 4.000 muertos y más de 180.000 heridos y afectados. Los gases quemaron los ojos y las vías respiratorias de la gente, se introdujeron en su corriente sanguínea y dañaron prácticamente todos sus sistemas corporales. Muchos murieron en sus camas, otros lograron salir de sus casas, ciegos y ahogándose, y murieron en la calle. Otros murieron después de llegar a un hospital o a un centro de socorro.

Una investigación inicial de los expertos de Union Carbide demostró que gran cantidad de agua debió haber sido introducida en el tanque MIC y causó una reacción química que forzó la válvula para abrirse y permitió que el gas se escapara. Un comité de

expertos, trabajando a nombre del gobierno indio, condujo su propia investigación y alcanzó la misma conclusión.

Una de las lecciones aprendidas de este accidente corresponde a controles públicos de las instalaciones que presentan riesgo de accidentes graves, dado que el desastre tuvo gran publicidad durante bastante tiempo, principalmente en la India y en USA, que no habían reaccionado tan intensamente al accidente de Seveso en Europa.

1.3.4 Guadalajara, México, 1992 ^[1]

El 22 de abril de 1992, en la ciudad de Guadalajara, estado de Jalisco, México, se produjeron una serie de explosiones procedentes de la red de alcantarillado de unos 14 [km] de longitud de la ciudad.

La causa de estas explosiones se debió a la acumulación de gases en la red de alcantarillado, parece ser que como consecuencia de vertidos de combustible por parte de la empresa PEMEX, próxima a la ciudad. La liberación de la energía explosiva se transmitió e impactó en la superficie asfaltada, las cimentaciones y las estructuras de las edificaciones que se alineaban a lo largo de la longitud del colector. Se produjo el derrumbamiento de varios centenares de edificios, vehículos, servicios eléctricos, teléfonos, entre otros.

Se destruyeron unas 1.570 edificaciones, daños en 100 escuelas, 600 vehículos. Unas 190 personas resultaron muertas, 470 heridas y el total de damnificados fue de 6.500. El total de calles destruidas fue de aproximadamente 14 kilómetros.

1.3.5 Accidentes ocurridos a nivel nacional ^[10]

En el ámbito nacional, muchos de los accidentes ocurridos han sido mal informados, o bien, no se han mencionado, sobre todo los más pequeños, perdiéndose valiosos datos que hubieran servido para posteriores análisis cuantitativos o cualitativos. De los casos conocidos, se enumeran a continuación algunos de ellos.

- **Temuco, 5 de mayo de 1992.** Fuerte emanación y concentración de gases altamente combustibles en los ductos subterráneos de evacuación de aguas lluvias en un sector donde había ocurrido la misma situación el año anterior.
- **San Vicente, Talcahuano, 6 de marzo de 1993.** Incendio en puerto de San Vicente en Talcahuano por causa de derrame de petróleo en Terminal de Petrox y chispa de máquina soldadora en una embarcación. 1 muerto y grandes pérdidas económicas por incendio de embarcaciones e instalaciones pesqueras de la bahía.
- **Concepción, 15 de octubre de 1994.** Intoxicación masiva con sulfato de trementina descargado en un sitio próximo a una población, por camión que transportaba trementina desde Argentina al Parque Industrial de Coronel.
- **Planta Celulosa Arauco, Concepción, octubre 1994.** Explosión masiva de bolsas de clorato de sodio. Por calentamiento y efecto de la ignición se combustionan y explotan más de 300 toneladas de clorato de sodio en bolsas. Gran conmoción en la zona de Arauco y Concepción.
- **Lo Espejo, Santiago, diciembre de 1995.** Explosión de productos químicos en industria Mathieson-Molypac. Combustibles y solventes se incendian y explotan en un barrio al sur de Santiago, provocando alarma y contaminación atmosférica y de agua de incendio. Un muerto y muchos daños.
- **Quilpué, 4 de agosto de 1996.** Derrame de gasolina en poliducto de Sonacol. Más de cien mil litros de gasolina de alto octanaje se derraman desde el poliducto que transportaba combustibles desde Con-Con a Maipú, Santiago.

- **Viña del Mar, enero de 2001.** Incendio en planta química de Oxiquim. Cientos de tambores con solventes se incendian en el barrio industrial de Viña del Mar provocando contaminación atmosférica y alarma en la población.
- **Maipú, Santiago, 1 de enero de 2001.** En lanzamiento de fuegos artificiales en fiesta de año nuevo, uno de los proyectiles desvió su trayecto e impactó inesperadamente un poste de luz, cayendo las esquirlas sobre el público. Se registraron 2 personas fallecidas y 67 heridos.
- **Camino a Farellones, Lo Barnechea, Santiago, 24 de agosto de 2006.** Volcamiento de camión y derrame de 10.000 litros de nitrato de amonio en el camino y en vertiente que da al Río Mapocho. Como consecuencia Aguas Andinas debió suspender las operaciones de su planta San Enrique y otras cuatro filiales.
- **Facultad de Cs. Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Santiago, 15 de enero de 2008.** Explosión en bodega anexa a laboratorios pertenecientes a Ingeniería Civil en Minas, en dependencias del edificio de Química, producto del exceso de calor. En la bodega se almacenaban solventes y cilindros con gases. Una persona lesionada.

2 Marco Legal

2.1 Normativa Europea

Tras el grave accidente de Seveso (Italia) y otros similares, que costaron la vida a gran cantidad de personas y generaron un alto coste económico, la Unión Europea desarrolló una normativa dirigida a prevenir los accidentes en determinados sectores industriales, la Directiva 82/501/CEE, conocida como normativa Seveso. Posteriormente, la normativa Seveso fue derogada por la Directiva 96/82/CE.

- **Directiva 96/82/CE del Consejo**, de 9 de diciembre de 1996, relativa al control de riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas.

El objeto de esta directiva, que recibe el nombre de “Seveso II” es la prevención de accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas, así como la limitación de sus repercusiones en las personas y el medio ambiente, con miras a garantizar de forma coherente y eficaz niveles elevados de protección en toda la Comunidad, tal como se indica en el Artículo 1 de la misma.

Se establecen como prioridades la preservación y la protección tanto de la calidad del medio ambiente como de la salud de las personas mediante acciones de prevención, la mejora en la gestión de los riesgos y los accidentes y la puesta en común de las experiencias adquiridas por los Estados miembros. Se considera además que:

- (1) Los accidentes graves pueden tener consecuencias transfronterizas y que los costes de los accidentes recaen tanto en los establecimientos como en los Estados miembros.
- (2) Que el transporte de sustancias peligrosas a través de canalizaciones conlleva también riesgos de accidentes graves.
- (3) Que el análisis de los accidentes declarados indica que son en su mayoría defectos de gestión u organización.

(4) Y que es necesario establecer planes de emergencia internos y externos y crear sistemas que garanticen su comprobación y revisión.

Los distintos artículos de la Directiva definen los principales conceptos implicados, indican las obligaciones del industrial y establecen el contenido de la documentación a presentar, así como el funcionamiento del sistema de información e inspección a aplicar.

- **Directiva 2003/105/CE del Parlamento Europeo y del Consejo**, de 16 de diciembre de 2003, por la que se modifica la Directiva 96/82/CE del Consejo relativa al control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas.

Esta segunda modificación fue casi una consecuencia obligada de una serie de nuevos accidentes químicos: el vertido de cianuro que contaminó el Danubio (Baia Mare, Rumania) y el desastre ecológico de Aznalcóllar (Huelva), que pusieron de manifiesto que muchas actividades de almacenamiento y tratamiento de la minería podían tener consecuencias ecológicas muy graves; el accidente pirotécnico en Enschede (Holanda), que reveló que la producción y el almacenamiento de sustancias pirotécnicas y explosivas conlleva graves riesgos de accidentes; o la explosión en la fábrica de fertilizantes de Toulouse (Francia), que puso de relieve el peligro que suponía el almacenamiento de nitratos de amonio y abonos a base de estas sustancias.

Esta nueva modificación normativa determinó, entre otros aspectos, la inclusión de nuevas actividades y sustancias en el ámbito de aplicación de la norma, así como las cantidades umbrales de algunas de las sustancias consideradas como peligrosas, como el nitrato de amonio, los considerados carcinógenos y los derivados del petróleo y la exigencia de aportar mayor información a todas las personas que pudieran verse afectadas por un accidente, tanto trabajadores como población en general.

2.2 Normativa Española

- Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales de España; **Real Decreto 1254/1999**, de 16 de julio, por el que se aprueban medidas de control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas.

Este Real Decreto es la trasposición a la legislación estatal de la Directiva 96/82/CE del Parlamento Europeo y del Consejo. Respecto a la normativa anterior, incluye nuevas definiciones, establece un nuevo sistema de ámbito de aplicación con criterios más genéricos para establecer las categorías de sustancias y se incluyen por primera vez las sustancias peligrosas para el medio ambiente.

Se incorporan además, nuevos requisitos para el industrial, para que se realice una política de prevención de accidentes graves y se establezca un sistema de gestión de la seguridad. Asimismo, se refuerzan los sistemas de inspección y se potencia el intercambio de información entre el industrial y las autoridades competentes, y entre éstas y la Comisión Europea.

- Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales de España; **Real Decreto 379/2001** de 6 de abril, por el que se aprueba el Reglamento de almacenamiento de productos químicos y sus instrucciones técnicas complementarias; ITC MIE APQ-3: Almacenamiento de Cloro.

Esta Instrucción Técnica Complementaria establece las prescripciones técnicas a las que han de ajustarse, a efectos de seguridad, las instalaciones de almacenamiento, carga, descarga y trasiego de cloro líquido.

Su campo de aplicación es:

- a) Las instalaciones de almacenamiento de cloro líquido.
- b) Las instalaciones de carga y descarga de cloro líquido, incluidas las estaciones de carga y descarga de contenedores-cisterna, vehículos-cisterna o vagón-

cisterna de cloro líquido, aunque la carga o descarga sea hacia o desde instalaciones de proceso.

c) Los almacenamientos de recipientes móviles, incluso los ubicados en las instalaciones de envasado o consumo de cloro.

- Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales de España; **Real Decreto 1196/2003**, de 19 de septiembre, por el que se aprueba la directriz básica de protección civil para el control y planificación ante el riesgo de accidentes graves en los que intervienen sustancias peligrosas.

Deroga la directriz básica anterior aprobada en noviembre de 1990 y publicada mediante resolución el 30 de enero de 1991. Incorpora modificaciones en la política de prevención de accidentes graves, el sistema de gestión de la seguridad, del desarrollo de los planes de autoprotección, etc. Establece además los plazos para la adaptación de los informes de seguridad y los contenidos mínimos de la documentación e indica los nuevos criterios para las zonas de planificación.

- Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales de España; **Real Decreto 119/2005**, de 4 de febrero, por el que se modifica el Real Decreto 1254/1999, de 16 de julio, por el que se aprueban medidas de control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas.

Introduce pequeñas modificaciones al Real Decreto 1254/1999.

2.3 Normativa Nacional

Algunas de las principales normativas nacionales referentes al control y manejo de sustancias químicas que son aplicables a una Planta de Tratamiento de Agua Potable son las que se mencionan en este punto.

- Ministerio de Salud; **Decreto Supremo N°148/2003**. Reglamento sanitario sobre manejo de residuos peligrosos.

Este reglamento establece las condiciones sanitarias y de seguridad mínimas a que deberá someterse la generación, tenencia, almacenamiento, transporte, tratamiento, reuso, reciclaje, disposición final y otras formas de eliminación de los residuos peligrosos.

Un residuo o una mezcla de residuos es peligrosa si presenta riesgo para la salud pública y/o efectos adversos al medio ambiente ya sea directamente o debido a su manejo actual o previsto, como consecuencia de presentar alguna de las características de peligrosidad establecidas en el Artículo 11 del reglamento:

- a) toxicidad aguda,
- b) toxicidad crónica,
- c) toxicidad extrínseca,
- d) inflamabilidad,
- e) reactividad y
- f) corrosividad

Bastará la presencia de una de estas características en un residuo para que sea calificado como residuo peligroso.

Además, este reglamento presenta listados de residuos que se consideran peligrosos, a menos que su generador pueda demostrar ante la Autoridad Sanitaria que no presentan

ninguna característica de peligrosidad. Tal es el caso del flúor, al que define como sustancia tóxica aguda, según clasificación P056.

- **NCh389.Of74.** Sustancias peligrosas – Almacenamiento de sólidos, líquidos y gases inflamables – Medidas generales de seguridad.

Esta norma establece las medidas generales de seguridad, que deben adoptarse en el almacenamiento de sustancias inflamables que se encuentran en estado sólido, líquido o gaseoso. Se aplica a las sustancias inflamables de clases 2, 3 y 4, clasificadas según NCh382.

Dentro de esta norma se encuentran los puntos 5: Edificios, construcciones e instalaciones anexas; 6: Seguridad; 7: Lucha contra incendios u otros siniestros.

- **NCh1194/1.Of97.** Cloro líquido para uso industrial – Parte 1: Especificaciones.

Esta norma establece los requisitos que debe cumplir el cloro líquido para uso industrial. Se aplica al cloro líquido que se destina a la exportación y al consumo interno del país, sea este último de producción nacional o de importación y al cloro líquido que se destina a uso industrial en general, como ser: tratamiento de agua, industria textil, industria de la celulosa, industria química y otras industrias.

Se define cloro líquido como: elemento químico, correspondiente a la fase Cl_2 , que se presenta en fase gaseosa a temperatura ambiente y a presión atmosférica y en fase líquida a presión igual o mayor que 780 kPa, manteniendo la temperatura ambiente.

- **NCh1194/2.Of97.** Cloro líquido – Parte 2: Métodos de análisis.

Esta norma establece los métodos de análisis para la determinación en el cloro líquido, del contenido de cloro, agua, residuo de evaporación, arsénico, mercurio, plomo y de los metales pesados totales expresados como Pb.

- **NCh382-2004.** Sustancias peligrosas – Clasificación general.

Esta norma establece una clasificación general de las sustancias peligrosas en Clase y División. Presenta dos listados de las sustancias peligrosas, el primero ordenado por su numeración de las Naciones Unidas y el segundo por orden alfabético indicando su riesgo secundario y número de Guía GRE (primeras acciones en caso de emergencia).

Esta norma clasifica a las sustancias peligrosas de acuerdo al riesgo más significativo que presentan en el transporte terrestre en el territorio nacional, en su manipulación y almacenamiento asociados al transporte.

Las sustancias peligrosas (comprendidas las mezclas y soluciones) incluidas en los listados de esta norma se clasifican en nueve clases, según el riesgo inherente o los riesgos más significativos que representen. Algunas de estas clases se subdividen en divisiones.

El orden numérico de las clases y divisiones no se corresponden con su grado de peligro. Estas clases son las siguientes:

Clase 1: Explosivos (ver NCh2120/1)

Clase 2: Gases (ver NCh2120/2)

Clase 3: Líquidos inflamables (ver NCh2120/3)

Clase 4: Sólidos inflamables – Sustancias que pueden experimentar combustión espontánea y sustancias que, en contacto con el agua, desprenden gases inflamables (ver NCh2120/4)

Clase 5: Sustancias comburentes y peróxidos orgánicos (ver NCh2120/5)

Clase 6: Sustancias tóxicas y sustancias infecciosas (ver NCh2120/6)

Clase 7: Sustancias radiactivas (ver NCh2120/7)

Clase 8: Sustancias corrosivas (ver NCh2120/8)

Clase 9: Sustancias y objetos peligrosos varios (ver NCh2120/9)

Estas nueve clases, que corresponden a las normas **NCh2120/1-9**, establecen un listado de las sustancias clasificadas en cada Clase de acuerdo a NCh382, ordenadas alfabéticamente, además de la Clase o División, riesgo secundario, grupo embalaje/envase, disposiciones generales y número de guía GRE (primeras acciones en caso de emergencia).

- Superintendencia de Servicios Sanitarios; 1994; **ORD. N°413**. Cloración del Agua Potable.

En los Anexos 1, 2 y 3 se establecen las exigencias y recomendaciones que deben tener los sistemas de cloración.

Otras normativas aplicables son:

NCh436.Of2000	Prevención de accidentes del trabajo – Disposiciones generales
NCh2463.Of1999	Sustancias corrosivas – Soda cáustica en solución – Disposición de seguridad para el transporte
NCh2464.Of1999	Sustancias corrosivas – Cloruro férrico en solución – Disposiciones de seguridad para el transporte
NCh2424.Of1998	Sustancias corrosivas – Ácido clorhídrico en solución - Disposiciones de seguridad para el transporte
NCh2425.Of1998	Sustancias corrosivas – Hipoclorito de sodio en solución - Disposiciones de seguridad para el transporte
NCh2353.Of1996	Sustancias peligrosas – Transporte por carretera – Hoja de Datos de Seguridad
NCh2245.Of1993	Hoja de datos de seguridad de productos químicos – Contenido y disposición de los temas
NCh2190.Of1993	Sustancias peligrosas – Marca para información de riesgos
NCh2137.Of1992	Sustancias peligrosas – Embalaje/Envases – Terminología, clasificación y designación
NCh2189.Of1992	Seguridad – Señalización de edificios – Condiciones básicas

La Tabla 2.1 es un cuadro resumen de la normativa chilena descrita anteriormente, donde se muestra qué norma es aplicable a cada una de las sustancias utilizadas en el proceso de potabilización del agua. Cada una de estas sustancias será detallada en el siguiente capítulo. Además, se indica para cada sustancia su número CAS (Chemical Abstracts Service), que corresponde a una identificación numérica única de la Sociedad Química Americana para compuestos químicos, polímeros, secuencias biológicas, preparados y aleaciones. Existen más de 20 millones de compuestos numerados y catalogados. También se indica el número de serie asignado al objeto o sustancia en el sistema de las Naciones Unidas (Número NU).

Las normativas extranjeras no aparecen en el cuadro resumen, dado que éstas son más aplicables a las instalaciones que a las sustancias propiamente tales.

Tabla 2.1 Cuadro resumen normativa nacional

Proceso	Sustancia	N°CAS	N°NU	DS N°148	NCh389	NCh1194/1	NCh1194/2
Coagulación	Sulfato de Aluminio	10043-01-3	1760	x			
	Cloruro Férrico en Solución al 42%	7732-18-5	2582	x			
	Sulfato Férrico en Solución	10028-22-5	3264	x			
	Sulfato Ferroso Anhidro	7720-78-7	No regulado	x			
	Sulfato Ferroso Heptahidratado	7782-63-0	No regulado	x			
Cloración	Cloro	7782-50-5	1017	x	x	x	x
	Hipoclorito de Sodio	7681-52-9	1791	x			
	Hipoclorito de Calcio seco	7778-54-3	1748	x			
	Hipoclorito de Calcio hidratado	7778-54-4	2880	x			
	Dióxido de Cloro	10049-04-4		x			
Fluoración	Fluoruro de Sodio	7681-49-4	1690	x			
	Fluorsilicato de Sodio	16893-85-9	2674	x			
	Ácido Fluosilícico	16961-83-4	1778	x			
Neutralización	Cal Viva	1305-78-8	1910	x			
	Soda Cáustica Sólida	1310-73-2	1823	x			
	Soda Cáustica en solución	1310-73-2	1824	x			

Tabla 2.2 Cuadro resumen normativa nacional (Continuación)

Proceso	Sustancia	NCh382	NCh2120/2	NCh2120/5	NCh2120/6	NCh2120/8	NCh2120/9	ORD N°413
Coagulación	Sulfato de Aluminio	x				x		
	Cloruro Férrico en Solución al 42%	x				x		
	Sulfato Férrico en Solución	x				x		
	Sulfato Ferroso Anhidro	x					x	
	Sulfato Ferroso Heptahidratado	x					x	
Cloración	Cloro	x	x					x
	Hipoclorito de Sodio	x				x		x
	Hipoclorito de Calcio seco	x		x				x
	Hipoclorito de Calcio hidratado	x		x				x
	Dióxido de Cloro	x						x
Fluoración	Fluoruro de Sodio	x			x			
	Fluosilicato de Sodio	x			x			
	Ácido Fluosilícico	x				x		
Neutralización	Cal Viva	x				x		
	Soda Cáustica Sólida	x				x		
	Soda Cáustica en solución	x				x		

3 Propiedades de los insumos más utilizados en la potabilización del agua

El agua pura no se encuentra en forma natural, porque está normalmente contaminada por aire y suelo. Las impurezas pueden ser orgánicas y/o inorgánicas, ya sea disueltas, o en forma de material particulado. Estas impurezas pueden provenir de la degradación biológica de sustancias orgánicas que producen ácidos grasos, carbohidratos, aminoácidos e hidrocarburos; de sustancias inorgánicas como metales tóxicos, material particulado como arcillas y sedimentos y de microorganismos como bacterias, virus y protozoos. También hay contaminación radiactiva (radón en aguas subterráneas) natural o inducida

Los contaminantes químicos corrientes son metales pesados como hierro, manganeso, plomo, mercurio, arsénico, cobre, cinc, compuestos nitrogenados tales como amoníaco, nitrito y nitrato, carbonato o bicarbonato de calcio y magnesio, aniones como cloruro, fluoruro, sulfato y silicatos y las mencionadas sustancias orgánicas. Junto con estas sustancias, existen otros contaminantes de carácter antropogénico, tales como los cianuros, fenoles, cromo y detergentes.

El agua potable es aquella que cumple con los requisitos microbiológicos, de turbiedad, químicos, radiactivos, organolépticos y de desinfección descritos en NCh409/1-2004, que aseguran su inocuidad y aptitud para el ser humano. La turbiedad media mensual debe ser menor o igual a 2 UNT (unidades nefelométricas), obtenida como promedio aritmético de todas las muestras puntuales analizadas en el mes. Desde el punto de vista bacteriológico, se le exige no contener microorganismos patógenos. Como no es práctico examinar estos últimos, se recurre a examinar bacterias del grupo coliforme, indicativa de la contaminación de animales y de la bacteria *Escherichia coli*, indicativa de contaminación fecal. Los valores máximos permitidos para Coliformes totales y fecales en el agua potable, según NCh409/1-2004, se observan en la tabla 3.1.

Tabla 3.1 Coliformes

Coliformes	Cantidad NMP/100 ml
Totales	<5
Fecales	<0

NMP: número más probable.

Muchas de estas impurezas, incluyendo los microorganismos patógenos, los ácidos húmicos, que son corrientemente responsables del color, los ácidos fúlvicos y los complejos arcilla-metal están en el rango del tamaño coloidal: 1 nm a 10 μm . Los coloides son partículas de tamaño intermedio entre las moléculas y las partículas suspendidas y decantan por efecto de la gravedad.

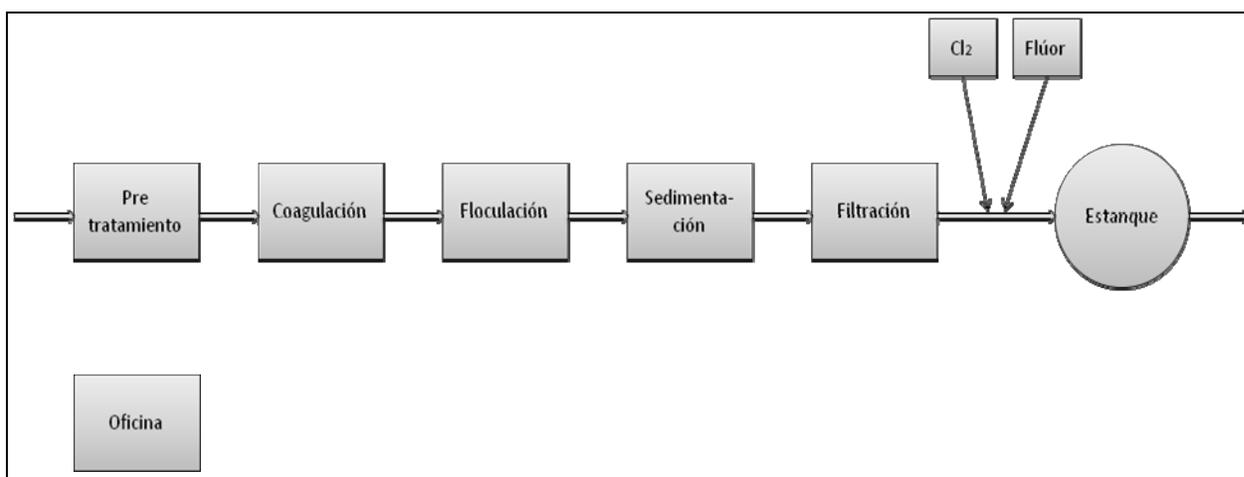
Para obtener un agua limpia y sana se deben remover los sólidos suspendidos y elementos objetables como fierro, Mn y As, entre otros, aglomerar y decantar los coloides y desinfectarla de organismos patógenos. Esto último es de suma importancia para la potabilización del agua, ya que si ésta se encuentra libre de contaminantes, pero no ha sido desinfectada, no puede llamarse agua potable.

El agua natural, cruda o impura, puede provenir de ríos, lagos, embalses o de fuentes subterráneas. El tratamiento de estas aguas suele constar de varias etapas. En el caso de captación superficial, el tratamiento comprende generalmente las etapas de un pretratamiento de desarenación, sedimentación mediante proceso físico-químico de coagulación-floculación, filtración por arena, desinfección y fluoración. El esquema general de una PTAP comprende las instalaciones que se muestran en la Figura 3.1.

Luego de que el agua pase a través de rejas y mallas donde quedan piedras, ramas y otras impurezas que flotan o son arrastradas, ésta se deja reposar en estanques desarenadores en los cuales se asienta la arena fina y otras partículas pequeñas. Posteriormente el agua se hace pasar a otros estanques en los cuales coagulan las partículas muy finas, como las arcillas coloidales, mediante la adición de sustancias

químicas, que producen la aglomeración de los coloides con formación de agregados coloidales, o flóculos, que pueden decantar debido a su mayor tamaño y peso. Una vez decantados y filtrados los flóculos, el agua se somete a desinfección, donde el principal desinfectante que se emplea es el cloro. Finalmente, el agua puede ser fluorada, con el fin de reducir las caries en la población, en caso de que el agua naturalmente contenga poco flúor.

Figura 3.1 Esquema general PTAP



Los principales insumos utilizados en los distintos procesos corresponden a los mostrados en la Figura 3.2. En este ejemplo, la instalación de cloración tiene una torre de neutralización para prevenir accidentes relacionados con fugas de cloro. Para la neutralización del cloro se utiliza soda cáustica.

Si las distintas sustancias químicas no son bien manejadas en los procesos de la potabilización del agua, pueden causar problemas al interior de la planta y a los trabajadores y provocar daños a la salud de la población cercana y/o al medio ambiente en caso de un accidente mayor. Algunos insumos son más riesgosos que otros, definiendo riesgo como el grado de probabilidad de que un daño se materialice o una amenaza se cumpla, o en simples palabras, es la posibilidad de que un peligro pueda llegar a materializarse. Por lo que si se consideran los colores de un semáforo para definir alto, medio y bajo riesgo, con los colores rojo, amarillo y verde respectivamente,

se tendría la situación mostrada en la Figura 3.3. El color azul en este esquema indica que prácticamente no se corre riesgo.

Figura 3.2 Principales sustancias químicas

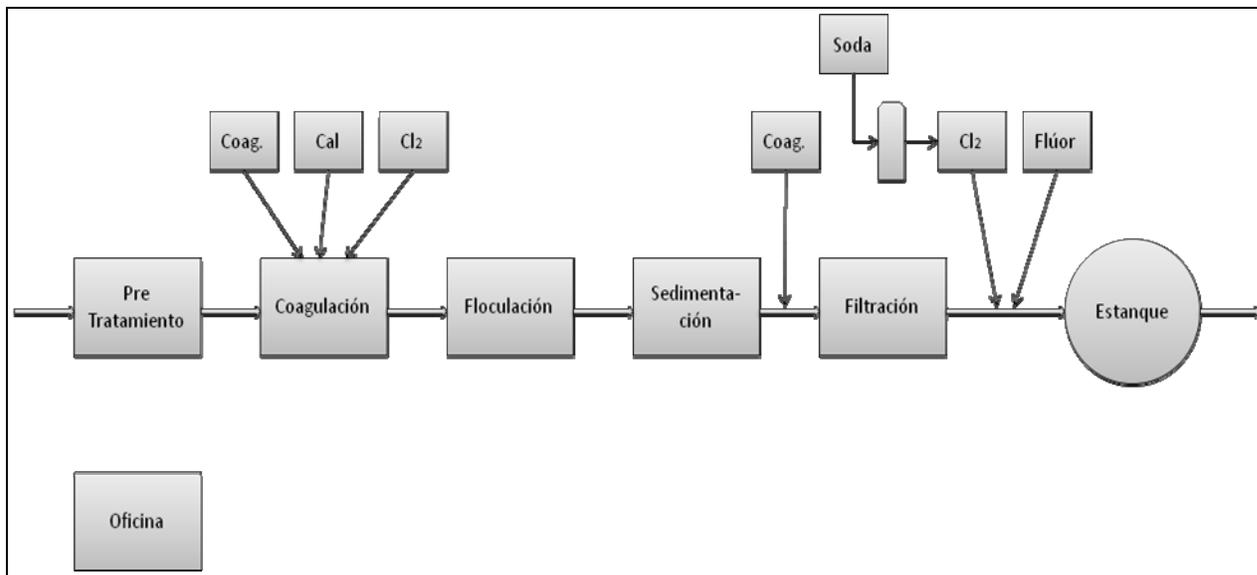
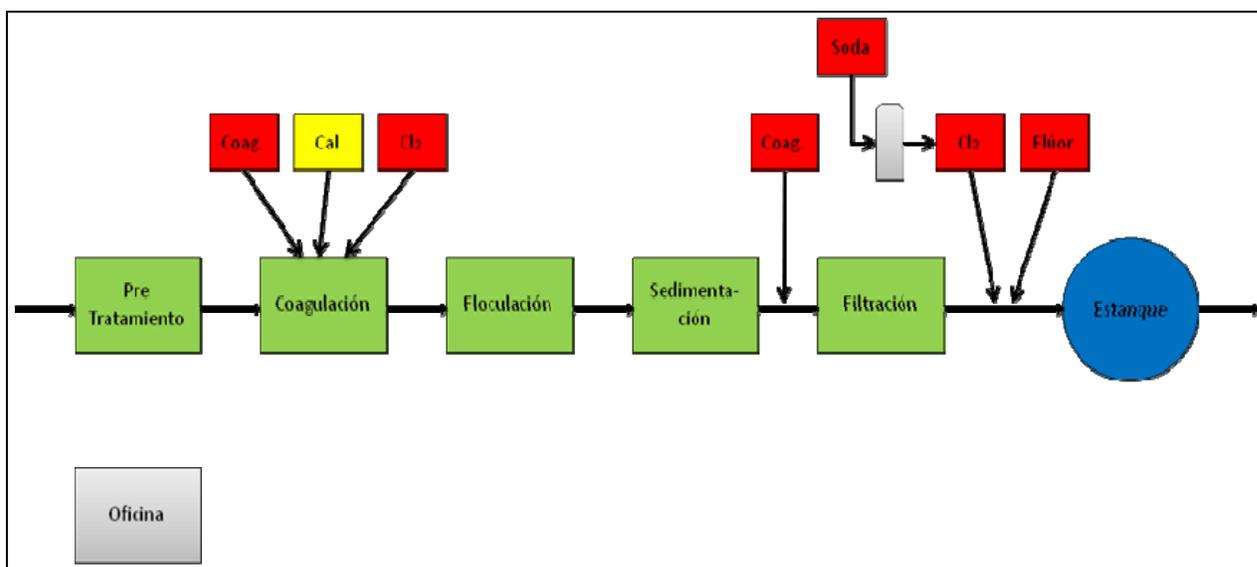


Figura 3.3 Riesgos de las principales sustancias químicas



El agua antes de ser tratada podría necesitar acondicionamiento, como por ejemplo ajustar el pH mediante la adición de reactivos químicos apropiados (cal o soda) para

que el paso del agua no corroa las instalaciones o provoque deposición de incrustaciones a la red de distribución. El objetivo es dejar el agua en condiciones apropiadas para un posterior tratamiento en forma eficiente. El acondicionamiento podría realizarse antes o después del pre tratamiento.

Las etapas de coagulación-floculación, desinfección y fluoración serán abordadas con mayor detalle en los puntos siguientes. Las propiedades físico-químicas y los potenciales efectos sobre la salud se muestran en el Anexo A de esta Memoria, donde la información fue obtenida de Hojas de Seguridad de distintas empresas que comercializan dichos productos.

Los potenciales efectos sobre la salud corresponden a problemas causados en caso de contacto con la piel, contacto con los ojos, ingestión e inhalación. La tabla siguiente clasifica dichos problemas como leves, medios o graves, indicándolos con (x), (xx) y (xxx) respectivamente.

Tabla 3.2 Potenciales efectos sobre la salud

Proceso	Sustancia	Contacto con la piel	Contacto con los ojos	Inhalación	Ingestión
Acondicionamiento	Cal Viva	x	x	x	x
	Soda Cáustica Sólida	xx	xxx	xx	xx
Coagulación	Sulfato de Aluminio	x	xx	x	xx
	Sulfato de Aluminio Líquido	x	x	xx	xx
	Cloruro Férrico en Solución al 42%	xx	x	xxx	xxx
	Sulfato Férrico en Solución	xx	xx	x	xx
	Sulfato Ferroso	x	x	xx	xxx
Desinfección	Cloro	xxx	xxx	xxx	xxx
	Hipoclorito de Sodio	xxx	xxx	xxx	xxx
	Hipoclorito de Calcio	xxx	xxx	xxx	xxx
	Ozono	xx	x	xx	
	Dióxido de Cloro	xx	x	xx	x
Fluoración	Fluoruro de Sodio	x	xx	xx	xxx
	Fluorsilicato de Sodio	x	x	x	xx
	Ácido Fluosilícico	xx	xxx	xx	xxx
Neutralización del cloro	Soda Cáustica en solución	xxx	xx	xxx	xxx

La tabla anterior tiene relación con la figura 3.3, pues se observa que las sustancias que generan mayores daños a la salud de las personas corresponden efectivamente a las utilizadas en las etapas de coagulación, cloración, fluoración, y neutralización del cloro.

3.1 Acondicionamiento del agua

La cal es esencial para ajustar el pH y suavizar el agua potable y las aguas de proceso, así como para el tratamiento de aguas de desecho urbanas e industriales.

La soda cáustica es uno de los productos químicos con mayor presencia en la actividad industrial. Su empleo en el tratamiento de aguas se extiende principalmente al control de pH y regeneración de resinas iónicas.

El objetivo principal de la utilización de cal y soda es que el paso del agua no corroa las instalaciones o provoque deposición de incrustaciones a la red de distribución. Además, estos productos pueden ser utilizados en otros procesos o para controlar posibles efectos derivados de la utilización de otras sustancias químicas.

➤ Cal u Óxido de Calcio

Cal viva (CaO): cal calcinada, la mayor parte de lo cual es óxido de calcio u óxido de calcio enlazado con óxido de magnesio, y que es capaz de hidratarse con agua.

Cal hidratada o apagada: cal viva más agua suficiente para lograr una hidratación adecuada, formando un polvo muy fino hidratado.

➤ Soda Cáustica Sólida

El mayor peligro del producto radica en su corrosividad, lo que lo hace dañino para los tejidos del cuerpo.

Las personas con enfermedades pulmonares crónicas no deben exponerse a los vapores corrosivos de este producto.

Los riesgos para el medio ambiente de este producto es que es peligroso para la vida acuática en concentraciones muy bajas. Peligroso si llega a tomas de agua.

3.2 Coagulación - Floculación

Se llama coagulación-floculación al proceso por el cual las partículas se aglutinan en pequeñas masas con peso específico superior al del agua, llamadas floc. Dicho proceso se usa para:

- a. Remoción de turbiedad orgánica o inorgánica que no puede sedimentar rápidamente (o nunca si el movimiento browniano lo impide).
- b. Remoción de color verdadero y aparente.
- c. Eliminación de bacterias, virus y organismos patógenos susceptibles de ser separados por coagulación.
- d. Remoción de algas y plancton en general.
- e. Eliminación de sustancias productoras de sabor y olor en algunos casos y de precipitados químicos suspendidos o compuestos orgánicos, entre otros.

Hay que distinguir dos aspectos fundamentales en la coagulación-floculación del agua:

- a. La desestabilización de las partículas suspendidas, es decir, la anulación de las fuerzas que las mantienen separadas.
- b. El transporte de ellas dentro del líquido para que hagan contacto, generalmente estableciendo puentes entre sí y formando una malla tridimensional de coágulos porosos.

Al primer aspecto los autores suelen referirse como coagulación y al segundo como floculación.

La coagulación comienza en el mismo instante en que se agregan los coagulantes al agua y dura solamente fracciones de segundo. Básicamente consiste en una serie de reacciones físicas y químicas entre los coagulantes, la superficie de las partículas, la alcalinidad del agua y el agua misma.

La floculación es el fenómeno por el cual las partículas ya desestabilizadas chocan y se adhieren unas con otras para formar coágulos mayores.

Los coagulantes se pueden clasificar en dos grupos: los polielectrolitos o ayudantes de coagulación y los coagulantes metálicos. Ambos grupos básicamente actúan como polímeros además de la carga eléctrica que poseen.

En los primeros, las cadenas poliméricas están ya formadas cuando se los agrega al agua. En los coagulantes metálicos, la polimerización se inicia cuando se introduce el coagulante en el agua, después de lo cual viene la etapa de adsorción por los coloides presentes en la fase acuosa.

Es, sin embargo, necesario observar que la velocidad de sedimentación de las partículas coaguladas no depende en forma exclusiva de los coagulantes usados, si no el peso de las partículas que se trata de sedimentar.

3.2.1 Polielectrolitos

Los polielectrolitos son efectivos como ayudan a la coagulación. En el mercado están disponibles un sinnúmero de éstos y el problema es identificar cuál, si es que existe, será efectivo para un agua en particular.

3.2.2 Coagulantes metálicos

Los coagulantes metálicos se pueden clasificar en dos grupos principales:

- a) Sales de aluminio
- b) Sales de hierro

➤ Coagulación con sales de aluminio

Las sales de aluminio forman un floc ligeramente pesado. Las más conocidas de éstas son el sulfato de aluminio, el sulfato de aluminio amoniacal y el cloruro de polialuminio. El primero es el coagulante que por su bajo costo y su manejo relativamente sencillo se usa con mayor frecuencia en las plantas de tratamiento de agua potable.

• Sulfato de Aluminio

El sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ es un polvo de color marfil, ordinariamente hidratado, que con el almacenaje suele convertirse en terrones relativamente duros. Es ampliamente usado en la industria, comúnmente como floculante en la purificación de agua potable y en la industria del papel.

La sustancia se descompone al calentarla intensamente o al arder, produciendo humos tóxicos y corrosivos, incluyendo óxidos de azufre. La disolución en agua es moderadamente ácida. Reacciona con álcalis. Ataca a muchos metales en presencia de agua. No es combustible. En caso de incendio se desprenden humos (o gases) tóxicos e irritantes.

El sulfato de aluminio líquido es se utiliza en el tratamiento de aguas y usos industriales, de fórmula química $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$.

Por si sólo no genera riesgos de fuego y explosión. Sometido al fuego, puede generar gases irritantes y tóxicos, incluidos óxidos de azufre y óxidos de aluminio. Los

recipientes cerrados al ser calentados pueden reventar por incremento de la presión interna.

Las propiedades físico-químicas y los potenciales efectos sobre la salud que genera el Sulfato de Aluminio se muestran en el Anexo A de esta memoria.

➤ **Coagulación con sales de hierro**

Las sales de hierro, en algunos casos, presentan ventajas sobre las sales de aluminio, porque forman un floc más pesado y de mayor velocidad de asentamiento y porque pueden trabajar en un rango de pH mucho más amplio. Por tanto, se usan cuando el sulfato de aluminio no produce una coagulación adecuada o cuando los sedimentadores están demasiado recargados y resulta económico aumentar el peso del floc para incrementar la eficiencia de ellos.

Las sales de hierro más conocidas son el cloruro férrico, el sulfato férrico y el sulfato ferroso, cuyas propiedades físico-químicas y los potenciales efectos sobre la salud aparecen en el Anexo A.

• **Cloruro férrico**

El cloruro férrico se consigue en tres formas: como cristales hidratados ($\text{Fe Cl}_3 \times \text{H}_2\text{O}$) amarillos o cafés, como cristales anhidros (Fe Cl_3) de color verde oscuro, o como solución del 35% al 45%.

Cualquiera sea la forma en que venga, el cloruro férrico se aplica en solución del 2 al 20%, según el tamaño de la planta y la capacidad del aparato dosificador. Puede trabajar con pH tan bajo como 4 y tan alto como 11. Sin embargo, se suele utilizar más bien con agua ácida y blanda, fuertemente coloreada y que contiene ácido sulfhídrico.

Los lodos provenientes de la coagulación con hierro son muy corrosivos, tienen un color café oscuro y suelen manchar o teñir los objetos y las corrientes de agua. Son por eso difíciles de manejar.

- **Cloruro férrico en solución al 42%**

El cloruro férrico en solución presenta riesgos para la salud de las personas, principalmente porque puede causar quemaduras en el tracto respiratorio, la piel, los ojos y el tracto intestinal. Se pueden producir daños oculares permanentes. Además, dosis repetidas pueden causar posible daño al hígado y páncreas.

Sobre el medio ambiente es agresivo en términos de coloración tanto sobre líquidos como sobre sólidos, siendo su efecto sobre éstos últimos bastante persistente. Esta sustancia presenta riesgo insignificante de fuego.

• **Sulfato férrico**

El sulfato férrico se encuentra en su forma anhidra como $\text{Fe}_2 (\text{SO}_4)_3$, pero más comúnmente en su forma hidratada como $\text{Fe}_2 (\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$.

La adición de un álcali (cal o soda ash) en combinación con el coagulante, resulta en un rango más amplio de pH que puede ir desde 3,5 hasta 11. Suele, sin embargo, preferirse que trabaje con aguas muy ácidas.

- **Sulfato férrico en solución**

Los peligros para la salud de las personas son que el producto a altas concentraciones es corrosivo. En ojos, piel, vías respiratorias y digestivas puede producir quemaduras. Los efectos sobre el medio ambiente son que la sustancia es tóxica para peces y organismos acuáticos. Como riesgos específicos se tiene la corrosividad.

- **Sulfato ferroso**

El sulfato ferroso es la fuente más barata de hierro como coagulante. Ordinariamente se usa hidratado como $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ y se conoce con el nombre de “coperas”. Una de sus desventajas es que debe usarse en combinación con cal. En la práctica es conveniente agregarle un pequeño exceso de ésta, de 1 a 5 mg/l, sin sobrepasar cierto límite para evitar la precipitación posterior del hidróxido férrico en las tuberías.

Esta sustancia se utiliza para agua turbia, fuertemente alcalina, con pH superior a 8 y es, por tanto, inadecuado para trabajar agua blanda, especialmente si su contenido de color es alto, ya que la alcalinidad interfiere con la remoción de éste.

3.3 Desinfección del Agua

La desinfección del agua se refiere a la destrucción de los organismos causantes de enfermedades o patógenos presentes en ella. Los principales son los que se muestran a continuación (Tabla 3.3).

Tabla 3.3 Patógenos en el agua

Bacterias	Salmonellas (tíficas y paratíficas) Shigellas (disentería) Vibrio comma (cólera) Yersinia (Yersinosis) E. coli (Diarreas)
Protozoarios	Amoebas (endamoebas histolíticas, quistes de amibas) Giardia lamblia (giardiasis) Cryptosporidium (cryposporidiasis)
Virus	Virus de la hepatitis infecciosa Virus de la poliomielitis Otros virus
Trematodos	Schistosoma manzoni (bilharsiasis) Dracunculus medinensis (Gusano de Guinea) Áscaris (Ascariasis)

Las condiciones que debe tener un desinfectante ideal para poder ser usado en las plantas de purificación son:

- a. Debe ser capaz de destruir los organismos causantes de enfermedades.
- b. Debe realizar esta labor a la temperatura del lugar y en un tiempo adecuado.
- c. No debe hacer el agua tóxica, peligrosa para la salud o de sabor desagradable.
- d. Debe ser de fácil obtención, sencillo manejo y bajo costo.
- e. Su concentración en el agua debe poderse determinar prontamente.
- f. Debe dejar un efecto residual, para que proteja el agua contra posteriores contaminaciones.

Existen diferentes métodos disponibles para la desinfección del agua. Sin embargo, en el caso de aguas que contienen precursores de trihalometanos, algunos son mejores que otros. Adicionalmente, algunos desinfectantes son superiores en el control del sabor y olor. Los principales desinfectantes son:

- Cloro
- Ozono
- Cloraminas
- Dióxido de cloro

3.3.1 Cloro

La cloración es el proceso de desinfección que hasta el presente reúne las mayores ventajas: es eficiente, fácil de aplicar y deja efecto residual que se puede medir por sistemas muy simples y al alcance de todos. Tiene, en cambio, la desventaja de ser corrosivo y especialmente, en algunos casos, formar subproductos posiblemente peligrosos para la salud y producir sabor desagradable en el agua. En condiciones normales de presión (1.033 kg/cm^2) y temperatura (0°C), el cloro es un gas verde, dos y media veces más pesado que el aire, por lo cual se deposita en las partes bajas de las habitaciones.

El cloro puede aplicarse también utilizando algunas de sus sales. Las más conocidas son el hipoclorito de sodio y el hipoclorito de calcio. El cloro y los hipocloritos producen reacciones similares en el agua y su eficiencia bactericida es idéntica. La única diferencia es que el gas cloro baja el pH y el hipoclorito lo sube. El cloro se emplea principalmente en plantas medianas y grandes. El hipoclorito en plantas pequeñas, piscinas y pozos, pues los hipocloradores son más sencillos de manejar. El costo de la hipocloración, sin embargo, es más alto que el de la cloración con cloro gaseoso.

➤ **Gas Cloro**

Los efectos del cloro en la salud de las personas son:

- El cloro es un fuerte irritante que afecta las membranas mucosas de los ojos, nariz, garganta, y las vías respiratorias. Los síntomas incluyen: lagrimeo, tos, ahogo, dolor de cabeza y vértigo.
- Una exposición severa puede producir edema pulmonar y muerte, que generalmente tarda en producirse algunas horas después de la exposición.
- Si la concentración es bastante alta, se puede producir una muerte inmediata por un cierre reflejo de las vías respiratorias (bronco espasmo) y sofocación.
- Una sola exposición al cloro gas puede producir síntomas de obstrucción de las vías respiratorias (por un estrechamiento de las vías por contracción de los músculos que las rodean), indicada por dificultad para respirar y ronquera o ruido silbante. Esta condición generalmente se soluciona con un tratamiento médico, aunque existe algún desacuerdo en cuanto a si el daño hecho es perdurable.
- Existe un leve aumento en el riesgo de contraer cáncer a la vejiga y posible cáncer de colon y recto en los usuarios (por tiempo prolongado) de aguas cloradas. El aumento en el riesgo es más claro en no fumadores, ya que el humo de cigarrillo aumenta la posibilidad de contraer estos mismos cánceres, por lo que el efecto de la cloración, si es que está presente, es muy difícil de detectar.

La OMS concluye que, aparte de los accidentes, no hay otro riesgo para la salud de la población en general a la exposición al cloro; no se asocian a él cánceres, mutaciones, ni nacimientos defectuosos.

La tabla 3.4 muestra los efectos fisiológicos para distintas concentraciones de Cl₂, expuestos por cuatro autores, dado que se aprecian algunas diferencias importantes entre estos valores.

Tabla 3.4 Efectos fisiológicos del gas cloro

Efectos	ppm			
	Autor 1 [4]	Autor 2 [11]	Autor 3 [5]	Autor 4 [40]
Leve irritación después de algunas horas de exposición	1,0	-	1,0	-
Olor perceptible	3,5	0,2 - 0,5	3,5	0,3 - 1
Valor TLV	-	0,5	0,8	
Cantidad máxima que puede ser respirada sin efectos serios	4,0	-	4,0	4,0
Irritación de la garganta después de corta exposición	15,1	10,0	15,0	10,0
Tos	30,0	-	30,2	30,0
Cantidad peligrosa en el intervalo de media a una hora	40 - 60	-	40 - 60	-
Peligro de edema pulmonar	-	30 - 50	-	30 - 50
Desenlace fatal en 5 minutos	-	-	-	500,0
Desenlace fatal instantáneo	1000	1000	1000	1000

El valor TLV corresponde al Valor Límite Umbral, y se refiere al límite de exposición para los trabajadores/as de las concentraciones de contaminantes ambientales.

Las principales diferencias de la tabla recién expuesta radican en la cantidad mínima de cloro detectable por el olor. El resto de los valores prácticamente no difieren entre ellos, y podría incluso pensarse que la cantidad peligrosa en el intervalo de media a una hora de los autores 1 y 3 podría corresponder al peligro de edema pulmonar expuesto por los autores 2 y 4. Con lo anterior, puede hacerse una idea de los reales efectos del cloro a distintas concentraciones

También se observan efectos del cloro gaseoso sobre el medio ambiente. Éste se disuelve cuando se mezcla con el agua. Puede escaparse del agua e incorporarse al aire bajo ciertas condiciones. La mayoría de las emisiones de cloro al medio ambiente son al aire y a las aguas superficiales. Una vez en el aire o en el agua, el cloro reacciona con otros compuestos químicos. Se combina con material inorgánico en el agua para formar sales de cloro, y con materia orgánica para formar compuestos orgánicos clorados.

Debido a su reactividad no es probable que el cloro se mueva a través del suelo y se incorpore a las aguas subterráneas.

Las plantas y los animales no suelen almacenar cloro. Sin embargo, estudios de laboratorio muestran que la exposición repetida a cloro en el aire puede afectar al sistema inmunitario, la sangre, el corazón, y el sistema respiratorio de los animales.

El cloro provoca daños ambientales a bajos niveles, pero es especialmente dañino para organismos que viven en el agua y el suelo.

Reacciones del cloro en el agua

Al agregar cloro al agua, lo primero que ocurre es que este se hidroliza reaccionando con el H_2O , luego se combina con el amoníaco presente y con la materia orgánica, así como con ciertas sustancias químicas para producir una gran diversidad de compuestos, algunos de los cuales tienen propiedades desinfectantes y otros no.

Básicamente se pueden considerar dos tipos de reacciones:

- Las de hidrólisis: en que el cloro interacciona con la molécula de agua para producir ácido hipocloroso ($HOCl$) e ion hipoclorito (OCl^-). A estos compuestos se les llama cloro libre.
- Las de oxidación-reducción, en que el cloro se combina:

- a. Con el nitrógeno amoniacal para producir cloraminas (monocloramina NH_2Cl y dicloramina NHCl_2 , a las cuales se les llama cloro combinado utilizable). También se puede producir tricloruro de nitrógeno, NCl_3 .
- b. Con los aminoácidos, materiales proteínicos y orgánicos y sustancias químicas (Fe^{++} , Mn^{++} , NO_2^- , H_2S), con los cuales produce distintos compuestos clorados que forman el cloro combinado no utilizable o demanda.

Cada uno de los compuestos anteriores tiene diferentes propiedades. Algunos son desinfectantes muy activos como el HOCl , otros con menor eficiencia como el NH_2Cl , que sin embargo presenta una mayor duración y no forma trihalometanos y otros carecen de todo poder desinfectante, como son los cloruros inorgánicos y orgánicos producidos por la demanda.

Tablas con las propiedades físico-químicas y los potenciales efectos sobre la salud del cloro gaseoso aparecen en el Anexo A.

➤ **Hipocloritos**

El hipoclorito de sodio generalmente es usado disuelto en agua en varias concentraciones. En su estado sólido no es usado comercialmente, aunque es posible encontrarlo de esta forma. Las soluciones de hipoclorito de sodio son transparentes, de color amarillo-verdoso y huelen a cloro. El hipoclorito de calcio es un sólido blanco que se descompone fácilmente en agua liberando oxígeno y cloro. También tiene un fuerte olor a cloro. Ninguno de estos compuestos ocurre naturalmente en el ambiente.

Los hipocloritos de sodio (NaOCl) y de calcio ($\text{Ca}(\text{ClO})_2$) se usan principalmente como agentes blanqueadores o desinfectantes. Las propiedades físico-químicas y los principales efectos sobre la salud se muestran en el Anexo A.

3.3.2 Ozono (O₃)

El uso de ozono para desinfectar el agua es ampliamente practicado en Europa, particularmente en Francia. El ozono tiene algunas ventajas definitivas sobre el cloro en el control del color, sabor, olor y la no formación de THMs. El ozono es generado en el lugar con descargas eléctricas de alto voltaje a través del aire u oxígeno. La eficiencia de generación de ozono se mejora significativamente con el uso de oxígeno puro como alimentación de gas para el generador de ozono.

El gas es más denso que el aire. La sustancia puede formar peróxidos explosivos con alquenos. La sustancia se descompone al calentarla suavemente produciendo oxígeno, causando peligro de incendio o explosión. La sustancia es un oxidante fuerte y reacciona violentamente con materiales combustibles y reductores. Reacciona con alquenos, compuestos aromáticos (como la anilina), éteres, bromo, compuestos de nitrógeno y caucho. Ataca a los metales, excepto al oro y al platino.

Riesgos de incendio y explosión:

Incendio: no combustible, pero facilita la combustión de otras sustancias: es comburente. Muchas reacciones pueden producir incendio o explosión.

Explosión: por calentamiento o al entrar en contacto con sustancias combustibles hay peligro de explosión.

Tanto las propiedades físico-químicas como los potenciales efectos sobre la salud aparecen en el Anexo A de este documento.

3.3.3 Cloraminas

Las cloraminas son un tipo de aminas orgánicas que se producen cuando el amoníaco y el cloro (en forma de ácido hipocloroso) reaccionan entre sí. Las que más frecuentemente aparecen son la monocloramina (NH₂Cl) y la dicloramina (NHCl₂).

Ambas tienen un poder bactericida varias veces menor que el ácido hipocloroso, pero en cambio son mucho más estables y por consiguiente su efecto dura por más tiempo en el agua. En ciertas condiciones puede aparecer el tricloruro de nitrógeno o tricloramina. Las cloraminas son tóxicas para los peces y son perjudiciales para los pacientes en diálisis. En el aire, las cloraminas son un fuerte irritante respiratorio.

3.3.4 Dióxido de cloro (ClO₂)

El gas es más denso que el aire. Puede descomponerse con explosión por choque, fricción o sacudida. Puede explotar por calentamiento intenso. La sustancia es un oxidante fuerte y reacciona violentamente con sustancias combustibles y reductoras. Reacciona violentamente con mercurio, fósforo, azufre, originando peligro de fuego y explosión. Reacciona con el agua produciendo cloruro de hidrógeno y ácido clórico. Se produce en sitio para evitar riesgos de su almacenamiento.

Riesgos de incendio y explosión:

Incendio: no combustible, pero sí comburente. Muchas reacciones pueden producir incendio.

Explosión: riesgo de explosión en presencia de chispas, impactos, luz solar, calor o al entrar en contacto con sustancias combustibles.

Las propiedades físico-químicas del dióxido de cloro y los potenciales efectos en la salud de las personas, se muestran en tablas del Anexo A.

3.4 Fluoración del agua

A excepción del agua de lluvia, prácticamente todas las aguas naturales del planeta contienen flúor en concentraciones variables, según el lugar de donde procedan. Las aguas subterráneas son las que lo contienen en mayor cantidad, alcanzando hasta 25 mg/l; las aguas de mar un promedio de 1,3 mg/l; las aguas superficiales son las que lo contienen en menor cantidad, de 0,001 a 0,3 mg/l ^[2].

Si el agua potable proviene de fuentes subterráneas, ésta tiene naturalmente mayor cantidad de flúor. Si proviene de aguas superficiales, su concentración por lo general es menor que lo que se considera óptimo para el consumo humano.

A comienzos del siglo XX, observadores comunicaron el hallazgo de una característica común en el esmalte dentario de personas que vivían en ciertas comunidades, que por su aspecto se le dio el nombre de “esmalte moteado” o “veteado”. Observaron, además, que los dientes moteados no tenían caries. Al investigar las causas de esta situación, se detecta que las aguas consumidas por esas comunidades tenían altas concentraciones naturales de flúor, por lo que a esta característica del esmalte se la denominó “fluorosis”. Posteriormente se confirma que existe una relación directa entre el grado de severidad de la fluorosis y la cantidad de flúor presente en las aguas, como también que las comunidades que consumían agua sin contenido de fluoruros tenía una alta incidencia de caries. La lógica de las investigaciones llevó a concluir que las localidades donde no había abastos de aguas naturalmente fluoradas, era necesario adicionar fluoruros para entregar sus beneficios a la población.

La fluoración consiste, por lo tanto, en ajustar la concentración del micronutriente fluoruro en el agua potable, en un nivel tal, que ayude a prevenir las caries, sin producir efectos nocivos para la salud humana.

A partir de 1945 se inicia en Estados Unidos un estudio clásico de fluoruros durante 10 años, comparando localidades con diferentes concentraciones de flúor en el agua de

los estados de Michigan, Ontario y Nueva York. El propósito era determinar cuál es la concentración óptima de flúor que debe tener el agua para lograr el efecto de reducir las caries, sin llegar a producir fluorosis.

Se concluye finalmente que con una concentración de flúor en el agua potable en el rango 1 mg/l, se reducen las caries entre un 50 a 65%.

Existen diferentes productos disponibles para la fluoración del agua. A continuación se enumeran los principales desinfectantes:

- a) Fluoruro de sodio
- b) Fluorsilicato de sodio
- c) Ácido fluosilícico

➤ **Fluoruro de Sodio (NaF)**

Las propiedades físico químicas y los potenciales efectos sobre la salud de esta sustancia se muestran en el Anexo A.

El Fluoruro de Sodio (NaF) es un producto peligroso para la salud humana y el medio acuático. Presenta peligros debido a su flúor ionizado. En caso de descomposición, libera fluoruro de hidrógeno.

Efectos potenciales de la exposición: Irritación de las membranas mucosas, ojos y piel. Riesgo de trastornos cardíacos y nerviosos. La exposición crónica al producto puede causar la fluorosis esquelética o dental.

Efectos en el medio ambiente: Emisiones atmosféricas de fluoruros desde ciertas industrias han producido serios efectos adversos en la vegetación local y los animales.

➤ **Fluorsilicato de sodio (Na_2SiF_6)**

Esta sustancia (Na_2SiF_6) se descompone al calentarla intensamente, produciendo humos tóxicos y corrosivos, incluyendo flúor. Reacciona con ácidos concentrados, produciendo humos corrosivos de fluoruro de hidrógeno.

Las propiedades físico-químicas y los potenciales efectos sobre la salud se encuentran en el Anexo A.

Algunos de los efectos de exposición de corta duración son que la sustancia irrita los ojos, la piel y el tracto respiratorio. La sustancia puede causar efectos en el metabolismo del calcio, dando lugar a alteraciones cardíacas y funcionales. Los efectos de exposición prolongada o repetida son que puede afectar a los huesos, dando lugar a fluorosis.

No es combustible. En caso de incendio se desprenden humos (o gases) tóxicos e irritantes.

➤ **Ácido fluosilícico**

El ácido fluosilícico (H_2SiF_6) es un líquido incoloro con un olor desagradable fuerte. Se utiliza en la fluoración del agua, para procesar pieles, en albañilería y cerámica para endurecer materiales, en pintura técnica, como agente esterilizante en la industria cervecera y en la fabricación de otras sustancias químicas.

Esta sustancia es corrosiva. Al incendiarse, se producen gases venenosos y es posible que los recipientes exploten.

En el Anexo A se presentan las propiedades físico-químicas y los potenciales efectos sobre la salud.

3.5 Neutralización del Cloro

Un escape de cloro al medio ambiente puede evitarse mediante la instalación de un sistema de neutralización de sus vapores, los cuales se basan en la reacción química entre el cloro gaseoso y una solución alcalina, generalmente soda cáustica líquida.

- **Soda Cáustica Líquida**

Los posibles efectos sobre el medio ambiente son que este material es alcalino y puede elevar el pH de las aguas superficiales con una baja capacidad de tampón.

Tanto las propiedades físico-químicas, como los potenciales efectos sobre la salud de las personas de la Cal y la Soda Cáustica sólida y líquida se presentan en el Anexo A de este documento.

4 Vandalismo y Cálculo de la Vulnerabilidad

Poner atención en la seguridad es natural en la industria química. Reducir el riesgo de una amplia gama de amenazas y mitigar los efectos de incidentes tales como vandalismo, actos criminales, sabotaje, violencia en el lugar de trabajo, y eventualmente terrorismo, es una meta que puede establecerse para proteger a la comunidad y a los trabajadores.

Los beneficios de invertir tiempo y dinero en seguridad son que se reduce la probabilidad de efectos adversos en empleados, el público y el medio ambiente, además de ayudar a la compañía a evitar costosas pérdidas.

Se debe también tener en cuenta que al interior de la planta de tratamiento de agua potable pueden ocurrir accidentes del tipo químico, por lo que se deben implementar medidas de prevención de éstos, o bien de mitigación, en caso de que éstos sucedan de todas formas. Una vez conocida la magnitud de las consecuencias de los accidentes, puede hacerse una estimación de cómo éstos afectarán a las personas y al medio ambiente, mediante distintas metodologías de cálculo de vulnerabilidad.

Los siguientes puntos abordan importantes temas y elementos que debieran tenerse en cuenta al tratar la seguridad en una industria química, y un método que permite estimar la vulnerabilidad de las personas y del medio ambiente frente a accidentes.

4.1 Seguridad

En general, el ítem de seguridad contra amenazas e incidentes, podría, de acuerdo a las necesidades de la empresa, consistir en los siguientes elementos:

- Evaluación del riesgo y estrategias de prevención
- Seguridad política

- Colaboración con otros departamentos y con las empresas locales, estatales, nacionales y organismos encargados de hacer cumplir la ley, los comités de emergencia locales de planificación, etc.
- Sistemas de reporte de incidentes
- Formación de los trabajadores sobre seguridad
- Investigaciones sobre incidentes
- Respuestas de emergencia y gestión de crisis
- Reevaluación periódica de los planes de seguridad física, incluyendo control de accesos, perímetros de protección, detección de intrusos, guardias de seguridad, y sistemas de respaldo
- Medidas de seguridad de los trabajadores
- Prevención y respuesta ante violencia en el lugar de trabajo
- Información, computadores y redes de seguridad

4.1.1 Evaluación de riesgos

El primer paso para construir un sistema de seguridad sólido es la evaluación de riesgos, en otras palabras, saber cuáles son los activos que deben ser protegidos, las amenazas a las que se está expuesto, y la probabilidad y consecuencia de ataques a estos activos.

La gama de bienes que se podría querer proteger, incluye a los siguientes:

- Edificios
- Vehículos
- Equipos de producción
- Estanques de almacenamiento
- Sistemas de control
- Líneas de teléfono

- Materias primas
- Productos finales
- Líneas de energía eléctrica
- Sistemas de respaldo de energía
- Equipos de producción automáticos
- Materiales peligrosos
- Tuberías de alcantarillado
- Instalaciones de tratamientos de desechos y equipos
- Líneas de gas natural
- Equipos de oficina
- Suministros
- Herramientas
- Posesiones personales

Una vez que los activos han sido evaluados, el encargado de seguridad debiera considerar cuáles de éstos son más vulnerables.

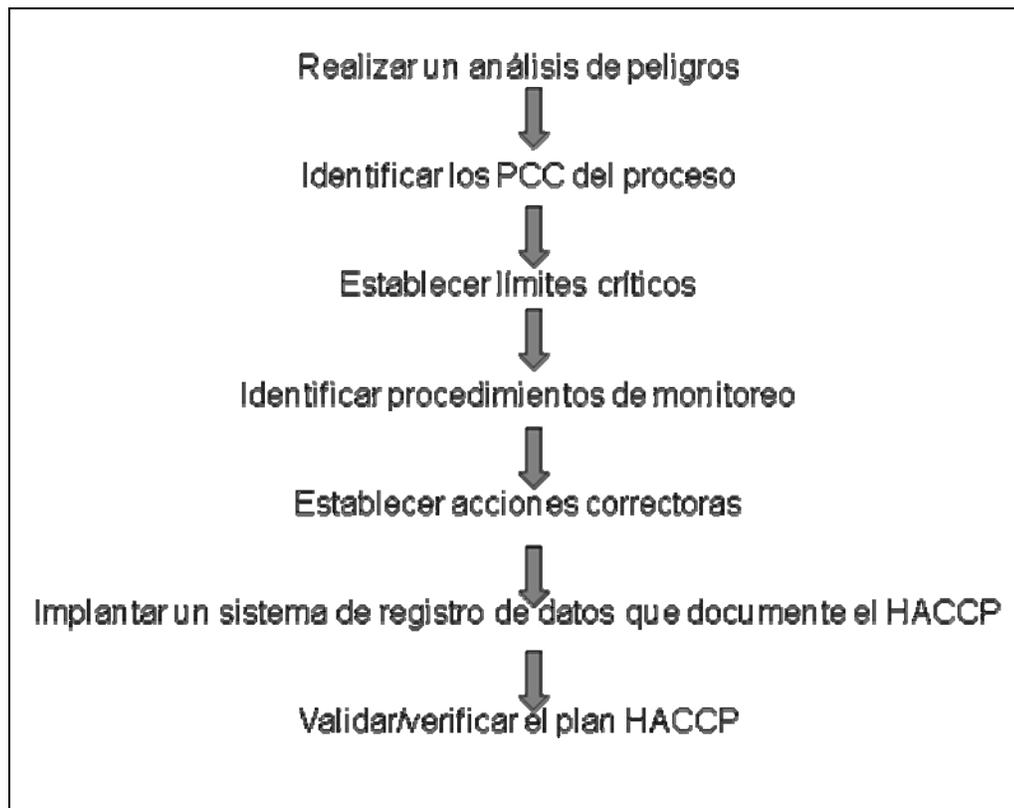
También es importante el desarrollo de un sistema que permita el análisis de otro tipo de peligros, como es el caso de accidentes al interior de la planta. Existe un sistema de Análisis de Peligros y Control de Puntos Críticos llamado HACCP, del inglés Hazard Analysis and Critical Control Point. Es un sistema flexible que permite a los establecimientos desarrollar e implementar procedimientos que se adapten a la naturaleza, volumen de producción, grado de desarrollo tecnológico y mercado cubierto por la empresa.

Se requiere que las plantas efectúen análisis de riesgo para identificar los peligros o puntos donde existen, razonablemente, altas probabilidades de que se puedan producir situaciones de peligro que generen un accidente. Junto a esto se deben identificar las

medidas, tanto preventivas como correctivas, que se puedan aplicar para controlar dichas amenazas.

Cada vez que el análisis de riesgo indica que hay altas probabilidades de que se produzcan uno o más puntos donde exista alguna amenaza de accidente, es necesario que se desarrollen y lleven a efecto sistemas orientados a disminuir los riesgos producidos por deficiencia en el manejo de las sustancias y/o accidentes en general, para, finalmente, elaborar planes HACCP. Estos sistemas se caracterizan por respaldarse en documentos escritos y formatos de supervisión y control. La adopción de metodologías tipo HACCP, introducen un nuevo concepto de responsabilidad por parte de las empresas, que se comprometen a realizar buenas prácticas. Este sistema consta de siete principios (Figura 4.1) que engloban la implantación y el mantenimiento de un plan HACCP aplicado a un proceso determinado.

Figura 4.1 Los siete principios de HACCP



Principio 1. Realizar un análisis de peligros. En este punto se establece cómo comenzar a implantar el sistema HACCP. Se prepara una lista de etapas del proceso y se elabora un diagrama de flujo del éste, donde se detallan todas las etapas del mismo, desde las materias primas hasta el producto final.

Principio 2. Identificar los Puntos de Control Críticos (PCC) del proceso. Una vez descritos todos los peligros y medidas de control, el equipo HACCP decide en qué puntos es crítico el control para la seguridad del producto. Son los Puntos de Control Críticos.

Principio 3. Establecer los límites críticos para las medidas preventivas asociadas a cada PCC. El rango confinado entre los límites críticos para un PCC establece la seguridad del producto en esa etapa. Los límites críticos deben basarse en parámetros cuantificables y así asegurar su eficacia en la decisión de seguridad o peligrosidad de un PCC.

Principio 4. Establecer los criterios para la vigilancia de los PCC. El equipo de trabajo debe especificar los criterios de vigilancia para mantener los PCC dentro de los límites críticos. Para ellos se deben establecer acciones específicas de vigilancia que incluyan la frecuencia y los responsables de llevarlas a cabo. A partir de los resultados de la vigilancia se establece el procedimiento para ajustar el proceso y mantener su control.

Principio 5. Establecer las acciones correctoras. Si la vigilancia detecta una desviación fuera de un límite crítico deben existir acciones correctoras que restablezcan la seguridad de ese PCC. Las medidas o acciones correctoras deben incluir todos los pasos necesarios para poner el proceso bajo control y las acciones a realizar con los productos fabricados mientras el proceso estaba fuera de control. Siempre se ha de verificar qué personal está encargado de los procesos.

Principio 6. Implantar un sistema de registro de datos que documente el HACCP. Deben guardarse los registros para demostrar que el sistema está funcionando bajo

control y que se han realizado las acciones correctoras adecuadas cuando existe una desviación de los límites críticos.

Principio 7. Establecer un sistema de verificación. El sistema de verificación debe desarrollarse para mantener el HACCP y asegurar su eficacia.

4.1.2 Temas de gestión

En general la tarea de la seguridad contra amenazas es asignada a una sola persona, quien puede realizar una serie de importantes funciones, como promulgación política, el establecimiento de relaciones con otros organismos y comunidades circundantes para abordar los problemas de seguridad, el desarrollo de los sistemas de notificación de incidentes, impulsar a los empleados conciencia sobre la seguridad, entre otras cosas.

a) Política

Los trabajadores tienen más probabilidades de ver que su empresa tiene la seguridad como una prioridad si visiblemente la compañía apoya los esfuerzos de seguridad. Entre las mejores maneras de demostrar que la empresa incluye la seguridad como uno de los valores fundamentales es promulgar políticas con respecto a esto.

b) Colaboración

Es probable que los encargados de seguridad consideren la posibilidad de establecer o mejorar las relaciones de colaboración con los entes locales, estatales y otras agencias de seguridad públicas. La colaboración interna es también importante.

c) Reporte y análisis de incidentes

Los datos de incidentes estarán disponibles para el análisis si éstos han sido comunicados y registrados.

d) La formación del trabajador y el contratista y la concientización sobre la seguridad

Los trabajadores y contratistas ven mucho de lo que ocurre dentro y alrededor de la instalación química, por lo que se encuentran en muy buena posición para dar aviso cuando algo o alguien no parece correcto. Medidas de capacitación y sensibilización a los trabajadores y contratistas son un sistema de vigilancia natural.

e) Investigaciones

Incidentes sospechosos y brechas de seguridad deben ser investigados por profesionales capacitados.

f) Respuesta de emergencia y gestión de crisis

Una adecuada gestión de crisis puede impedir que una intrusión o ataque se convierta en un importante incidente.

g) Reevaluación periódica

Las condiciones en torno a la seguridad cambian constantemente. Los encargados debieran revisar las medidas de seguridad periódicamente, así como las instalaciones o cuando las condiciones cambian significativamente.

4.1.3 Seguridad física

La seguridad física se refiere al equipamiento, construcciones, y prácticas de seguridad destinadas a prevenir los ataques físicos contra instalaciones, los bienes o la información.

Los elementos de la seguridad física incluyen control de accesos, perímetros de protección, detección de intrusos, guardias de seguridad, y otras medidas.

a) Control de accesos

El apropiado número de controles de accesos varía significativamente de una instalación a otra. Depende del número de trabajadores, peligrosidad de los materiales presentes, nivel de tráfico peatonal y vehicular dentro y fuera de las instalaciones, proximidad de las instalaciones a zonas pobladas, y muchos otros factores.

b) Perímetro de protección

Controlar el movimiento de las personas dentro de las instalaciones es importante, pero es mucho mejor evitar el ingreso de intrusos, pues pueden ser terroristas, saboteadores, vándalos, ladrones, protestantes, o ex empleados descontentos.

c) Guardias de seguridad

Éstos pueden proporcionar una serie de útiles servicios en el área de la seguridad, tales como recorrer sitios para buscar intrusos o irregularidades, controlar las entradas y verificar las identificaciones, mantener registros de entrada y salida, recordar a los trabajadores y contratistas las políticas de vigilancia, asistencia en situaciones de emergencia, entre otros.

d) Sistemas de reserva

Podrían requerirse obras adicionales, obras con atributos especiales o bien equipamientos adicionales, como generadores de energía eléctrica, con el fin de cumplir con los requisitos de cantidad, calidad y continuidad de los servicios a proporcionar.

4.1.4 Seguridad de trabajadores y contratistas

Se debe tener cuidado con la contratación y término de contrato de los trabajadores, ya que, aunque en general no se espera una mala respuesta de parte de éstos, se debe tener presente que podrían no reaccionar de buena forma, y se debe prevenir la violencia en el lugar de trabajo.

4.2 Cálculo de la vulnerabilidad

Se entiende por vulnerabilidad, la susceptibilidad a la pérdida de un elemento o conjunto de elementos como resultado de la ocurrencia de un desastre, que puedan provocar deficiencia en su capacidad de prestación de servicios u operatividad y debilidades físicas de los componentes ante solicitudes externas.

Generalmente para analizar la vulnerabilidad de sistemas de agua potable se utiliza la metodología establecida por la Organización Panamericana de la Salud (OPS), la cual define diferentes matrices que recogen la información básica para la elaboración de los planes de mitigación y atención de emergencia y desastres. Sin embargo, el análisis de vulnerabilidad que propone la OPS se refiere principalmente a desastres naturales y no a accidentes del tipo químico, por lo que se utilizará una metodología diferente basada en normativas españolas, que incluye los siguientes puntos:

- Vulnerabilidad de las personas, que fue tomada principalmente de las Notas Técnicas de Prevención, NTP 291 ^[16].
- Vulnerabilidad al medio ambiente, basada fundamentalmente en la “Guía para la realización del análisis del riesgo medioambiental” ^[6] (en adelante, la Guía), perteneciente a la Directriz Básica de Protección Civil (R.D 1196/2003), en adelante, Directriz Básica.

4.2.1 Vulnerabilidad de las personas

Entre los métodos más utilizados para el cálculo de la vulnerabilidad de las personas se encuentra el método Probit, que es un método estadístico que da una relación entre la función de probabilidad y una determinada carga de exposición al riesgo.

La función Probit es una función matemática empírica con una distribución normal con valor medio de 5 y desviación estándar 1, lo cual significa que a un porcentaje del 50% corresponde un valor de Probit = 5.

$$\text{Pr} = \frac{1}{\sqrt{2\Pi}} \int_{-\infty}^{y-5} \exp\left[-\frac{u^2}{2}\right] du \quad (1)$$

La ecuación anterior se trabaja de forma simplificada:

$$\text{Pr} = a + b \cdot \ln(V) \quad (2)$$

Donde:

Pr = Probit o función de probabilidad de daño sobre la población expuesta

a = Constante dependiente del tipo de lesión y tipo de carga de exposición

b = Constante dependiente del tipo de carga de exposición

V = Variable que representa la carga de exposición (dosis).

El valor Probit permite determinar el porcentaje de la población expuesta que se verá afectada a un determinado nivel de lesiones o por muerte a causa de una carga de exposición determinada, como se muestra en la tabla 4.2. Este método se puede emplear para determinar el porcentaje de personas afectadas por intoxicación, por radiación térmica y por sobrepresión.

Tabla 4.1 Equivalencia entre valor Probit y porcentaje

Pr	%	Pr	%								
0	0	3,72	10	4,16	20	4,48	30	4,75	40	5,00	50
2,67	1	3,77	11	4,19	21	4,50	31	4,77	41	5,03	51
2,95	2	3,82	12	4,23	22	4,53	32	4,80	42	5,05	52
3,12	3	3,87	13	4,26	23	4,56	33	4,82	43	5,08	53
3,25	4	3,92	14	4,29	24	4,59	34	4,85	44	5,10	54
3,36	5	3,96	15	4,33	25	4,61	35	4,87	45	5,13	55
3,45	6	4,01	16	4,36	26	4,64	36	4,90	46	5,15	56
3,52	7	4,05	17	4,39	27	4,67	37	4,92	47	5,18	57
3,59	8	4,08	18	4,42	28	4,69	38	4,95	48	5,20	58
3,66	9	4,12	19	4,45	29	4,72	39	4,97	49	5,23	59
Pr	%										
5,25	60	5,52	70	5,84	80	6,28	90	7,33	99,0		
5,28	61	5,55	71	5,88	81	6,34	91	7,37	99,1		
5,31	62	5,58	72	5,92	82	6,41	92	7,41	99,2		
5,33	63	5,61	73	5,95	83	6,48	93	7,46	99,3		
5,36	64	5,64	74	5,99	84	6,55	94	7,51	99,4		
5,39	65	5,67	75	6,04	85	6,64	95	7,58	99,5		
5,41	66	5,71	76	6,08	86	6,75	96	7,65	99,6		
5,44	67	5,74	77	6,13	87	6,88	97	7,75	99,7		
5,47	68	5,77	78	6,18	88	7,05	98	7,88	99,8		
5,50	69	5,81	79	6,23	89	7,33	99	8,09	99,9		

Fuente: NTP 291 ^[16]

➤ **Fenómenos tóxicos**

Para determinar el porcentaje de personas afectadas por intoxicación ocasionada por inhalación de una sustancia tóxica se utiliza la ecuación (2) sustituyendo el valor V por la expresión:

$$V = c^n t \quad (3)$$

Siendo:

c = Concentración de la sustancia tóxica en el aire (ppm)

t = Tiempo de exposición (minutos)

n = Exponente (adimensional 0,6 – 3)

Para las sustancias muy tóxicas se dispone en la bibliografía especializada de los valores de a, b y n de la ecuación Probit relativas a intoxicaciones letales. Un ejemplo de esto es el caso del cloro ^[16], donde:

$$a = -8,29 \text{ ppm}$$

$$b = 0,92 \text{ ppm}$$

$$n = 2 \text{ min}$$

La ecuación Probit no es aplicable para concentraciones relativamente bajas y tiempos de exposición muy prolongados, cuyos métodos de valoración serían otros. Además, hay que resaltar que no se conocen valores para las constantes si se trata de dispersión de mezclas tóxicas, de modo que sólo se podrá calcular la vulnerabilidad para las personas cuando se trate de incidentes con sustancias puras.

➤ **Fenómenos térmicos**

Los efectos sobre las personas y sobre los bienes de la radiación térmica dependen de la intensidad de la radiación recibida y de la duración de la exposición.

La dosis en este caso se calcula como:

$$V = I_m^{4/3} \cdot t \quad (4)$$

Donde I_m es la intensidad media recibida, en kW/m^2 , y t el tiempo de exposición, en segundos. Esta exposición es válida para intensidades superiores a $1,7 \text{ kW/m}^2$; para valores inferiores al anterior, el tiempo de exposición es prácticamente irrelevante. En dichas condiciones se considera que la mayoría de la población puede estar expuesta durante dilatados periodos de tiempo sin sufrir daño.

En una PTAP no se debiera estar expuesto a daños producto de fenómenos térmicos, sin embargo, cabe destacar que existen diferentes expresiones para el cálculo de

distintos tipos de efectos. La institución holandesa TNO propone las ecuaciones probit siguientes:

- Quemaduras mortales con protección (ropa): $Pr = -37,23 + 2,56 \ln(V)$
- Quemaduras mortales sin protección: $Pr = -36,38 + 2,56 \ln(V)$
- Quemaduras de segundo grado: $Pr = -43,14 + 3,0188 \ln(V)$
- Quemaduras de primer grado: $Pr = -39,83 + 3,0186 \ln(V)$

➤ Explosiones

Los modelos de consecuencias predicen el impacto de la sobrepresión originada por la explosión y la proyección de fragmentos volantes sobre las personas y objetos.

Al considerar las consecuencias sobre las personas, se debe hacer distinción entre consecuencias directas e indirectas de una explosión. Las ecuaciones Probit para estas consecuencias se han tomado de Eisenberg et al. (1975) y corresponden a:

- Consecuencias directas:
 - Muerte por lesiones pulmonares: $Pr = -77,1 + 9,61 \ln(P)$
 - Rotura de tímpano: $Pr = -15,6 + 1,93 \ln(P)$

- Consecuencias indirectas:
 - Muerte por impacto del cuerpo: $Pr = -46,1 + 4,82 \ln(J)$
 - Lesiones por impacto de cuerpo: $Pr = 39,1 + 4,45 \ln(J)$

Donde,

P = sobrepresión máxima (N/m^2)

J = impulso ($N \cdot s/m^2$)

4.2.2 Vulnerabilidad al Medio Ambiente

En la Directriz Básica se establece que el industrial debe realizar un análisis fundamentado en la identificación, caracterización y valoración de cada uno de los componentes y factores relevantes del sistema de riesgo. Los componentes de dicho sistema son:

- Fuentes de riesgo
- Sistemas de control primario
- Sistemas de transporte
- Receptores vulnerables

Para estimar y valorar el riesgo medioambiental, puede utilizarse una metodología establecida en la Guía ^[6], recomendada por la Dirección General de Protección Civil de España. En esta metodología se debe estimar el Índice Global de Consecuencias Medioambientales (IGCM) y la probabilidad o frecuencia asociados al escenario accidental, para a continuación, obtener un Valor o Índice de Riesgo Medioambiental, y proceder finalmente a la evaluación y análisis de la tolerabilidad de ese riesgo.

A cada situación de riesgo se le asocia una puntuación, cuya sumatoria corresponde al IGCM, cuyo valor va de 1 a 20.

Básicamente la metodología otorga:

- Un peso relativo del 30% a la puntuación de fuentes de riesgo, donde previamente ha sido integrado el componente sistemas de control primario.
- Un peso relativo del 20% a la puntuación sistemas de transporte.
- Un peso relativo del 50% a la puntuación de receptores vulnerables.

Para obtener el Índice o Valor de Riesgo Medioambiental, se debe multiplicar el IGCM por la probabilidad/frecuencia de ocurrencia de cada escenario, cuyo valor varía entre 1

y 5. El índice o valor de riesgo medioambiental resultante será un valor que de manera absoluta tendrá asignado un número de 1 a 100, que por sí sólo no puede dar una idea de la gravedad del escenario estudiado y será necesario considerar dicho índice o valor en función de los dos componentes que lo definen, que son el IGCM y la probabilidad o frecuencia de ocurrencia del escenario.

Los componentes de riesgo y los diferentes parámetros que se deben tener en cuenta para la asignación de un valor se comentan a continuación.

a) Fuentes de riesgo

Son las sustancias implicadas en un daño medioambiental tras un accidente grave. La obtención de una puntuación para fuentes de riesgo-sustancia se hace mediante el análisis de un conjunto de cinco propiedades, que son toxicidad, volatilidad, bioconcentración, adsorción y biodegradación. Además, es importante identificar el riesgo relacionado con estas sustancias, donde una de las características más importantes es la cantidad involucrada, y generalmente se considera este valor como la cantidad máxima almacenada.

b) Sistemas de control primario

Son los componentes, equipos o sistemas de control dispuestos por el industrial con la finalidad de mantener una determinada fuente de riesgo en condiciones de control permanente, de modo que no afecte significativamente al medio ambiente. Estas medidas se pueden dividir en tres grupos: medidas de detección, mitigación y contención.

c) Sistemas de transporte

Constituyen el nexo de unión entre las fuentes de riesgo y los receptores del daño. Su modelización a través de sistemas y algoritmos matemáticos constituye una herramienta fundamental para establecer la evolución de la concentración de la sustancia en el tiempo y en el espacio. De esta forma, es posible determinar

las distancias al foco accidental en las que se alcanzan determinadas concentraciones de una o varias sustancias accidentalmente liberadas. La extensión espacial del daño constituye uno de los criterios más estrechamente relacionados con el tipo de receptor afectado.

Si el accidente ocurre dentro del establecimiento y éste dispone de las medidas de contención adecuadas, la puntuación asignada será baja, al contrario de lo que ocurre si el accidente es de considerables dimensiones.

d) Receptores vulnerables

Constituyen los elementos del medio ambiente que pueden verse afectados si, finalmente, entran en contacto o están expuestos a la fuente de riesgo.

A la hora de establecer una puntuación, el primer criterio a considerar es el hábitat en el que esté emplazado el establecimiento, y la puntuación irá variando de acuerdo a otros factores tales como espacios naturales protegidos, especies existentes, patrimonio histórico artístico, impacto socioeconómico asociado a la alteración de los recursos naturales, entre otros.

La Guía no trata el riesgo ni el daño derivado de aquellas condiciones de funcionamiento normales o sucesos intencionados a consecuencia de los cuales se produce un accidente. Se centra básicamente en los receptores vulnerables, proporcionando una herramienta y una metodología útiles que permitan la interrelación de la intensidad del agente causante (habitualmente una concentración de una sustancia) y el daño en el medio ambiente.

El desarrollo de la guía tiene presente la propia existencia de la información necesaria para llevar a cabo el análisis y evaluación del riesgo medioambiental, su facilidad de acceso y el grado de detalle de la misma para un industrial afectado. La vulnerabilidad del medio ambiente deberá poder estimarse en función de la información adicional

existente y accesible, evitando solicitar una información que implique laboriosos y costosos estudios para la industria.

La probabilidad/frecuencia asociada a un determinado escenario accidental vendrá dada, en algunos casos en el informe de seguridad, por el propio establecimiento llevado a cabo con anterioridad en sus instalaciones. En estos casos, la tabla 4.2 proporciona las equivalencias necesarias a la hora de establecer las puntuaciones del factor probabilidad.

Tabla 4.2 Criterios para el factor probabilidad

Probabilidad	Puntuación
$x \geq 1,00 \cdot 10^{-2}$	5
$1,00 \cdot 10^{-4} \leq x < 1,00 \cdot 10^{-2}$	4
$1,00 \cdot 10^{-6} \leq x < 1,00 \cdot 10^{-4}$	3
$1,00 \cdot 10^{-8} \leq x < 1,00 \cdot 10^{-6}$	2
$x < 1,00 \cdot 10^{-8}$	1

Fuente: Guía para la realización del análisis del riesgo medioambiental ^[6]

Para aquellos supuestos (la mayoría) donde no sea posible obtener la información mencionada en el párrafo anterior, se pueden seguir los criterios orientativos basados en la norma UNE 150008 EX “Análisis y evaluación del riesgo medioambiental” (ver tabla 4.3).

Tabla 4.3 Criterios para el factor frecuencia

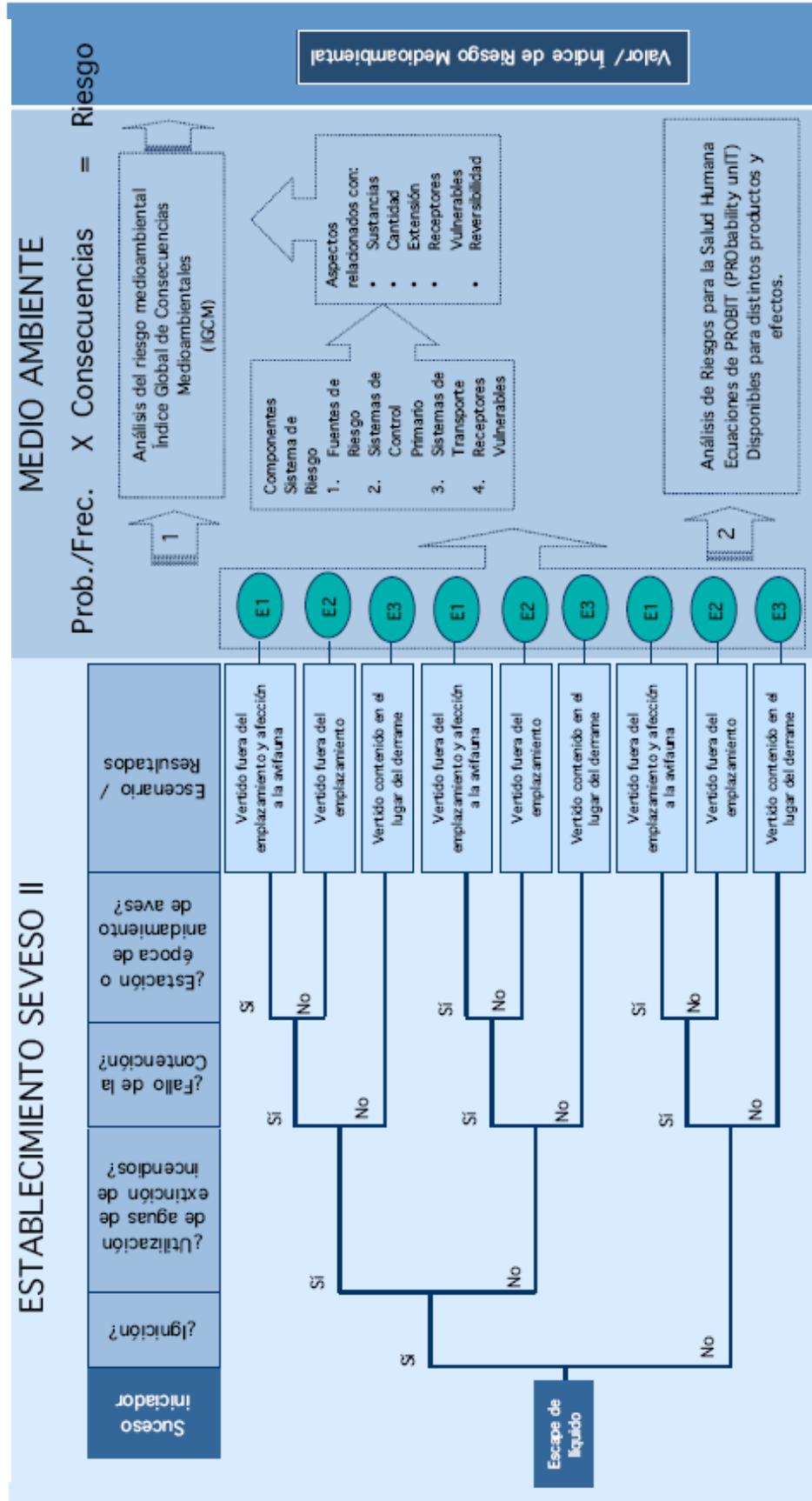
Frecuencia	Puntuación
Entre una vez al año y una vez cada 5 años	5
Entre una vez cada 5 años y una vez cada 25 años	4
Entre una vez cada 25 años y una vez cada 50 años	3
Entre una vez cada 50 años y una vez cada 100 años	2
Entre una vez cada 100 años y una vez cada 500 años	1

Fuente: Guía para la realización del análisis del riesgo medioambiental ^[6]

En el Anexo B se incluye una descripción más detallada de la metodología, con las tablas de puntuación para los distintos factores.

La Figura 4.2 ofrece una visión de conjunto del proceso de análisis del riesgo medioambiental y de vulnerabilidad de las personas, con un ejemplo de un suceso iniciador que en este caso corresponde a un escape de líquido. Se observa por un lado, la parte del proceso de análisis de riesgos y por otra, la estimación de las consecuencias medioambientales y para la salud humana, a partir de unos escenarios accidentales y sus probabilidades/frecuencias asociadas junto con las ecuaciones de Probit.

Figura 4.2 Ejemplo de la metodología para el cálculo de la vulnerabilidad.

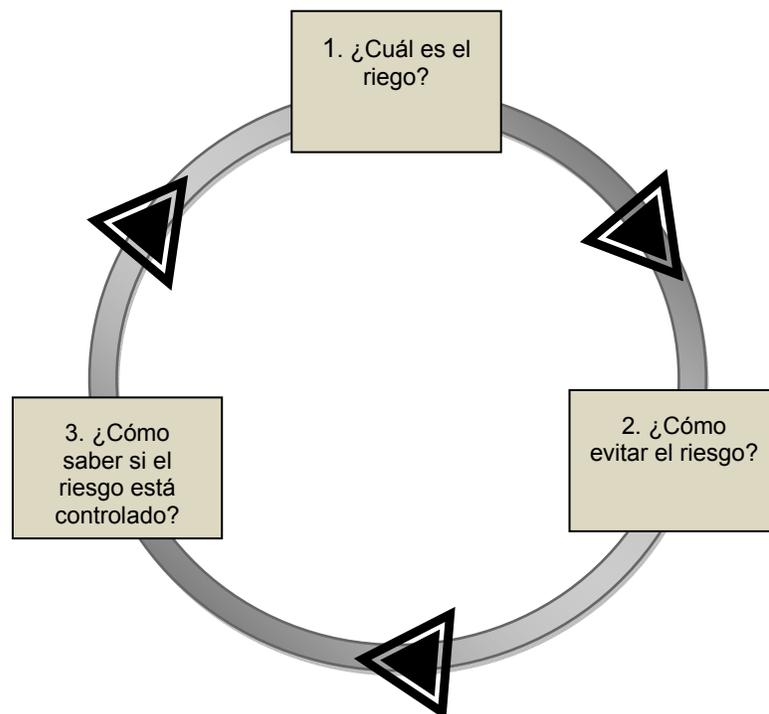


5 Manejo Seguro de Sustancias Peligrosas.

En una Planta de Tratamiento de Agua Potable, como en todo lugar donde se almacenen y manipulen sustancias peligrosas, se deben implementar medidas de prevención de accidentes, ya que aunque éstas presuponen una inversión, debe tenerse en cuenta que reducir la vulnerabilidad minimiza las pérdidas y evita inversiones luego de ocurrido un desastre, las que generalmente son muy costosas. Algunas de estas medidas son asegurar un diseño estructural adecuado, ubicar apropiadamente las instalaciones, descentralizar fuentes y operaciones, proteger las instalaciones y considerar volúmenes se reserva suficiente.

Cuando lo que se pretende es prevenir que ocurra un accidente químico, se deben contestar las siguientes preguntas, como un ciclo continuo.

Figura 5.1 Ciclo de prevención de accidentes



La primera pregunta corresponde, en el caso de accidentes químicos al interior de una Planta de Tratamiento de Agua Potable, a cuáles son los insumos que generan riesgo

de accidente y cuál o cuáles son los peligros asociados. Posteriormente deben tomarse medidas adecuadas para evitar el riesgo, es decir, lograr que el accidente no ocurra y de esta manera contestar la segunda pregunta. Finalmente, la última pregunta corresponde a saber si las medidas a tomar para evitar el riesgo son adecuadas o no, y en caso negativo, se deben dar nuevas respuestas a las interrogantes.

Si lo que se quiere es tomar medidas de mitigación frente a los accidentes ya ocurridos, la segunda pregunta debiera cambiarse por “¿Qué medidas tomar para controlar el riesgo?” y seguir un procedimiento análogo al caso anterior.

Los puntos 5.1 y 5.2 corresponden a las principales medidas de prevención y mitigación a tomar en una PTAP, respectivamente. Es aquí donde prácticamente nace la “Guía de prevención y mitigación de accidentes químicos en una planta de tratamiento de agua potable”, título de este trabajo.

5.1 Medidas de Prevención de Accidentes

5.1.1 Medidas para el manejo seguro de una PTAP

Este documento pretende entregar recomendaciones para prevenir accidentes al interior de una Planta de Tratamiento de Agua Potable, ya que en ésta, o en cualquier industria donde se manipulen o almacenen sustancias químicas que puedan llegar a ser consideradas como peligrosas, se debe tener en cuenta que éstas pueden ocasionar accidentes si es que no ha habido un buen plan de manejo. Deben tomarse una serie de medidas, tales como un diseño adecuado de las instalaciones, que serán desarrolladas en los siguientes puntos, y que han sido adaptadas del curso “Manejo seguro de sustancias peligrosas” del Dr. Márquez F. ^[10].

5.1.1.1 Localización y edificios

Idealmente los lugares de almacenamiento de sustancias peligrosas de la PTAP se deben ubicar alejados de zonas densamente pobladas, de áreas con posibilidad de anegamiento y de posibles fuentes externas de peligro. Sin embargo, el desarrollo urbano de las ciudades puede con el tiempo alcanzar las instalaciones, como es el caso de la Planta Vizcachitas (figura 5.2) o la planta de Punta Arenas.

Figura 5.2 Planta Vizcachitas



La instalación debe tener un fácil acceso a los servicios de transporte y emergencia, sobre terrenos estables y que soporten edificios y caminos seguros. Se deben proveer servicios adecuados, tales como electricidad con suministro de emergencia si es necesario, agua potable y red de agua contra incendio, sistemas de drenajes segregados de los públicos y de aguas lluvias para evitar toda posible contaminación.

➤ **Ubicación en planta**

La ubicación en planta debe ser diseñada permitiendo la separación de materiales incompatibles utilizando edificios o lugares separados, murallas cortafuego u otras precauciones, así como también permitir movimientos y manejo seguro de los

materiales peligrosos; debe existir espacio suficiente que asegure buenas condiciones de trabajo y permitir el acceso expedito por varios lados.

➤ **Seguridad**

Se debe proteger los lugares de almacenamiento de posibles robos y otras amenazas, abordadas en el Capítulo 4, mediante medidas de seguridad como rejas y alarmas. El lugar de almacenamiento debe estar rodeado por una cerca o muralla protectora que debe mantenerse en buen estado. La línea de la cerca debe dejar suficiente espacio para las posibles emergencias en caso de derrames. Durante la noche se debe tener personal de seguridad y/o sistemas de alarma y de iluminación. Además, el lugar debe estar implementado con sistemas de rejas y candados para cuando no esté en uso.

El número de puertas de acceso deben ser las mínimas consistentes con una operación eficiente y deben estar en más de una dirección, en caso de emergencias.

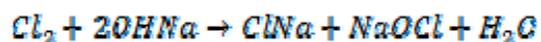
Las llaves deben estar disponibles en un lugar conveniente, pero no de fácil acceso al público y estar claramente identificadas. Se debe contar con una llave maestra en caso de extravío de las principales.

La seguridad no sólo es importante en caso de vandalismo, sino también en el caso de accidentes químicos que pueden originarse al interior de las instalaciones, por lo que es importante contar con otras instalaciones que permitan evitar que un accidente genere consecuencias a los trabajadores, los bienes o al medioambiente, como ocurre en el caso de un escape de cloro. En este caso una torre de neutralización de cloro evitaría que la nube de gas se propague a la atmósfera.

• **Plantas de neutralización de cloro**

El escape de cloro al medioambiente puede evitarse mediante la instalación de una planta o sistema de neutralización de sus vapores. Estos sistemas se basan en la

reacción química que ocurre cuando entran en contacto cloro gaseoso y una solución alcalina. La solución puede ser hidróxido de sodio, carbonato de sodio o hidróxido de calcio. Por razones de solubilidad, volúmenes de solución resultante y facilidad de obtención, se prefiere efectuar la neutralización con una solución acuosa al 20% de hidróxido de sodio (soda cáustica). La reacción que resulta es:



Esta reacción, frente a un exceso de hidróxido de sodio, se desarrolla a gran velocidad y consume prácticamente la totalidad del cloro. El aire contaminado con cloro es aspirado por uno o más extractores e impulsado a través de conductos hacia el interior de una torre de contacto, ingresando por el fondo. Una solución de hidróxido de sodio, almacenada en la cisterna, generalmente ubicada en la parte inferior de la torre, se recircula mediante una bomba centrífuga que alimenta un distribuidor instalado sobre un lecho de anillos tipo Palí o Raschig. Ambos reactivos, cloro y soda, circulan en contracorriente atravesando el lecho, donde entran en contacto, ocurriendo entonces la mencionada reacción. También puede haber, además de torres con recirculación, torres sin ésta y torres en serie. En la figura 5.3 se puede apreciar una torre de neutralización de cloro.

El aire prácticamente libre de cloro es expulsado al exterior por la parte superior de la torre. Los parámetros de diseño a ser considerados deben ser los necesarios para un adecuado “barrido” del aire en el recinto, que asegure, en caso de un eventual escape de cloro, una eficiente captación del mismo y conducción hacia la torre. El barrido se efectuará desde la parte superior del recinto hacia el ducto de colección, ubicado en la parte más baja, evitándose cortocircuitos dentro de la sala.

Figura 5.3 Torre de Neutralización



Normalmente, la capacidad de neutralización de cloro se establece mínimamente en un valor que neutralice la cantidad aproximada de una unidad de los recipientes de cloro utilizados. El diseño debe contemplar el comando manual de extractores y bombas, pero ante una fuga el sistema debe entrar en servicio automáticamente, disparado por uno o más detectores de cloro en el aire. La torre y el depósito de solución de hidróxido de sodio deberán ser construidos en un material resistente a la acción química del cloro, a los neutralizadores empleados y a los productos de la reacción, como plástico reforzado con fibra de vidrio.

➤ **Diseño de sitios de almacenamiento**

El diseño del lugar de almacenamiento debe estar acorde con la naturaleza de los materiales a ser almacenados y con adecuados lugares de salida. Si hay materiales

incompatibles, éstos deben encontrarse en distintos compartimentos. Los materiales de construcción deben ser no inflamables y el edificio debe ser de concreto armado o acero. Si es de una estructura de acero, esta debe estar protegida por aislación.

- **Paredes Cortafuego:** Las paredes externas deben estar cubiertas con acero o planchas de metal, o cuando exista riesgo de fuego deben ser de material sólido. Los materiales aislantes deben ser de elementos no-combustibles, como lana mineral o fibra de vidrio. Las divisiones internas deben proveer al menos 60 minutos de resistencia y se deben construir con una altura de un metro sobre el techo o tener algún otro medio para impedir la propagación del fuego. Los materiales más adecuados para combinar resistencia al fuego con resistencia física y estabilidad son el concreto, ladrillos o bloques de cemento. Las paredes cortafuego deben ser independientes de la estructura para evitar su colapso en caso de incendios. Cuando existen cañerías, ductos y cables eléctricos, se deben colocar con sustancias retardantes del fuego. Las puertas en las paredes interiores deben tener resistencia al fuego similar a las paredes y se deben cerrar automáticamente en caso de incendio.

- **Salidas de Emergencia:** Deben existir salidas de emergencias distintas de las puertas principales, al menos en dos direcciones, claramente indicadas y dispuestas de modo que nadie pueda quedar atrapado en el lugar. Además, deben ser fáciles de abrir en la oscuridad o con humo denso, y equipadas con pasamanos de emergencia.

- **Pisos:** Deben ser impermeables a los líquidos, lisos, pero no resbalosos y libres de hendiduras para permitir una limpieza fácil y estar diseñados para la contención de derrames y aguas contaminadas en caso de accidentes.

- **Drenaje:** Los drenajes deben evitarse en los lugares de almacenamiento de sustancias que pudieran contaminar las aguas en caso de incendio, fugas o

derrames. Sin embargo, se deben diseñar desagües para las aguas lluvias en los techos y lugares exteriores, cuyos ductos deben ser externos en lo posible y si son internos deben ser no combustibles. Los drenajes deben estar sellados y protegidos del posible daño de vehículos. Esto se puede lograr por medio de canalizaciones de ladrillos o concreto que protejan los ductos con una altura de al menos 20 cm. Todo drenaje debe estar conectado a un pozo colector que esté protegido de aguas lluvias, para una posterior disposición.

- **Terraplenes:** Corresponden a la retención física del agua de incendios o derrames, y son necesarios en el caso de que se pueda llegar a contaminar cursos acuáticos cercanos. Todos los lugares de almacenamiento de sustancias peligrosas deben tener terraplenes, cuyos volúmenes de retención dependen de las características de los productos almacenados.
- **Ventilación y Calefacción:** Dependiendo de la naturaleza de los materiales a almacenar, se deberá disponer de extractores, en caso de posibles fugas al interior de las instalaciones, como podría ocurrir en el caso de almacenamiento de cloro. En este caso, es necesario evacuar las fugas desde arriba hacia el piso. Además, en algunos casos es necesario mantener la temperatura ambiente entre ciertos rangos, proyectándola sobre la base de la calefacción eléctrica.
- **Equipos de reserva:** Algunas instalaciones, como las de cloración, deben funcionar en forma permanente, por lo que deben contar con equipos de reserva. En el caso de la fluoración el equipo de reserva no se hace tan necesario, dado que se puede prescindir de esta etapa en el tratamiento del agua.

➤ **Almacenamiento de cloro**

El diseño de una Planta de Cloración a partir de cloro debe contemplar las siguientes áreas:

- **Área de almacenamiento de los recipientes contenedores de cloro: cilindros, contenedores de una tonelada o tanques vacíos y llenos en espera.**

En todos los casos el área asignada debe estar limpia, despejada, libre de humedad, alejada de grasas, aceites, solventes e hidrocarburos, sin posibilidad de incendio en las inmediaciones y con fácil acceso para el vehículo que los transporte. Se debe prohibir el tránsito de personas no autorizadas. Preferentemente deben almacenarse en recintos cerrados o al menos techados para evitar los rayos de sol y la lluvia. En todos los casos se debe delimitar la zona de los contenedores vacíos y llenos. Todos los recipientes almacenados deben poseer los capuchones protectores de válvulas. Si se decide su ubicación dentro de un recinto cerrado, puede ser el mismo donde se encuentran los contenedores en uso o separado de éste. Estos recintos, deben diseñarse con facilidades para la maniobra de camiones, movimientos y circulación de los operarios.

Si no se posee un sistema de neutralización de cloro, la sala debe estar aireada, de forma tal que haya un suave y continuo barrido de aire, desde la parte superior hacia la inferior. En caso de contarse con un sistema de neutralización de cloro, es conveniente que esta sala no posea ventilación natural. En la parte superior se instalarán las entradas de aire, aberturas o ventanas de sobrepresión, mientras que en la parte inferior se instalará un ducto vinculado a uno o más extractores, que extraigan el aire del recinto, y lo envíen a la torre rellena de absorción. El diseño debe ser cuidadoso de forma tal que no se produzcan cortocircuitos en la corriente de aire.

- **Área de instalación de los recipientes contenedores de cloro: cilindros, contenedores de una tonelada o tanques llenos en servicio y espera.**

Deben observarse los mismos requisitos que en el caso anterior. Si bien, como se indicara anteriormente, los espacios deben contemplar la facilidad de movimientos, en caso que se instale un sistema de neutralización de cloro, deben minimizarse, dado que las dimensiones del sistema dependen del volumen de los recintos. Las salas donde se alojan los contenedores de cloro, comúnmente son llamadas salas de alta presión. La obra civil de estas salas, debe contemplar la instalación de un portón de acceso para el ingreso y egreso de los contenedores de cloro y una o dos puertas de escape con la abertura hacia afuera y barras de apertura anti pánico.

- **Área de instalación de los equipos de cloración (Figura 5.4)**

Los cloradores, normalmente de operación bajo vacío, se instalan en salas llamadas de baja presión. Éstas deben estar aisladas de las de alta presión y, dada la imposibilidad de fugas importantes de cloro, no requieren circulación de aire hacia el sistema de neutralización de cloro.

Figura 5.4 Instalación de Cloradores



- **Área del sistema de neutralización**

El sistema de neutralización de cloro debe instalarse a la intemperie, en un área contigua a la sala de alta presión.

En el caso del flúor se debe tener presente que la zona de almacenaje representa riesgos para la salud. El almacenamiento debe hacerse en bodegas y/o cabinas diseñadas para contener sustancias tóxicas con seguridad. El lugar debe ser de fresco a frío, seco y con buena ventilación. El acceso debe ser controlado y con señalización de riesgo. Además, debe mantener alejado de condiciones y sustancias incompatibles y protegido contra el daño físico. Los envases deben encontrarse cerrados y debidamente etiquetados.

➤ **Almacenamiento exterior**

Cuando se almacenan productos peligrosos en áreas exteriores, se debe contener cualquier derrame con pretilos o sacos de arena, además de un techo o cubierta que proteja los productos del sol y la lluvia. Para evitar la contaminación del suelo o de las aguas, la superficie de almacenamiento debe ser impermeable, y resistente al calor y al agua.

5.1.1.2 Almacenamiento de sustancias peligrosas

Si se almacenan grandes cantidades de productos peligrosos, se debe dejar espacio entre las paredes externas y los envases o paquetes, para permitir un acceso a la inspección, un libre movimiento del aire y espacio para combate de incendios. La altura de los paquetes debe ser tal que no puedan caer los productos.

Se debe tener una clara distribución de los productos almacenados y de la naturaleza de su peligrosidad en cada sección del almacenamiento; se deben separar por materiales con similares características. Un inventario completo de los materiales almacenados se debe mantener en constante actualización.

➤ **Operación de sustancias peligrosas**

Para el manejo de sustancias peligrosas se deben tener instrucciones escritas para todo el personal que incluyan:

- a) Instrucciones de la operación segura y correcta de todos los equipos y del almacenamiento de los materiales peligrosos.
- b) Hojas de datos de Seguridad para todos los productos transportados y almacenados.
- c) Instrucciones y procedimientos sobre Higiene y Seguridad.
- d) Instrucciones y procedimientos sobre emergencias.

➤ **Recepción, despacho y transporte de sustancias**

En la recepción de sustancias peligrosas se debe tener una clara identificación de los productos por medio de la hoja de seguridad y por la especificación de la factura. Se deben incluir las características del producto, la cantidad y la condición de transporte. Si las sustancias o los envases no están en buenas condiciones y presentan un posible peligro, se deben tomar las acciones necesarias para evitar accidentes.

Los vehículos que transportan sustancias peligrosas deben tener toda la documentación apropiada, como las hojas de seguridad, tarjetas de emergencia en transporte, etc. y contar también con extinguidor de incendios y con equipo protector para ser utilizado por el conductor.

➤ **Separación y segregación de productos**

El objetivo principal de la separación y segregación de productos es minimizar los riesgos de contaminación o incendio que puedan ocurrir producto del almacenamiento mixto de sustancias incompatibles. Esto también disminuirá las zonas de peligro y los requerimientos de pretilas y la instalación de equipo eléctrico protegido. No deben mezclarse sustancias de diferentes tipos de riesgos de acuerdo a los símbolos de la

Clasificación de Sustancias Peligrosas de las Naciones Unidas (N°NU). Se debe considerar además que:

- Los líquidos altamente inflamables y los cilindros de gas se deben almacenar o instalar en zonas externas;
- Los materiales que son posibles de explotar en un incendio, como cilindros de gases o aerosoles deben mantenerse separados de otros materiales inflamables.

➤ **Higiene personal y equipamiento de seguridad**

Se deben tener las ropas adecuadas para el manejo de las distintas sustancias y si están contaminadas o sucias deben ser lavadas frecuentemente. Deben guardarse colgadas, no dobladas. Se debe contar al menos con el siguiente equipamiento de seguridad:

- a) Casco o gorro protector
- b) Lentes o anteojos de seguridad
- c) Mascaras para polvo o gases peligrosos
- d) Guardapolvo o traje de trabajo
- e) Guantes de goma o plásticos
- f) Delantal plástico o de goma
- g) Zapatos o botas de seguridad

El equipo especial de emergencia debe mantenerse en la parte exterior de las instalaciones, cercano a las entradas.

No se debe permitir comer, beber o fumar en las áreas de trabajos donde existan sustancias peligrosas. Se debe disponer de un área donde el personal pueda comer en forma segura.

➤ **Derrames y fugas de contenedores y envases**

Para minimizar los peligros, todos los derrames o fugas de materiales peligrosos deben ser atacados inmediatamente, con previa consulta a la hoja de seguridad de la sustancia. Para tratar con derrames, los siguientes equipos son recomendables:

- a) Equipo de protección personal
- b) Tambores vacíos, de tamaño adecuado
- c) Material autoadhesivo para etiquetar los tambores
- d) Material absorbente: arena, polvo de ladrillo, aserrín
- e) Soluciones con detergentes
- f) Escobillones, palas, embudos, etc.

Todo el equipo de emergencia y seguridad debe ser revisado constantemente y mantenido en forma adecuada para su uso eventual. El equipamiento de protección personal debe estar descontaminado y debe ser limpiado después de su utilización.

Los derrames líquidos deben ser absorbidos en un sólido absorbente adecuado, como arena, polvo de ladrillo o aserrín. Los sólidos derramados deben ser aspirados con aspiradoras industriales. Se pueden utilizar palas y escobillones, pero minimizando la generación de polvo. El área debe ser descontaminada de acuerdo a las instrucciones dadas en las hojas de seguridad.

En el caso de utilización de cloro, las causas más frecuentes de fugas son originadas por:

a) Pérdidas a través de válvulas

Las principales pérdidas a través de la válvula pueden ocurrir debido a:

- Movilización del recipiente tomado por la válvula. Siempre se debe tener cuidado de movilizar el recipiente con perchas de izaje, tomándolo a través de los

extremos de la envolvente si se trata de un contenedor de tonelada o en posición vertical sujeto con cadena si se trata de un cilindro.

- Operación incorrecta en el recambio del recipiente. Para todo tipo de recipiente, las válvulas se accionarán con una llave apropiada que tiene un brazo de palanca de aproximadamente 20 cm. Ello evita exigir los vástagos más de lo recomendado. En caso contrario se pueden producir roturas de asiento, torceduras de vástago o descabezamiento de la válvula.
- Bloqueo de la válvula. Los principales inconvenientes en las válvulas son debidos a apretado excesivo contra el asiento o de la prensa estopa sobre el vástago; engranado de la rosca del vástago o del cono sobre el asiento; pegado de la empaquetadura sobre el vástago o suciedad originada por productos derivados del cloro (cloruro de hierro).

En estos casos el personal asignado debe tratar con mucha cautela de apretar la válvula, desbloquear el vástago aflojando levemente la prensa estopa y con la palma de la mano intentar accionar la llave con pequeños golpes, abrir y cerrar la válvula para tratar de eliminar una obstrucción. Una atmósfera templada ayuda al desbloqueo. De no tenerse éxito con estas maniobras y fundamentalmente de no contarse con un sistema de absorción, se debe desistir y devolver el recipiente al proveedor.

b) Pérdidas a través de tapones roscados

Pueden ocurrir a través de la rosca o del tapón fusible.

c) Pérdidas debidas a perforaciones del recipiente.

Estas pérdidas ocurren debido a picaduras por corrosión. Se debe colocar un parche o una espiga.

➤ **Disposición de residuos**

Todos los residuos deberán ser desechados de manera ambientalmente segura y responsable. A menudo las Hojas de Seguridad pueden indicar la forma más adecuada de disposición de sustancias químicas. Todos los recipientes contaminados que no se reutilicen deben ser descontaminados y descartados en forma apropiada.

➤ **Primeros auxilios**

Toda instalación que maneje productos peligrosos debe tener servicios de primeros auxilios y personal entrenado en procedimientos de emergencia. Los equipos de primeros auxilios deben incluir:

- a) Duchas de emergencia y sistemas de lavado de ojos
- b) Botiquines de primeros auxilios
- c) Mantas de incendios
- d) Alumbrado y linternas de emergencia

El equipamiento de primeros auxilios se debe encontrar en perfectas condiciones para asegurar su uso. Se deben efectuar arreglos con hospitales locales para la asistencia inmediata en caso de emergencias, donde deben estar informados de la naturaleza de los productos químicos manejados. Las hojas de seguridad deben ser enviadas al doctor junto al paciente. Éstas entregan una asesoría detallada sobre primeros auxilios, donde por lo general se debe considerar que:

1. **Inhalación:** Remover la persona afectada inmediatamente al aire libre.
2. **Contacto con la piel:** Lavar pronta y profusamente con agua, después de remover toda la ropa contaminada. Esta debe ser puesta en bolsas plásticas para posterior descontaminación o disposición.
3. **Contacto con ojos:** Lavar profusamente con agua por 15 minutos.

4. **Ingestión:** No inducir al vómito, a menos que sea indicado por asesoría médica o lo indique la hoja de seguridad.
5. **Quemaduras:** El área afectada debe ser enfriada lo más rápido posible con agua fría hasta que el dolor cese. Si la piel es afectada, cubrir con una gasa esterilizada. No se debe extraer la gasa adherida.
6. En todos los casos, después del tratamiento de primeros auxilios se debe obtener asistencia médica profesional.

Las medidas de primeros auxilios para las distintas sustancias utilizadas en el proceso de potabilización del agua serán detalladas en el Capítulo 7 de este documento.

➤ **Entrenamiento del personal e Inspecciones de seguridad**

Es fundamental efectuar un entrenamiento en seguridad y manejo seguro de productos peligrosos para todo el personal. Se debe tener en cuenta que:

- a) Los materiales deben ser frecuentemente inspeccionados para localizar fugas o daños mecánicos.
- b) Los pisos deber mantenerse limpios y libres de polvo.
- c) Se debe disponer de recipientes adecuados, metálicos o plásticos, para recoger los residuos en forma regular.
- d) Los materiales y equipos se deben limpiar en forma adecuada y constantemente.
- e) Todas las vías de evacuación y equipos de emergencia se deben mantener en buenas condiciones.

Las inspecciones de seguridad deben ocurrir en forma regular, para que las deficiencias sean corregidas y para estimular la concientización y preparación para emergencias.

➤ **Señales y símbolos**

El uso de señales y símbolos indicando restricciones, localización de equipos, teléfonos y vías de escape son recomendables. Estas deben ser claras y fáciles de entender.

5.1.1.3 Procedimientos de emergencia generales

Un accidente en cualquier lugar de almacenamiento de sustancias peligrosas puede ser una fuente de peligro para los trabajadores, la población vecina, el medio ambiente y/o las instalaciones.

Una eficiente protección contra fuegos debe incluir:

- a) Una rápida detección del fuego;
- b) Una rápida alarma a los servicios de bomberos y de emergencia;
- c) Un rápido combate del fuego, pero sólo por personal entrenado.

En forma similar, una exitosa protección contra la contaminación ambiental, ya sea por causa del fuego, derrames u otras causas, debe incluir:

- a) Una rápida detección de las emisiones/descargas
- b) Una rápida contención de la descarga
- c) Un aviso oportuno a las autoridades
- d) Una rápida absorción, neutralización y disposición del contaminante.

Debe efectuarse una eficiente coordinación con las brigadas de bomberos y hospitales locales, para tener una asistencia inmediata en caso de accidente. Debe además contarse con una brigada contra incendio interna. El personal que trabaja en las instalaciones debe ser entrenado en el combate contra el fuego, y contra otros tipos de accidentes.

➤ **Planes de emergencia**

En conjunto con las autoridades locales y el Cuerpo de Bomberos, el plan de emergencia debe comprender un plan de emergencia interno y un plan de emergencia externo, además de un sistema de alarma y un procedimiento de evacuación.

- a) Plan de emergencia interno: Conjunto de procedimientos diseñados para proteger el personal que trabaja en las instalaciones, y para combatir y manejar las emergencias que puedan poner en riesgo las vidas y las instalaciones.
- b) Plan de emergencia externo: Conjunto de procedimientos diseñados para proteger a la población, las propiedades y el ambiente que rodea las instalaciones de las posibles consecuencias de una emergencia originada en el interior de la propiedad. Este plan debe ser preparado por autoridad local apropiada, en cooperación con la autoridad interna.

➤ **Detección de incendios y equipos de protección**

Son apropiados los detectores de incendio, en particular en instalaciones que permanecen sin personal durante los fines de semana o festivos o fuera de las horas de trabajo normal.

- a) Detectores de incendio: Existen distintos tipos de detectores de incendio, detectores de llamas, detectores de humo y detectores de calor.
- b) Sistema de Rociadores (Sprinklers): Consiste en una red de cañerías y válvulas sensibles al calor llamados cabezales rociadores. En un sistema automático de rociadores, cada cabezal a una temperatura predeterminada, permitirá la salida de agua o agua-espuma al área inmediata. Por este medio, un fuego puede ser automáticamente detectado, dada la alarma, y mantener el fuego controlado hasta el arribo de la brigada contra incendios.

- c) **Sistemas de Respuesta:** Es esencial que la alarma esté conectada a un punto de control y/o a una brigada del cuerpo de bomberos. Esto es particularmente importante en el caso de instalaciones que permanecen sin personas en horas de noche o en fines de semana.

Los grifos contra incendios deben estar adecuadamente indicados, y las áreas de riesgo debieran ser alcanzadas al menos por dos mangueras, de grifos distintos. Una fuente de agua alternativa puede ser un estanque de agua contra incendio. Dependiendo del tipo de productos almacenados, se puede contar con sistemas de mangueras retráctiles, pitones de agua a presión o con espuma, y otros tipos de equipos como monitores de televisión, mantas contra el fuego, polvos químicos, etc.

Los extinguidores de tipo portátil deben ser seleccionados de acuerdo con los materiales almacenados, y deben ser colocados estratégicamente en lugares apropiados. Todo el material de detección y protección debe contar con una inspección y mantención en forma regular.

➤ **Medios de combate contra incendios**

Los medios de combate contra incendios deben escogerse de acuerdo a su modo de acción, y dependiendo de los materiales que se almacenen en las instalaciones.

- a) **Agua:** El agua actúa como un medio enfriante. Debe ser usada preferentemente en forma de rocío fino o de neblina en vez de un chorro. Esto permite aumentar el potencial de enfriamiento y prevenir la extensión del fuego. Sin embargo, se debe tener cuidado al usar grandes cantidades de agua para atacar incendios con productos tóxicos, debido al problema de la contaminación, o de los reactivos que pueden reaccionar con agua de manera peligrosa. Agua nunca debe utilizarse con reactivos tales como carburo de calcio, isocianatos, óxido de

calcio (caliza), ciertos compuestos de halógenos tales como cloruro de acetilo, cloruro de aluminio, y metales como sodio y calcio.

- b) **Polvos químicos secos:** Son generalmente efectivos sobre solventes inflamables, aerosoles, y productos que reaccionan adversamente con agua y también en incendios eléctricos. Los polvos químicos secos se utilizan normalmente de forma portátil en extinguidores para tratar fuegos de pequeña magnitud.
- c) **Dióxido de carbono y halones:** Los extinguidores de dióxido de carbono y los halones son generalmente efectivos para solventes inflamables y productos que reaccionan con agua y en incendios eléctricos. El uso de los fluoroclorocarbonos (halones) ha ido disminuyendo, debido a la destrucción de la capa de ozono.
- d) **Espumas:** Existen distintos tipos de espumas en el comercio, siendo recomendables para ciertas clases de productos químicos, pero se requiere una destreza especial para su aplicación, siendo preferible en la mayoría de los casos utilizar polvos químicos.

➤ **Combate del fuego**

En el caso de incendio, se deben efectuar las siguientes acciones en forma inmediata, y simultáneamente según el tipo de emergencia:

- a) Sonar la alarma y despejar el área de todo el personal, excepto de los que participan en la emergencia.
- b) Llamar a las brigadas contra incendio especiales del cuerpo de bomberos.
- c) Tratar de extinguirlo o al menos limitarlo y prevenir que se extienda a otras instalaciones.
- d) Asegurarse que los encargados de las instalaciones sean avisados y estén pendientes de la llegada del cuerpo de bomberos.

- e) Considerar la posibilidad de evacuar las instalaciones.
- f) Avisar a los servicios médicos correspondientes.

Para combatir el incendio, se deben tomar las siguientes medidas:

- a) Trabajar con el viento a favor y no en contra.
- b) Trabajar lo más lejos posible de la fuente del fuego y enfriar las instalaciones adyacentes con agua.

5.1.1.4 Operaciones de limpieza

Luego de ocurrido un accidente químico, se debe efectuar una limpieza total por personal experto para protección de las personas y para prevenir una mayor contaminación ambiental.

a) Acciones iniciales

El área afectada debe ser aislada y protegida para que no entre ninguna persona no autorizada. Se deben tomar precauciones para asegurar que no se muevan productos tóxicos fuera del área, y que el personal de limpieza esté en conocimiento de los riesgos y toxicidad de los productos y que cuente con la ropa de protección adecuada.

b) Procedimientos de limpieza

Se deben separar los materiales descontaminados de los contaminados para luego disponer en forma segura los residuos. La zona contaminada debe descontaminarse a través de métodos adecuados y conforme a las indicaciones de las hojas de seguridad respectivas.

Los residuos sólidos deben ser recolectados y puestos en contenedores herméticos, mientras que los productos líquidos deben ser absorbidos y recolectados y colocados en envases seguros y tratados como residuos peligrosos.

Se debe efectuar una notificación a las autoridades respectivas del plan de limpieza a efectuar. En muchos casos la cooperación y ayuda de las autoridades es muy útil, y deben estar completamente informadas.

c) Descontaminación de instalaciones y equipos

Los equipos, herramientas, e instalaciones deben ser descontaminados.

d) Protección personal

Para la protección personal en las operaciones de limpieza, se deben tomar las siguientes precauciones:

- a) Entregar las ropas de protección limpias y el equipamiento adecuado.
- b) Cuando se abandone el área se debe lavar y utilizar duchas de lavado con abundante jabón y agua para remover todas las trazas de productos químicos tóxicos y cambiar por ropas limpias.
- c) Lavar todas las ropas personales.
- d) Verificar todo posible síntoma de envenenamiento o intoxicación, ya que estos efectos pueden no aparecer inmediatamente.

5.1.2 Check List

Las Check List, o Listas de Control, reseñan los riesgos más importantes presentes en los distintos procesos de potabilización del agua y las medidas posibles de tomar para limitar estos riesgos o para lograr objetivos de seguridad. Lo que se pretende con esto, es constituir una herramienta de trabajo para las distintas Plantas de Tratamiento de Agua Potable, con el fin de determinar si se está o no llevando a cabo la prevención de riesgos y el cumplimiento de distintos objetivos de seguridad al interior de la planta. Sin embargo, la puesta en práctica de esta metodología es opcional y permanece bajo la responsabilidad de las empresas interesadas.

En el desarrollo de las Check List, que se encuentran en el Anexo C de este documento, se ha tenido principalmente en cuenta la Check List Chlore ^[11], del Ministerio del Empleo y el Trabajo de Bélgica, y fueron preparadas para las sustancias que presentan mayor riesgo de accidente al interior de la planta, y que corresponden a los procesos de cloración, fluoración y coagulación, tal como se expuso en el Capítulo 2. Estas sustancias son:

- Cloro
- Flúor
- Sulfato de aluminio líquido
- Sulfato de aluminio granulado
- Cloruro férrico

La Check List propuesta incluye:

- i) Estaciones de descarga de sustancias
- ii) Instalaciones de descarga
- iii) Almacenamiento de sustancias en lugares a la intemperie
- iv) Espacios cerrados que presenten riesgo de contaminación
- v) Estanques de mezcla y/o almacenamiento de sustancias
- vi) Camiones y vagones-cisterna directamente conectados a los usuarios de cloro
- vii) Evaporadores
- viii) Tuberías
- ix) Instalación de neutralización
- x) Intervención y plan de emergencia
- xi) Generalidades

En la primera columna de una Check List se muestran los riesgos (R) que deben controlarse o los objetivos (O) que deben ser logrados.

La segunda columna permite indicar si:

NA: El riesgo u objetivo no se aplica.

OK: El riesgo u objetivo se aplica y se adoptan algunas medidas específicas.

NOK: El riesgo u objetivo se aplica, pero no se ha tomado ninguna medida al respecto.

En la tercera columna se enumeran algunas medidas a tomar y la última columna es para anotar comentarios en caso que se requiera. La notación utilizada se muestra en la tabla 5.1. Sin embargo, las tablas del Anexo C tienen otro formato, donde se indica si los riesgos u objetivos son aplicables a las distintas sustancias y las posibles medidas.

Tabla 5.1 Notación Check List

Riesgos (R) –Objetivos (O)	NA/OK/NOK	Medidas	Comentarios
		Medida 1	
		Medida 2	
		Medida 3	

5.2 Medidas de Mitigación Frente a Accidentes Relacionados con el Uso de Insumos

La Real Academia Española define mitigar como “moderar, aplacar, disminuir o suavizar algo rugoso o áspero”. Se refiere, en el contexto de este documento, a las medidas necesarias y posibles que se deben tomar para disminuir o atenuar los efectos de un accidente químico una vez que éste ya ocurrió o está sucediendo. Mitigación no debe confundirse con prevención, puesto que esta última se refiere a la preparación y disposición que se hace anticipadamente para evitar un riesgo o ejecutar algo.

En el caso de que ocurra un accidente químico al interior de una planta de tratamiento de agua potable, se deben tomar medidas inmediatas para atenuarlo y así evitar que las consecuencias sean mayores. Los insumos más utilizados en los distintos procesos

de potabilización del agua, y que fueron abordados en el tercer capítulo, si no son bien manipulados y/o utilizados pueden provocar daños.

A continuación se indican las medidas de mitigación en caso de accidentes químicos para las sustancias que presentan mayor riesgo de accidente al interior de la planta, y que corresponden a sulfato de aluminio granulado, sulfato de aluminio líquido y cloruro férrico para el proceso de coagulación, cloro para la desinfección, y flúor para el proceso de fluoración. Éstas fueron tomadas principalmente de las Hojas de Seguridad de distintas empresas que comercializan dichos productos. Se consideró que las principales medidas corresponden a las que se deben tomar en caso de derrames y/o fugas, primeros auxilios, y medidas a tomar en caso de incendio y explosión, puesto que son las primeras acciones que deben tomarse en caso de accidente, contener los derrames y/o fugas para que no contaminen otras instalaciones, velar por la salud de los trabajadores y población en general y tomar decisiones rápidas y eficientes en caso de incendio y explosión.

Las medidas de mitigación de las sustancias que no aparecen en este capítulo, pero que sí fueron descritas en el Capítulo 3, serán abordadas en el Anexo D de este documento.

5.2.1 Medidas a tomar en caso de derrames y/o fugas

➤ Sulfato de Aluminio granulado

- Precauciones personales: respirador de filtro P2 contra partículas nocivas.
- Precauciones ambientales: esta sustancia puede ser peligrosa para el ambiente, debería prestarse especial atención a los peces.
- Métodos de limpieza: barrer la sustancia derramada e introducirla en un recipiente, si fuera necesario, humedecer el polvo para evitar la dispersión.

➤ **Sulfato de aluminio líquido**

Aislar la zona 25 metros alrededor. Recoger el material derramado usando un material absorbente como tierra, arena o aserrín. Lavar la zona con solución jabonosa, si es necesario neutralizar el suelo con bicarbonato de sodio o una solución de soda cáustica. Arrojar abundante agua a la zona del derrame. El personal de la brigada de emergencia debe contar con el equipo de protección completo.

➤ **Cloruro férrico en solución al 42%**

Fugas en operación: contener el derrame y remover el material a un contenedor adecuado. El material líquido se puede retirar con un camión de aspirado. Neutralizar con cal o ceniza de soda y enjuagar con agua la zona en la que se ha producido el derrame, si fuera necesario. Evitar que el material fluya hacia cursos de agua y alcantarillado.

➤ **Cloro**

• **Gas Cloro**

Fugas en operación: retirar las fuentes de ignición. Detener la fuga si es posible, sin que se corra riesgo personal. Considerar ubicar al personal en contra del viento respecto a la emanación. No aplicar agua a la fuga. Reacciona con el agua formando ácido clorhídrico. Evitar que el material fluya hacia cursos de agua y sistemas de desagüe.

• **Hipocloritos**

• Hipoclorito de Sodio

En caso de fugas en operación, retirar las fuentes de ignición. Detener la fuga si es posible, sin correr riesgo personal. Remover con una pala el material seco e introducirlo en un recipiente apropiado. El material líquido debe ser removido por un camión de aspirado. Evitar que el material fluya hacia cursos de agua y sistemas de desagüe. Considerar ubicar al personal en contra del viento y alejado de lugares bajos. La evacuación del lugar será necesaria cuando hay grandes derrames. Este material es

alcalino y puede elevar el pH de las aguas superficiales con una baja capacidad de tampón.

- Hipoclorito de Calcio

Ventilar el área. El personal de la brigada de emergencia, debe contar con el equipo de protección. Aislar el área de riesgo al menos 25 metros a la redonda. Eliminar las fuentes de ignición. Mantener el agua lejos del material derramado. Mantener fuera del área al personal no protegido. Proceder a recoger el material de manera que no genere polvos que vayan a ser dispersados por el viento. Usar herramientas anti explosivas. El material recogido debe depositarse en recipientes limpios y rotulados. No descargar a la alcantarilla producto concentrado. Recordar que la contaminación con material orgánico o combustible puede causar incendio o descomposición violenta. Si esto ocurre, inmediatamente empapar con abundante agua o barrer todo el material liberado con una pala y una escoba limpia y seca y disolver el material con agua. Este material debe ser usado inmediatamente en la aplicación normal para la cual se está consumiendo el hipoclorito de calcio; si esto no es posible, neutralizar cuidadosamente añadiendo agua oxigenada (474 cc de una solución al 35% de agua oxigenada por cada 454 g de hipoclorito de calcio que se va a ser neutralizado) y luego diluir el material con bastante agua.

➤ **Flúor**

- **Fluoruro de sodio**

Medidas en caso de fugas accidentales:

- Precauciones: evitar dispersar el polvo en nube.
- Métodos de limpieza: recoger el producto con ayuda de medidas apropiadas, evitando la formación de polvo. Poner todo en un recipiente cerrado, etiquetado y compatible con el producto. Limpiar el lugar con abundante agua.

- Precauciones para la protección del medio ambiente: notificar de inmediato a las autoridades competentes en caso de una descarga significativa. No verter en el medio ambiente (las alcantarillas, ríos, suelos, entre otros).

- **Fluorsilicato de sodio**

No verterlo al alcantarillado. Barrer la sustancia derramada e introducirla en un recipiente cerrado; si fuera necesario, humedecer el polvo para evitar su dispersión. Recoger cuidadosamente el residuo y trasladarlo a continuación a un lugar seguro. (Protección personal adicional: respirador de filtro P3 contra partículas tóxicas).

- **Ácido fluosilícico**

Recoger, en la medida de lo posible, el líquido que se derrama y el ya derramado en recipientes herméticos de hierro. Absorber el líquido residual en arena o absorbente inerte y trasladarlo a un lugar seguro. (Protección personal adicional: traje de protección completo incluyendo equipo autónomo de respiración).

5.2.2 Primeros auxilios

- **Sulfato de Aluminio granulado**

- En general: en todos los casos, luego de aplicar los primeros auxilios, derivar al médico.
- Contacto con la piel: aclarar la piel con abundante agua o ducharse.
- Contacto con los ojos: enjuagar con abundante agua durante varios minutos (quitar lentes de contacto si puede hacerse con facilidad).
- Inhalación: Aire limpio y reposo.
- Ingestión: enjuagar la boca. No provocar el vómito. Dar a beber agua abundante.

➤ **Sulfato de aluminio líquido**

- Inhalación: Si la víctima respira en forma acelerada, moverla hacia un lugar con aire fresco. Reposo y atención médica.
- Ingestión: Dirigido por personal médico, inducir vómito inmediatamente. Lavar la boca, dar abundante agua a beber, ó 1 litro de leche. Si la persona está inconsciente no administrar nada por la boca.
- Contacto con la piel: Lavar la piel con una solución jabonosa y enjuagar con abundante agua por lo menos durante 15 minutos. Enjuagar completamente la ropa y zapatos antes de usarlos nuevamente.
- Contacto con los ojos: Lavar inmediatamente con abundante agua por lo menos durante 15 minutos, levantar ocasionalmente los párpados superiores e inferiores. Solicitar atención médica.

➤ **Cloruro férrico en solución al 42%**

- En general: en todos los casos, luego de aplicar los primeros auxilios, derivar al médico.
- Inhalación: si ocurre una emergencia, llevar al afectado a un área descontaminada. Darle respiración artificial si no respira. Si la respiración es defectuosa, se debe administrar oxígeno por el personal calificado. Si se ha detenido la respiración o el pulso, recurrir a una persona calificada para que administre los primeros auxilios (reanimación cardiopulmonar o desfibrilador externo automático).
- Contacto con la piel: enjuagar inmediatamente con agua las zonas contaminadas. Remover ropa, joyas y zapatos contaminados inmediatamente. Lavar las zonas contaminadas con agua y jabón. Lavar y secar la ropa y zapatos contaminados antes de volver a utilizarlos.
- Contacto con los ojos: enjuagar inmediatamente los ojos con un chorro de agua directo durante al menos 15 minutos y mantener abiertos los párpados para garantizar que se aclare todo el ojo y los tejidos del párpado.

- Ingestión: nunca dar nada en la boca a una persona inconsciente o con convulsiones. Si tragó el producto, no inducir el vómito. Dar grandes cantidades de agua. Si vomita espontáneamente, mantener las vías aéreas despejadas. Dar más agua cuando haya dejado de vomitar.

➤ **Cloro**

- **Gas Cloro**

- Inhalación: si ocurre una emergencia, retirar al afectado del área contaminada. Dar respiración artificial. Si la respiración es dificultosa, se debe administrar oxígeno por personal calificado. Si la respiración o pulso están detenidos, personal entrenado debe aplicar resucitación cardiopulmonar y llamar a servicios de emergencia inmediatamente.
- Contacto con la piel: inmediatamente dejar correr el agua en las zonas afectadas. Sacar la ropa, joyas y zapatos. Lavar las zonas contaminadas con agua y jabón. Lavar y secar completamente las ropas y zapatos contaminados antes de volver a utilizarlos. Buscar atención médica inmediatamente.
- Contacto con los ojos: enjuagar inmediatamente los ojos con un chorro de agua directo durante al menos 15 minutos, y mantener abiertos los párpados para garantizar que se lave todo el ojo y los tejidos del párpado. Enjuagar los ojos en cuestión de segundos
- es esencial para lograr la máxima eficacia. Buscar atención médica inmediatamente.
- Ingestión: es poco probable que ocurra.

- **Hipocloritos**

- Hipoclorito de Sodio

- En general: buscar atención médica de inmediato.
- Inhalación: Si ocurre una emergencia, retirar al afectado del área contaminada. Dar respiración artificial si no está respirando. Si la respiración es dificultosa, se

debe administrar oxígeno por personal calificado. Si la respiración o pulso están detenidos, personal entrenado debe aplicar resucitación cardiopulmonar.

- Contacto con la piel: Dejar correr el agua en las zonas afectadas inmediatamente. Remover ropa, joyas y zapatos contaminados. Lavar las zonas contaminadas con agua y jabón. Lavar y secar completamente las ropas y zapatos contaminados antes de volver a utilizarlos.
- Contacto con los ojos: Enjuagar inmediatamente los ojos con un chorro de agua directo durante al menos 15 minutos, y mantener abiertos los párpados para garantizar que se lave todo el ojo y los tejidos del párpado. Enjuagar los ojos en cuestión de segundos es esencial para lograr la máxima eficacia.
- Ingestión: Nunca dar nada en la boca a una persona inconsciente o con convulsiones. Si tragó el producto, no inducir el vómito. Dar grandes cantidades de agua. Si vomita espontáneamente, mantener las vías aéreas despejadas. Dar más agua cuando haya dejado de vomitar.

- Hipoclorito de Calcio

- En general: en todos los casos solicitar atención médica.
- Inhalación: Procurar aire fresco. Si no respira, dar respiración artificial. Si la respiración es dificultosa, suministrar oxígeno.
- Ingestión: No inducir vómito. Dar grandes cantidades de agua. Si la persona está inconsciente no administrar nada por la boca. Solicitar inmediatamente atención médica.
- Contacto con la Piel: Lavar inmediatamente la piel con abundante agua, por lo menos durante 15 minutos mientras es removida la ropa y zapatos contaminados. Enjuagar completamente la ropa y zapatos antes de usarlos nuevamente.
- Contacto con los Ojos: Lavar inmediatamente los ojos con abundante agua por lo menos durante 15 minutos, levantar ocasionalmente los párpados superior e inferior.

➤ Flúor

• Fluoruro de sodio

- Inhalación: sacar al paciente de la zona polvorienta. Administrar oxígeno o resucitación cardiopulmonar, si es necesaria. En caso de síntomas respiratorios, consultar a un médico.
- Contacto con los ojos: en todos los casos consultar de inmediato a un oftalmólogo. Enjuagar los ojos con agua corriente durante 5 minutos, manteniendo los párpados bien abiertos. Enjuagar los ojos con una solución al 1% de gluconato de calcio en suero fisiológico (10 ml de gluconato de calcio al 10% en 90 ml de suero fisiológico) por 10 minutos. Seguir aplicando gluconato de calcio en los ojos con un gotero. Si no hay gluconato de calcio al 1% disponible, seguir enjuagando los ojos con agua. En caso de tener dificultad para abrir los párpados, administrar un colirio analgésico. No utilizar gotas aceitosas, ungüento o tratamientos para quemaduras dérmicas por HF.
- Contacto con la piel: quitar los zapatos, calcetines y ropa contaminados y lavar la piel con agua corriente durante 5 minutos. Colocar la ropa contaminada en una bolsa doble para eliminación. Aplicar inmediatamente gel de gluconato de calcio al 2,5%, masajeando el área afectada usando guates de hule; seguir masajeando al aplicar repetidamente el gel hasta 15 minutos después del alivio del dolor. Si el producto ha tocado los dedos y/o uñas, aunque no haya dolor, sumergirlos en un baño de gluconato de calcio al 5% de 15 a 20 minutos. Si no hay gluconato de calcio disponible, seguir aplicando agua por más tiempo (15 minutos). Proporcionar ropa limpia y en caso de que persista el dolor o el enrojecimiento, consultar a un médico.
- Ingestión: en todos los casos, consultar a un médico de inmediato.
 - Si la persona está completamente consciente: enjuagar la boca con agua fresca. Dar oralmente una solución de gluconato de calcio acuoso al 1%. Si la persona presenta trastornos nerviosos, respiratorios o cardiovasculares, administrar oxígeno. Administrar medidas clásicas de resucitación.

- Si la persona está inconsciente: nunca administrar nada a una persona inconsciente por la boca.

- **Fluorsilicato de sodio**

- Inhalación: aire limpio, reposo y proporcionar asistencia médica.
- Contacto con la piel: quitar las ropas contaminadas. Aclarar la piel con abundante agua o ducharse.
- Contacto con los ojos: enjuagar con abundante agua durante varios minutos (quitar lentes de contacto si puede hacerse con facilidad) y proporcionar asistencia médica.
- Ingestión: enjuagar la boca y proporcionar asistencia médica.

- **Ácido fluosilícico**

- En general: consultar al médico en todos los casos.
- Inhalación: aire limpio, reposo y posición de semi incorporado.
- Contacto con la piel: quitar las ropas contaminadas, aclarar la piel con abundante agua o ducharse.
- Contacto con los ojos: enjuagar con agua abundante durante varios minutos y quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad.
- Ingestión: enjuagar la boca y no provocar el vómito.

5.2.3 Medidas a tomar en caso de incendio y explosión

- **Sulfato de Aluminio granulado**

- Medidas de extinción apropiadas: en caso de incendio en el entorno están permitidos todos los agentes extintores.
- Equipos de protección personal aplicables: respirador de filtro P2 contra partículas nocivas.

- Instrucciones especiales para combatir el fuego: en caso de incendio mantener fríos los bidones y demás instalaciones rociando con agua.

➤ **Sulfato de aluminio líquido**

Por si solo no genera riesgos de fuego y explosión. Sometido al fuego, puede generar gases irritantes y tóxicos, incluidos óxidos de azufre y óxido de aluminio. En caso de incendio, proceder a enfriar con agua los envases. Los recipientes cerrados al ser calentados pueden reventar por incremento de la presión interna.

Medio para extinguir el fuego: Usar cualquier método adecuado para extinguir el fuego de los alrededores. (Agua, polvo químico, dióxido de carbono o espuma química).

Información Especial: Los bomberos deben colocarse el traje completo de protección: equipo de respiración autónoma y traje aislante impermeable.

➤ **Cloruro férrico en solución al 42%**

La solución de cloruro férrico 42% no es inflamable ni explosiva. Sin embargo, en contacto con el fuego produce gases corrosivos, irritantes y tóxicos.

Para la extinción de incendios pequeños, usar extintores portátiles de polvo químico seco multipropósito de potencial de extinción certificado. Para incendios grandes, usar extintores de polvo químico seco multipropósito, de espuma resistente al alcohol. También se puede utilizar CO₂.

No se debe verter agua en chorro directo sobre el producto derramado. Hacer diques para que el producto no se expanda y no llegue al alcantarillado ni a cursos de agua. Enfriar con agua los recipientes expuestos a las llamas hasta normalizar la temperatura.

➤ **Cloro**

• **Gas Cloro**

- Peligros de fuego y explosión: riesgo insignificante de fuego. Oxidante. En contacto con materiales combustibles puede encenderse o explotar. Puede reaccionar explosivamente al contacto con materiales orgánicos.
- Medio de extinción: usar agentes de extinción apropiados para fuego circundante.
- Combate del fuego: Hacer salir al personal que no sea esencial, aislar la zona de riesgo y prohibir la entrada. Si se puede hacer sin riesgo, retirar el recipiente del área de incendio. Enfriar con agua los tambores que no están fugando. Evitar la inhalación del material o de los productos de la combustión. Mantener al personal en contra del viento con respecto a la fuga y alejados de lugares bajos. Usar equipo de respiración autónomo de presión positiva aprobado por NIOSH.

• **Hipocloritos**

• Hipoclorito de Sodio

- Peligros de fuego y explosión: Puede liberar gases tóxicos.
- Medio de extinción: Usar agentes de extinción apropiados para el fuego circundante.
- Combate del fuego: Usar equipo de respiración autónomo. Si se puede hacer sin riesgo, retirar el recipiente del área de incendio. Evitar la inhalación del material o de los productos de la combustión. Mantenerse en contra del viento con respecto a la fuga y alejarse de lugares bajos.

• Hipoclorito de Calcio

- Incendio y explosión: por sí solo no genera riesgos de fuego, pero esta sustancia es un agente oxidante fuerte y su calor de reacción con agentes reductores o combustibles puede causar ignición. Este producto se descompone al calentarse e involucrado en un incendio puede explotar. Con materiales orgánicos

(hidrocarburos) o agentes oxidantes produce una reacción explosiva y puede encender otros materiales combustibles (madera, papel, telas, etc.).

- Medio para extinguir el fuego: usar abundante agua en forma de niebla o spray. Enfriar los recipientes expuestos al fuego. Evitar el contacto directo del agua con el producto, ya que la reacción con agua libera cloro gas. Combatir el fuego a máxima distancia. No utilizar polvo químico seco a base de compuestos de amonio, ya que se puede dar lugar a una explosión. No permitir que el agua fluya hacia alcantarillas o fuentes de agua.

➤ **Flúor**

- **Fluoruro de sodio**

En caso de incendio en los alrededores, todas las medidas de extinción son aceptables.

- **Fluorsilicato de sodio**

En caso de incendio en el entorno: están permitidos todos los agentes extintores.

- **Ácido fluosilícico**

En caso de incendio en el entorno: están permitidos todos los agentes extintores.

6 Conclusiones y Recomendaciones

Este documento constituye una herramienta que no previene accidentes químicos al interior de una Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP), pero sí entrega pautas y recomendaciones para hacerlo y/o mitigarlos, en caso de que de éstos ocurran de todas formas.

Toda PTAP debe contar con una guía de prevención y mitigación de accidentes químicos, puesto que gran cantidad de sustancias peligrosas son utilizadas al interior de ésta, exponiendo no sólo a los trabajadores, sino que también a las poblaciones cercanas, los bienes y al medioambiente. Aunque algunas medidas presuponen una inversión, debe tenerse en cuenta que reducir la vulnerabilidad minimiza las pérdidas y evita inversiones luego de ocurrido un desastre, las que generalmente son muy costosas. Además, es importante que esta guía dé patrones de prevención y mitigación en otras situaciones de emergencia, como accidentes producto de fallas eléctricas, mecánicas, o incluso desastres naturales.

Capacitar al personal en la manipulación de sustancias peligrosas es una de las primeras medidas a considerar, puesto que de ellos depende, en gran parte, que no haya fallas producto de una mala manipulación, y son quienes deben tomar las primeras medidas en caso de emergencia.

Como primera parte de este Trabajo de Título, se estudió la normativa nacional y extranjera aplicable a una PTAP, donde es posible destacar que en Europa, y principalmente en España, existe normativa relativa a la prevención de accidentes graves en que intervengan sustancias peligrosas, estableciendo requisitos y procedimientos a ser considerados por el industrial, mientras que en Chile, aunque el tema de prevención de accidentes está tomando cada vez más fuerza, la normativa es más general, haciendo referencia al uso de los distintos insumos y no estableciendo criterios de prevención de accidentes.

Para la confección de esta guía se consideró el esquema general de una Planta de Tratamiento (Figura 3.1). En el caso de que el agua a tratar provenga de una fuente superficial, se tienen generalmente las siguientes etapas: pretratamiento de desarenación, pudiendo o no contar con acondicionamiento del agua antes o después, sedimentación mediante proceso físico-químico de coagulación-floculación, filtración por arena, desinfección y fluoración. Los insumos más utilizados en cada uno de los distintos procesos se mencionan a continuación:

- **Acondicionamiento:** cal viva, soda cáustica sólida
- **Coagulación:** sulfato de aluminio granulado, sulfato de aluminio líquido, cloruro férrico en solución, sulfato férrico en solución y sulfato ferroso.
- **Desinfección:** gas cloro, hipoclorito de sodio, hipoclorito de calcio, ozono y dióxido de cloro.
- **Fluoración:** fluoruro de sodio, fluorsilicato de sodio y ácido fluosilícico.
- **Neutralización del cloro:** soda cáustica en solución.

En el Capítulo 3 se presentaron las características generales de estas sustancias y las propiedades físico-químicas y los potenciales efectos sobre la salud de las personas se abordan en el Anexo A de este documento. De lo anterior se desprende que los procesos de potabilización del agua que generan mayor riesgo de accidente son coagulación, desinfección y fluoración. Las sustancias más utilizadas en Chile en estos procesos son:

- Sulfato de aluminio líquido
- Sulfato de aluminio granulado
- Cloruro férrico
- Cloro
- Flúor

La manipulación de éste último genera gran riesgo de accidente a los trabajadores que lo manipulan, dada su alta toxicidad, sin embargo, un escape de cloro sería de mayor peligrosidad, o bien sus consecuencias serían mayores, dado que no sólo afectaría a

los trabajadores, sino que a las poblaciones cercanas y al medioambiente, dada la nube tóxica generada.

Las medidas generales a considerar para la prevención de accidentes corresponden a localización y edificios, almacenamiento de sustancias peligrosas, procedimientos de emergencia generales y operaciones de limpieza. Además, para las sustancias que generan un mayor riesgo, y que fueron enunciadas anteriormente, se construyó una Check List, que se encuentra en el Anexo C, y que corresponde a una Lista de Control que reseña los riesgos más importantes presentes en los distintos procesos de potabilización del agua y las medidas posibles de tomar para limitar estos riesgos o para lograr objetivos de seguridad. Lo que se pretende con esto, es constituir una herramienta de trabajo para las distintas Plantas de Tratamiento de Agua Potable, con el fin de determinar si se está o no llevando a cabo la prevención de riesgos y el cumplimiento de distintos objetivos de seguridad al interior de la planta. Sin embargo, la puesta en práctica de esta metodología es opcional y permanece bajo la responsabilidad de las empresas interesadas.

Si las acciones preventivas fueron tomadas y aún así ocurre un accidente, o bien, éstas no fueron implementadas, debe lograrse lo más rápido posible y en forma eficiente la disminución de los efectos del accidente químico y así evitar que las consecuencias sean mayores. Es en esta parte donde se hacen necesarias las medidas de mitigación. En general, las medidas de mitigación fueron tomadas de las Hojas de Seguridad de las distintas empresas que comercializan los insumos utilizados al interior de la planta y corresponden a las que se deben tomar en caso de derrames y/o fugas, primeros auxilios, y medidas a tomar en caso de incendio y explosión, puesto que son las primeras acciones que deben llevarse a cabo en caso de accidente, contener los derrames y/o fugas para que no contaminen otras instalaciones, velar por la salud de los trabajadores y población en general y tomar decisiones rápidas y eficientes en caso de incendio y explosión.

Todos los derrames o fugas de materiales peligrosos deben ser atacados inmediatamente. Los derrames líquidos deben ser absorbidos en un sólido absorbente adecuado, como arena, polvo de ladrillo o aserrín. Los sólidos derramados deben ser aspirados con aspiradoras industriales o bien con palas y escobas, minimizando la generación de polvo. Un escape de cloro al medioambiente puede evitarse mediante la instalación de una planta de neutralización de sus vapores. Estos sistemas se basan en la reacción química que ocurre cuando entran en contacto cloro gaseoso y una solución alcalina, generalmente solución acuosa al 20% de soda cáustica. Las causas más frecuentes de fugas de cloro son originadas por pérdidas a través de válvulas, tapones roscados y pérdidas debidas a perforaciones del recipiente.

Las medidas de primeros auxilios generales son las siguientes:

- **En general:** obtener asistencia médica profesional.
- **Inhalación:** llevar a la persona afectada inmediatamente al aire libre.
- **Contacto con la piel:** lavar pronta y profusamente con agua, después de remover toda la ropa contaminada. Ésta debe ser dispuesta en bolsas plásticas para posterior descontaminación o disposición.
- **Contacto con los ojos:** lavar profusamente con agua por, al menos, 15 minutos.
- **Ingestión:** no inducir al vómito, a menos que sea indicado por asesoría médica o lo indique la hoja de seguridad.

En caso de incendio, la alarma debe sonar en forma inmediata y se debe llamar al cuerpo de bomberos. Sólo personal calificado debe tratar de extinguir el fuego, o al menos limitarlo, y se debe trabajar con el viento a favor y enfriar las instalaciones adyacentes con agua.

Los equipos de emergencia y seguridad deben ser revisados constantemente y mantenidos en forma adecuada para su uso eventual. Los equipamientos de protección personal deben estar descontaminados y deben ser limpiados luego de su utilización.

Las medidas señaladas anteriormente para cada tema son factibles de implementar, dando mayor seguridad a las instalaciones, y a la PTAP en general.

Además de accidentes químicos, deben considerarse otros tipos de amenazas, como son vandalismo, actos criminales, sabotaje, violencia en el lugar de trabajo, llegando incluso a terrorismo, los que pueden ocasionar interrupción en el servicio de agua potable, originar pérdidas al interior de ésta, y variados accidentes. Se deben tomar medidas para las distintas situaciones de emergencia que puedan acontecer, a fin de evitar la ocurrencia de estos incidentes o minimizar sus efectos.

En Chile es poco probable que ocurran actos terroristas al interior de las plantas, puesto que por lo menos no ha ocurrido en los últimos años, incluso cuando sí sucedían en otro tipo de servicios, pero no de primera necesidad. Además, se cree que las próximas guerras serán por el agua, donde ésta, a diferencia del petróleo no tiene sustitutos, es un recurso natural, vital y escaso de un valor incalculable. Latinoamérica cuenta con una gran cantidad de recursos hídricos. Con el 12% de la población mundial, posee el 47% de las reservas de agua potable de superficie y subterránea del planeta. Sin embargo, esto no tiene relación con plantas de tratamiento, donde el agua utilizada es muy poca comparada con el Río Amazonas o el Acuífero Guaraní que comparten Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay, que corresponde a la tercera reserva de agua subterránea más importante del mundo.

El primer paso para construir un sistema de seguridad sólido es saber cuáles son los activos que deben ser protegidos, las amenazas a las que se está expuesto, y la probabilidad y consecuencia de ataques a estos activos. Posteriormente se debe considerar cuáles de éstos son más vulnerables, con el fin de brindarles una mayor protección. La protección se puede originar comenzando con la generación de conciencia sobre ésta a los empleados, hasta seguridad física, que incluye control en los accesos y guardias de seguridad, entre otros puntos, abordados en el Capítulo 4.

Se establecen, también, metodologías para calcular la vulnerabilidad de las personas y del medio ambiente frente a los accidentes químicos.

La vulnerabilidad de las personas fue tomada principalmente de las Notas Técnicas de Prevención, NTP 291 ^[18], donde se utiliza el método Probit, correspondiente a un método estadístico que da una relación entre la función de probabilidad y una determinada carga de exposición al riesgo. Este método se puede emplear para determinar el porcentaje de personas afectadas por intoxicación, por radiación térmica y por sobrepresión.

Para estimar y valorar el riesgo medioambiental, puede utilizarse una metodología establecida en la “Guía para la realización del análisis del riesgo medioambiental” ^[6], recomendada por la Dirección General de Protección Civil de España. En esta metodología se debe estimar el Índice Global de Consecuencias Medioambientales (IGCM), cuyo valor va de 1 a 20 y la probabilidad o frecuencia asociados al escenario accidental, para a continuación, obtener un Valor o Índice de Riesgo Medioambiental, y proceder finalmente a la evaluación y análisis de la tolerabilidad de ese riesgo. El detalle de cómo obtener el IGCM se encuentra en el Anexo B de este documento.

Para obtener el Índice o Valor de Riesgo Medioambiental, se debe multiplicar el IGCM por la probabilidad/frecuencia de ocurrencia de cada escenario, cuyo valor varía entre 1 y 5. El índice o valor de riesgo medioambiental resultante será un valor que de manera absoluta tendrá asignado un número de 1 a 100, que por sí sólo no puede dar una idea de la gravedad del escenario estudiado y será necesario considerar dicho índice o valor en función de los dos componentes que lo definen, que son el IGCM y la probabilidad o frecuencia de ocurrencia del escenario.

De esta “Guía de Prevención y Mitigación de Accidentes Químicos en una Planta de Tratamiento de Agua Potable”, y como ya fue mencionado, se tienen las medidas de prevención generales contra accidentes químicos al interior de la PTAP, y medidas

específicas, en la Check List, para los insumos más utilizados y que corresponden a los procesos que generan más riesgo. Lo más importante es prevenir accidentes, y así no exponer a los trabajadores, a las poblaciones cercanas, las instalaciones y el medio ambiente.

Bibliografía

1. Accidentes Graves. Disponible en web:
<http://www.unizar.es/guiar/1/Accident/Accidentes.htm>
2. Ahumada, G; 2006; Apuntes de Curso Procesos de Tratamiento de Agua Potable; Universidad de Chile.
3. Ahumada, G; 2006; Seminario “Vulnerabilidad de abastecimiento de agua potable y aspectos normativos de calidad de servicios”; Criterios de seguridad de infraestructura en sistemas de agua potable; AIDIS; Chile.
4. Arboleda, J; 2000; Teoría y Práctica de la Purificación del Agua; Mc-Graw Hill.
5. Control de las emisiones accidentales de Cl₂; 2005; Boletín Técnico Eco Tech System; 4° edición.
6. Dirección General de Protección Civil y Emergencias; Guía para la realización del análisis del riesgo medioambiental.
Disponible en web: http://www.proteccioncivil.org/peq/g_rarm_presen.htm
7. Directiva 2003/105/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 2003, por la que se modifica la Directiva 96/82/CE del Consejo relativa al control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas.
8. Directiva 96/82/CE del Consejo, de 9 de diciembre de 1996, relativa al control de riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas.
9. Hallcrest Systems, Inc.; 2001; Site Security Guidelines for the U.S. Chemical Industry.
10. Márquez, R; Manejo Seguro de Sustancias Peligrosas; Departamento de Ingeniería Química, Universidad de Concepción. Disponible en web:
http://www.udec.cl/matpel/cursos/sustancias_peligrosas.pdf
11. Ministère de l'Emploi et du Travail - Administration de la Securite du Travail - Direction Risques Chimiques; 1996; Bélgica; Check – List Chlore.
12. Ministerio de Salud; 1969; Decreto Supremo N°735; Reglamento de los servicios de agua destinados al consumo humano, que deroga el Decreto N°1132, de 3 de mayo de 1952, del ex ministerio de salubridad, previsión y asistencia social.
13. Ministerio de Salud; 1998; Normas de uso de fluoruros en la prevención odontológica.
14. Ministerio de Salud; Decreto Supremo N°131; 2006. Modifica el D.S. N°735 de 1969 de salud, Reglamento de los servicios de agua destinados al consumo humano.
15. Ministerio de Salud; Decreto Supremo N°148. Reglamento sanitario sobre manejo de residuos peligrosos.

16. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales de España; NTP 291: Modelos de vulnerabilidad de las personas por accidentes mayores: método Probit
17. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales de España; Real Decreto 1254/1999, de 16 de julio, por el que se aprueban medidas de control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas.
18. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales de España; Real Decreto 379/2001 de 6 de abril, por el que se aprueba el Reglamento de almacenamiento de productos químicos y sus instrucciones técnicas complementarias; ITC MIE APQ-3: Almacenamiento de Cloro.
19. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales de España; Real Decreto 1196/2003, de 19 de septiembre, por el que se aprueba la directriz básica de protección civil para el control y planificación ante el riesgo de accidentes graves en los que intervienen sustancias peligrosas.
20. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales de España; Real Decreto 119/2005, de 4 de febrero, por el que se modifica el Real Decreto 1254/1999, de 16 de julio, por el que se aprueban medidas de control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas.
21. Norma Chilena Oficial; NCh1194/1.Of97. Cloro líquido para uso industrial – Parte 1: Especificaciones.
22. Norma Chilena Oficial; NCh1194/2.Of97. Cloro líquido – Parte 2: Métodos de análisis.
23. Norma Chilena Oficial; NCh2120/1-2004. Sustancias peligrosas – Parte 1: Clase 1 – Explosivos.
24. Norma Chilena Oficial; NCh2120/2-2004. Sustancias peligrosas – Parte 2: Clase 2 – Gases.
25. Norma Chilena Oficial; NCh2120/3-2004. Sustancias peligrosas – Parte 3: Clase 3 – Líquidos inflamables.
26. Norma Chilena Oficial; NCh2120/4-2004. Sustancias peligrosas – Parte 4: Clase 4 – Sólidos inflamables, sustancias que pueden experimentar combustión espontánea y sustancias que en contacto con el agua desprenden gases inflamables.
27. Norma Chilena Oficial; NCh2120/5-2004. Sustancias peligrosas – Parte 5: Clase 5 – Sustancias comburentes y peróxidos orgánicos.
28. Norma Chilena Oficial; NCh2120/6-2004. Sustancias peligrosas – Parte 6: Clase 6 – Sustancias tóxicas y sustancias infecciosas.
29. Norma Chilena Oficial; NCh2120/7-2004. Sustancias peligrosas – Parte 7: Clase 7 – Sustancias radiactivas.
30. Norma Chilena Oficial; NCh2120/8-2004. Sustancias peligrosas – Parte 8: Clase 8 – Sustancias corrosivas.

31. Norma Chilena Oficial; NCh2120/9-2004. Sustancias peligrosas – Parte 9: Clase 9 – Sustancias y objetos peligrosos varios.
32. Norma Chilena Oficial; NCh382-2004. Sustancias peligrosas – Clasificación general.
33. Norma Chilena Oficial; NCh389.Of74. Sustancias peligrosas – Almacenamiento de sólidos, líquidos y gases inflamables – Medidas generales de seguridad.
34. Pizarro, S; 2005; Análisis de Riesgos en una Planta de Química Fina Ubicada en Zona Urbana; Universidad Politécnica de Cataluña, Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona.
35. Potabilización de aguas naturales. Disponible en web:
<http://www.puc.cl/quimica/agua/potabiliz.htm>
36. Revista Agua-Tecnología y Tratamiento-Saneamiento Ambiental; 2007; La Importancia de los Sistemas de Seguridad en Instalaciones de Cloración a partir de Cloro; año 25, N°135. Disponible en web: <http://www.aguamarket.com/sql/temas_interes/006.asp>.
37. Superintendencia de Servicios Sanitarios; 1994; ORD. N°413. Cloración del Agua Potable.

Páginas web:

38. http://www.astralpool.com/export/resources/documents/es/120E-1105-01MSDSastral_x135kbx.pdf
39. http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts184.html
40. <http://www.cloro.info/index.asp?page=643>
41. <http://www.ecosur.net/Sustancias%20Peligrosas/ozono.html>
42. http://www.ecosur.net/Sustancias%20Peligrosas/sulfato_de_aluminio.html
43. http://www.e-seia.cl/archivos/1e9_HDSHipocloritoDeSodio_OFICIAL1.pdf
44. <http://www.e-seia.cl/archivos/20070829.142431.pdf>
45. http://www.e-seia.cl/archivos/4d1_Hoja_de_Datos_SodaCausticaLiquida_OFICIAL.pdf
46. <http://www.jtbaker.com/msds/englishhtml/f1802.htm>
47. <http://www.mtas.es/insht/ipcsnspn/nspn0127.htm>
48. <http://www.mtas.es/insht/ipcsnspn/nspn0409.htm>
49. <http://www.mtas.es/insht/ipcsnspn/nspn1119.htm>
50. <http://www.mtas.es/insht/ipcsnspn/nspn1233.htm>

51. <http://www.mtas.es/insht/ipcsnspn/nspn1243.htm>
52. http://www.oxychile.cl/..%5CElementosInternetOXY%5CProductos%5CCloroLiquido/CloroLiquido_OFICIAL.pdf
53. http://www.oxychile.cl/ElementosInternetOXY/Productos/CloruroFerrico/HDSCloruroFerrico_OFICIAL.pdf
54. http://www.proquimsaec.com/PDF/HojaSeguridad/HS_Hipoclorito_de_Calcio.pdf
55. http://www.proquimsaec.com/PDF/HojaSeguridad/HS_Hipoclorito_de_Calcio.pdf
56. http://www.proquimsaec.com/PDF/HojaSeguridad/HS_Sulfato_de_Aluminio_Liquido.pdf
57. <http://www.quimicadelsur.cl/upload/HipocloritodeSodio.pdf>
58. <http://www.quimicadelsur.cl/upload/SULFATOFERRICOCOMPLETA.pdf>
59. <http://www.quimicadelsur.cl/upload/sulfatoferrosocristalizadoCOMPLETA.pdf>
60. http://www.registrocdt.cl/fichas%20especificas/listado_fichas/fichas/c02/INACESA_cal_viva_hidra/descargas/pdf/cales.pdf
61. <http://www.solvaychemicals.us/static/wma/pdf/5/1/5/8/NAF-sp.pdf>
62. http://www.toxicologia.cl/descargas/FICHAS/HIPOCLORITO%20DE%20CALCIO_FICHA.pdf

ANEXO A

Propiedades físico-químicas y potenciales efectos sobre la salud

A continuación se presentan las propiedades físico-químicas y los potenciales efectos sobre la salud de las personas de las sustancias más utilizadas en el proceso de potabilización del agua que aparecen en el Capítulo 3. Estas propiedades fueron tomadas en su mayoría de las Hojas de Seguridad de distintas empresas que comercializan estos productos.

Coagulación-Floculación del Agua

Coagulación con Sales de Aluminio

Tabla A.1 Propiedades físico-químicas del Sulfato de Aluminio

Aspecto y color	Polvo cristalino blanco brillante
Olor	Inodoro
Densidad relativa (agua=1)	2,71
Solubilidad en agua	Elevada
Peso molecular	342,14

Fuente: Ecosur^[42]

Tabla A.2 Potenciales efectos sobre la salud del Sulfato de Aluminio

Contacto con la piel	enrojecimiento, dolor
Contacto con los ojos	enrojecimiento, quemaduras profundas graves
Inhalación	Tos, jadeo, dolor de garganta
Ingestión	Corrosivo. Dolor abdominal, sensación de quemazón, náuseas, vómitos

Fuente: Ecosur^[42]

Tabla A.3 Propiedades físico-químicas del Sulfato de Aluminio líquido

Apariencia y color:	Líquido ámbar.
Densidad a 25°C:	1,315-1,320
pH de la solución al 1%:	3,5

Fuente: Proquimsa ^[56]

Tabla A.4 Potenciales efectos sobre la salud del Sulfato de Aluminio líquido

Contacto con la piel:	Irritación, enrojecimiento.
Contacto con los ojos:	Irritación, enrojecimiento, ardor severo.
Inhalación:	Tensión y dolor en el pecho, tos, dificultad para respirar, dolor de garganta.
Ingestión:	Náuseas, vómitos, irritación gastrointestinal.

Fuente: Proquimsa ^[56]

Coagulación con Sales de Hierro

Tabla A.5 Propiedades físico-químicas del Cloruro férrico en solución al 42%

Estado físico:	Líquido
Apariencia:	Opaco
Color:	Café rojizo
Olor:	Débil a ácido clorhídrico
Punto de ebullición:	110°C
Punto de congelación:	-9°C

Fuente: OxyChile ^[53]

Tabla A.6 Potenciales efectos sobre la salud del Cloruro férrico en solución al 42%

	Exposición a corto plazo	Exposición prolongada
Contacto con la piel:	Irritación, quemaduras	Dermatitis
Contacto con los ojos:	Irritación y posibles quemaduras	Disturbios visuales
Inhalación:	Irritación, quemaduras, edema pulmonar	
Ingestión:	Irritación y quemaduras en boca, esófago y estómago. Puede provocar náuseas y vómitos	Repetidas ingestiones pueden provocar daño al hígado

Fuente: OxyChile ^[53]

Tabla A.7 Propiedades físico-químicas del Sulfato férrico en solución

Estado físico:	Líquido.
Forma en que se presenta:	Líquido
Color:	Líquido negro
Olor:	Inodoro
pH:	1,0 – 1,5
Temperatura de descomposición:	480°C
Densidad a 20°C:	1,46 gr/cm ³
Temperatura de congelación:	-20 a -30°C

Fuente: Química del Sur y Cía. Ltda. ^[58]

Tabla A.8 Potenciales efectos sobre la salud del Sulfato férrico en solución

	Sobreexposición aguda (por una vez)
Contacto con la piel:	En caso de contacto severo se pueden producir quemaduras químicas
Contacto con los ojos:	En caso de contacto severo se pueden producir quemaduras químicas.
Inhalación:	Irritación en nariz y garganta
Ingestión:	Gastritis severa con dolor abdominal, los vómitos vienen después de 10 a 60 minutos después de la ingestión. Diarrea y deshidratación. Pulso rápido y débil, sensación de fatiga

Fuente: Química del Sur y Cía. Ltda. ^[58]

Tabla A.9 Propiedades físico-químicas del Sulfato ferroso

Apariencia:	Cristales azul-verdes
Olor:	Inodoro
Densidad:	1,90
Peso molecular:	278
Punto de ebullición:	>300°C se descompone

Fuente: J. T. Baker ^[46]

Tabla A.10 Potenciales efectos sobre la salud Sulfato ferroso

Contacto con la piel:	Causa irritación. Los síntomas incluyen enrojecimiento, picazón y dolor.
Inhalación:	Causa irritación en el tracto respiratorio. Los síntomas pueden incluir tos y obstrucción de la respiración.
Ingestión:	Baja toxicidad en cantidades pequeñas, pero dosis mayores pueden causar náuseas, vómitos y diarrea. Orina de color rosada es indicadora de un fuerte envenenamiento por hierro. Se han registrado daños, coma y muerte del hígado por envenenamiento. Dosis menores son mucho más tóxicas en los niños.
Exposición crónica:	Envenenamientos severos o crónicos provocados por el sulfato ferroso pueden dañar los vasos sanguíneos. Grandes dosis crónicas causan raquitismo en infantes. La exposición crónica puede causar daños al hígado. La exposición prolongada de los ojos puede causar decoloración.

Fuente: J. T. Baker^[46]

Desinfección del Agua

Cloro

Tabla A.11 Propiedades físico-químicas del Cloro

Fórmula	Cl ₂	Cl ₂
Peso molecular	70,90	70,90
Estado	Gas	Líquido
Color	Verde	Verde
Peso específico (aire=1, agua=1)	2,48 0°C	1,41 20°C
Punto de congelación		-100,98°C
Punto de ebullición	-34,5°C (1 at)	-35,5°C (1 at)

Fuente: Teoría y Práctica de la purificación del agua^[4]

Tabla A.12 Potenciales efectos del Cloro sobre la salud

	Exposición a corto plazo	Exposición prolongada
Contacto con los ojos:	Quemaduras.	Problemas visuales.
Contacto con la piel:	Quemaduras.	Dermatitis.
Inhalación:	Irritación (posiblemente severa), quemaduras químicas, edema pulmonar.	
Ingestión:	Es poco probable que ocurra.	Es poco probable que ocurra.

Fuente: OxyChile ^[52]**Tabla A.13 Propiedades físico-químicas del Hipoclorito de Sodio**

Estado físico:	Líquido.
Olor:	Dulzaino desagradable.
Color:	Transparente a amarillo pálido.
Punto de ebullición:	110°C
Gravedad específica (agua=1):	1,27
Solubilidad:	El sólido se disuelve en agua fría; en agua caliente descompone.
pH:	12

Fuente: Fichas Internacionales de Seguridad Química. MTAS. ^[49]**Tabla A.14 Potenciales efectos del Hipoclorito de Sodio sobre la salud**

Contacto con la piel:	Quemaduras, pudiendo llegar a provocar dermatitis si la exposición es prolongada.
Contacto con los ojos:	Quemaduras, daño a la vista, ceguera.
Inhalación:	Quemaduras, tos, edema pulmonar.
Ingestión:	Quemaduras.

Fuente: Fichas Internacionales de Seguridad Química. MTAS. ^[49]**Tabla A.15 Propiedades físico-químicas del Hipoclorito de Calcio**

Estado físico:	Sólido o solución.
Color:	Blanco.
Olor:	Fuerte olor a cloro.
Densidad relativa (20°C)	2,35

Fuente: Toxicología ^[62]

Tabla A.16 Potenciales efectos del Hipoclorito de Calcio sobre la salud

Contacto con la piel:	Puede causar enrojecimiento, dolor y severa quemadura con presencia de ampollas.
Contacto con los ojos:	El contacto puede causar visión borrosa, enrojecimiento, dolor y quemadura del tejido ocular.
Inhalación:	Destruye las mucosas y el tracto respiratorio superior. Los síntomas pueden incluir sensación de quemazón, tos, dolor de cabeza, respiración dificultosa, náuseas, vómitos. Finalmente puede resultar una neumonitis química y edema pulmonar.
Ingestión:	Puede causar una severa corrosión en la boca, garganta y estómago. Otros síntomas incluyen vómito, colapso circulatorio, confusión, coma y hasta la muerte. Puede causar edema en la faringe, glotis y laringe y perforación del esófago y del estómago.
Exposición crónica:	Repetida exposición al hipoclorito de calcio puede causar bronquitis con tos y respiración dificultosa.

Fuente: Proquimsa S.A. ^[54]

Ozono

Tabla A.17 Propiedades físico-químicas del Ozono

Aspecto y color:	Gas incoloro o azul disuelto en halones a presión.
Olor:	Característico.
Presión de vapor:	5500 kPa a -12°C
Densidad relativa de vapor (aire=1):	1,6
Punto de ebullición:	-112°C
Peso molecular:	48

Fuente: Ecosur ^[41]

Tabla A.18 Potenciales efectos del Ozono sobre la salud

Contacto con la piel:	En contacto con líquido produce congelación.
Contacto con los ojos:	Enrojecimiento, dolor, pérdida de visión.
Inhalación:	Tos, dolor de cabeza, jadeo, dolor de garganta, edema pulmonar, reacción asmática, alteración de conciencia.

Fuente: Ecosur ^[41]

Dióxido de Cloro

Tabla A.19 Propiedades físico-químicas del Dióxido de cloro

Aspecto y color:	Gas entre rojo y amarillo.
Olor:	Acre.
Presión de vapor:	101 kPa a 20°C
Densidad relativa de vapor (agua=1):	2,3
Punto de ebullición:	11°C
Punto de fusión:	-59°C
Peso molecular:	67,5

Fuente: Fichas Internacionales de Seguridad Química ^[47]

Tabla A.20 Potenciales efectos del dióxido de cloro sobre la salud

Contacto con la piel:	Corrosivo. Enrojecimiento, quemaduras cutáneas graves, dolor.
Contacto con los ojos:	Corrosivo. Enrojecimiento, dolor, visión borrosa.
Inhalación:	Corrosivo. Tos, dificultad respiratoria, jadeo, dolor de garganta, náuseas, edema pulmonar. Puede afectar el pulmón, dando lugar a bronquitis crónica en caso de exposición prolongada.
Ingestión:	La sustancia puede causar erosiones dentales en caso de ingestión prolongada.

Fuente: Fichas Internacionales de Seguridad Química ^[47]

Fluoración del Agua

Tabla A.21 Propiedades físico-químicas del Fluoruro de sodio

Aspecto:	polvo cristalino.
Color:	blanco.
Olor:	inodoro.
Punto de fusión:	995°C
Punto de ebullición:	1695°C
Densidad relativa: gravedad específica (agua=1):	2,5-2,6
Peso molecular:	42

Fuente: Solvaychemicals ^[61]

Tabla A.22 Potenciales efectos del Fluoruro de sodio sobre la salud

Contacto con la piel:	Irritación. En caso de contacto repetido: riesgo de quemaduras.
Contacto con los ojos:	Irritación severa de los ojos, lagrimeo y enrojecimiento de los ojos. Riesgo de lesiones oculares temporales.
Inhalación:	Irritación de la nariz y garganta. Tos. En altas concentraciones, riesgo de hipocalcemia con trastornos nerviosos (tetania) y arritmia cardíaca. En caso de exposición repetida o prolongada: riesgo de dolores de garganta, hemorragias nasales y bronquitis química.
Ingestión:	Irritación severa de la boca, de la garganta, del esófago y del estómago. Salivación abundante. Náuseas, vómitos, calambres abdominales y diarrea. Tos y dificultad en respirar. Riesgo de hipocalcemia con trastornos nerviosos (tetania) y arritmia cardíaca. Riesgo de convulsiones, pérdida de conocimiento, coma profundo y paro cardiopulmonar. Riesgo de síntomas generales con una prognosis severa.

Fuente: Solvaychemicals ^[61]

Tabla A.23 Propiedades físico-químicas del Fluorsilicato de sodio

Peso molecular:	188
Aspecto:	Polvo granular, blanco.
Densidad relativa (agua=1):	2,7

Fuente: Fichas Internacionales de Seguridad Química. MTAS. ^[51]

Tabla A.24 Potenciales efectos del Fluorsilicato de sodio sobre la salud

Contacto con la piel:	Enrojecimiento, dolor.
Contacto con los ojos:	Enrojecimiento, dolor.
Inhalación:	Sensación de quemazón, tos, dolor de garganta.
Ingestión:	Calambres abdominales, sensación de quemazón. Náuseas, vómitos.

Fuente: Fichas Internacionales de Seguridad Química. MTAS. ^[51]

Tabla A.25 Propiedades físico-químicas del Ácido fluosilícico

Estado físico:	Líquido
Color:	Incoloro
Olor:	Acre
Peso molecular:	144,1

Fuente: Fichas Internacionales de Seguridad Química. MTAS. ^[50]

Tabla A.26 Potenciales efectos del Ácido fluosilícico sobre la salud

Contacto con la piel:	Corrosivo. Dolor, ampollas.
Contacto con los ojos:	Corrosivo. Enrojecimiento, dolor, quemaduras profundas graves.
Inhalación:	Corrosivo. Sensación de quemazón, tos, jadeo.
Ingestión:	Corrosivo. Calambres abdominales, sensación de quemazón, vómitos.

Fuente: Fichas Internacionales de Seguridad Química. MTAS. ^[50]

Acondicionamiento del Agua

Tabla A.27 Propiedades físico-químicas Óxido de calcio (Ca)

Apariencia:	Color crema, café y blanco.
Olor:	Inodoro.
Punto de ebullición:	2850°C
Punto de fusión:	2570°C
Densidad relativa (agua=1)	3,3-3,4
Solubilidad en el agua:	Reacciona formando hidróxido de calcio.

Fuente: Fichas Internacionales de Seguridad Química. MTAS. ^[48]

Tabla A.28 Potenciales efectos de la Cal sobre la salud

Contacto con la piel:	Enrojecimiento, quemaduras cutáneas, sensación de quemazón, dolor.
Contacto con los ojos:	Enrojecimiento, dolor, visión borrosa.
Inhalación:	Sensación de quemazón de nariz y garganta, tos, jadeo.
Ingestión:	Calambres abdominales, dolor abdominal, sensación de quemazón en la boca, garganta y esófago, diarrea, vómitos, colapso.

Fuente: Fichas Internacionales de Seguridad Química. MTAS. ^[48]

Tabla A.29 Propiedades físico-químicas de la Soda Cáustica Sólida

Estado físico:	Sólido, ya sea en escamas o en perlas.
Apariencia:	Blanco o levemente coloreado.
Olor:	Inodoro.
Punto de fusión:	328°C
Punto de ebullición:	1.390°C
Densidad a 20°C:	2,130

Fuente: Oxiquim S.A. ^[44]

Tabla A.30 Potenciales efectos de la Soda Cáustica Sólida sobre la salud

Contacto con la piel:	Produce quemaduras en la piel.
Contacto con los ojos:	Produce quemaduras que pueden ser muy graves.
Inhalación:	El polvo es irritante para los ojos, nariz y garganta. El producto es dañino al ser inhalado.
Ingestión:	Si es ingerido, produce graves quemaduras del tracto digestivo.

Fuente: Oxiquim S.A. ^[44]

Tabla A.31 Propiedades físico-químicas de la Soda Cáustica Líquida

Estado físico:	Líquido.
Apariencia:	Transparente.
Color:	Incoloro.
Olor:	Inodoro.
Punto de ebullición:	110 a 144°C
Punto de fusión:	-32 a 15°C

Fuente: OxyChile ^[45]

Tabla A.32 Potenciales efectos de la Soda Cáustica Líquida sobre la salud

Exposición a corto plazo:	Irritación (posiblemente grave), quemaduras, edema pulmonar.
Contacto con la piel:	Irritación (posiblemente grave) y quemaduras si la exposición es a corto plazo. Si es prolongada podría ocurrir dermatitis.
Contacto con los ojos:	Irritación (posiblemente grave), quemaduras, daño a los ojos y ceguera si la exposición es a corto plazo. Si es prolongada ocurren disturbios visuales.
Ingestión:	La exposición a corto plazo produce irritación (posiblemente grave), quemaduras, náuseas y vómitos.

Fuente: OxyChile^[45]

ANEXO B

Metodología para el cálculo de la vulnerabilidad medioambiental

Esta metodología fue tomada de la “Guía para la realización del análisis del riesgo medioambiental” de la Dirección General de Protección Civil y Emergencias ^[6], cuyo objetivo es la obtención de un Índice Global de Consecuencias Medioambientales (IGCM) para cada uno de los posibles escenarios accidentales, con lo cual se obtiene el Valor o Índice de Riesgo Medioambiental.

Para la determinación del IGCM, la metodología se basa en la evaluación y parametrización de los cuatro componentes que constituyen el riesgo. Estos son:

- **Fuentes de riesgo:** peligrosidad potencial de la sustancia, factores que condicionan su comportamiento medioambiental y la cantidad involucrada.
- **Sistemas de control primario:** equipos o medidas de control para mantener una determinada fuente de riesgo en condiciones de control permanente.
- **Sistemas de transporte:** medio de contacto (aire, agua superficial o subterránea, suelo) entre la fuente de riesgo y el receptor.
- **Receptores vulnerables:** afectación del entorno natural y socioeconómico.

A. Fuentes de riesgo

Mediante un conjunto de cinco propiedades (toxicidad, volatilidad, bioconcentración, adsorción y biodegradación) se procede a la estimación de una puntuación para fuentes de riesgo-sustancia (S), que puede variar entre 2 y 21 puntos. A mayor puntuación, mayor es la amenaza desde el punto de vista de las consecuencias medioambientales.

En la Tabla B.1 se encuentran las sustancias que obtienen directamente la puntuación para fuentes de riesgo-sustancia. Para el resto de las sustancias, no incluidas en el apartado anterior, se debe obtener la puntuación para cada una de sus propiedades.

Tabla B.1 Puntuación parcial de fuentes de riesgo

Núm.	Sustancia	Núm. CAS	Toxicidad	Volatilidad (log H)	Bioconcentración (log BCF)	Adsorción (log Kow)	Biodegradación (BD)	Puntuación
1	2,3,7,8 TETRACLORODIBENZENO-P-DIOXINA	001746-01-6	10	5	2	2	2	21
2	4,4-METILENBIS,2-CLOROANILINA	000101-14-4	6	5	2	2	2	17
3	ACETILENO	000074-86-2	1	5	0	0	1	7
4	ACIDO CLORHÍDRICO	007647-01-0	1	5	0	0	1	7
5	BROMO	007726-95-6	10	4	0	1	1	16
6	CLORO	007782-50-5	6	4	0	0	1	11
7	DICLORURO DE AZUFRE	010025-67-9	1	5	2	2	1	11
8	DICLORURO DE CARBONILO	000075-44-5	10	5	0	0	1	16
9	DIISOCIANATO DE TOLUENO	000584-84-9	6	5	2	2	1	16
10	ETILENIMINA	000151-56-4	10	5	0	0	1	16
11	FLUOR	007782-41-4	10	5	0	0	1	16
12	FORMALDEHÍDO	000050-00-0	6	5	0	0	1	12
13	GASES LICUADOS DEL PETROLEO	68476-85-7	6	-	-	-	-	6
14	GASOLINA	8006-61-9	6	-	-	-	-	6
15	HIDROGENO	001333-74-0	1	5	0	0	1	7
16	ISOCIANATO DE METILO	000624-83-9	6	4	0	0	1	11
17	METANOL	000067-56-1	6	5	0	0	1	12
18	NÍQUEL Y COMPUESTOS EN FORMA PULVURENTA	007440-02-0	1	5	0	0	1	7
19	NITRATO DE AMONIO	006484-52-2	1	5	0	0	1	7
20	ÓXIDO DE PROPILENO	000075-56-9	6	5	0	0	1	12
21	ÓXIDO DE ETILENO	000075-21-8	6	5	0	0	1	12
22	OXÍGENO	007782-44-7	1	5	0	0	1	7
23	PENTÓXIDO DE ARSÉNICO; ÁCIDO ARSÉNICO O SUS SALES	001303-28-2	6	5	0	0	1	12
24	PLOMO ALQUILOS	000078-00-2	10	4	2	2	2	20
25	TRIHIDRURO DE ARSÉNICO	007784-42-1	10	4	0	0	1	15
26	TRIHIDRURO DE FÓSFORO	007803-51-2	10	5	0	0	1	16
27	TRIÓXIDO DE ARSÉNICO; ÁCIDO ARSÉNICO O SUS SALES	001327-53-3	10	5	0	0	1	16
28	TRIÓXIDO DE AZUFRE	007446-11-9	6	5	0	0	1	12

Fuente: Guía para la realización del análisis del riesgo medioambiental ^[6]

Toxicidad

La toxicidad recibe directamente su puntuación en función del tipo de frases “R”. Las frases “R” corresponden a un conjunto numerado de frases y combinaciones de frases usadas para describir los riesgos atribuidos a una sustancia o preparado peligroso. Se describen en el Anexo III de la Directiva 67/548/CEE. La puntuación otorgada se muestra en las Tablas B.2 y B.3.

Tabla B.2 Puntuación según frases R

**Criterios utilizados para
«Sustancias clasificadas como peligrosas para el medio ambiente»³¹**

Medio acuático		Medio no acuático	
Frase «R»	Puntos	Frase «R»	Puntos
R 50	10	R54/R57	10
R50/R53	10	R54	10
R51/R53	8	R55/R57	8
R52/R53	5	R56/R57	5
R52 y/o R53	5	R58	4
		R59	4

Fuente: Guía para la realización del análisis del riesgo medioambiental^[6]

Tabla B.3 Puntuación Toxicidad

Toxicidad (a)	Puntos
Muy Tóxico	10
Tóxico	6
Nocivo	3
Irritante, Corrosivo	1

Fuente: Guía para la realización del análisis del riesgo medioambiental^[6]

Volatilidad (Tabla B.4)

Su puntuación es en función del valor de la constante de Henry, que enuncia que a una temperatura constante, la cantidad de gas disuelta en un líquido es directamente proporcional a la presión parcial que ejerce el gas sobre el líquido.

Tabla B.4 Puntuación Volatilidad

Volatilidad (log H) H- constante de Henry (atm m ³ / mol)	Puntos
Log H < -3	5
-3 ≤ log H < -1	4
-1 ≤ log H < 1	3
1 ≤ log H < 2	2
Log H ≥ 3	1

Fuente: Guía para la realización del análisis del riesgo medioambiental ^[6]

Bioconcentración (Tabla B.5)

Indica la relación de la concentración de productos químicos en un organismo y la concentración en el medio ambiente.

Tabla B.5 Puntuación Bioconcentración

Bioconcentración (log BCF) BCF-factor de bioconcentración	Puntos
Log BCF > 2	2
1 < Log BCF ≤ 2	1
Log BCF ≤ 1	0

Fuente: Guía para la realización del análisis del riesgo medioambiental ^[6]

Adsorción (Tabla B.6)

La adsorción es un proceso por el cual átomos, iones o moléculas son atrapados o retenidos en la superficie de un material.

Tabla B.6 Puntuación Adsorción

Adsorción (log Kow) Kow- coeficiente de reparto octanol-agua	Puntos
Log Kow > 2	2
1 < Log Kow ≤ 2	1
Log Kow ≤ 1	0

Fuente: Guía para la realización del análisis del riesgo medioambiental ^[6]

Biodegradación (Tabla B.7)

Corresponde a la descomposición orgánica. Es el resultado de los procesos de digestión, asimilación y metabolización de un compuesto orgánico llevado a cabo por bacterias, hongos, protozoos y otros organismos.

Tabla B.7 Puntuación Biodegradación

Biodegradación (BD)	Puntos
BD < 2 (meses o periodos de tiempo mayores)	2
2 ≤ BD < 2,5 (meses/semanas)	1,5
2.5 ≤ BD < 3,5 (semanas/días)	1
3.5 ≤ BD < 4,5 (días/horas)	0,5
BD ≥ 4.5 (horas)	0

Fuente: Guía para la realización del análisis del riesgo medioambiental ^[6]

La metodología transforma la puntuación para la fuente riesgo-sustancia (S) de 2-21 a una escala de 1 a 6 puntos. Además, se tiene en cuenta la presencia de mezclas,

multiplicando el resultado por un factor 4/3 y/o por un factor 5/4 en el caso de efectos sinérgicos. Finalmente se obtiene una puntuación comprendida entre 1 y 10.

La ecuación para realizar el cálculo queda de la siguiente forma:

$$S = (T + V + BC + A + BD) \cdot Ef.Mezcla \cdot Ef.Sinérgicos \text{ (Ec. B.1)}$$

Donde T, V, BC, A y BD corresponden a toxicidad, volatilidad, bioconcentración, adsorción y biodegradabilidad respectivamente.

Cantidad Involucrada (Q) (Tabla B.8)

A pesar de que una vez ocurrido el accidente no toda la cantidad involucrada va a ser transportada hasta alcanzar los receptores vulnerables, este factor ofrece una idea de la magnitud del accidente.

Debido a la dificultad para determinar la cantidad exacta implicada en un accidente, se suele tomar la cantidad almacenada.

Tabla B.8 Puntuación Cantidad Involucrada

Criterios utilizados para el factor cantidad involucrada³²

Cantidad involucrada en el accidente (Tm.)	Puntos
> 500	10
50-500	7
5-49	5
0,5-4,9	3
< 0.5	1

Fuente: Guía para la realización del análisis del riesgo medioambiental^[6]

La puntuación final de las fuentes de riesgo se calcula mediante la siguiente ecuación, obteniendo una escala que va desde 3 a 30 puntos, que será transformada a una escala 1-12.

$$FR = [(S \cdot 2) * Q] \text{ (Ec. B.2)}$$

B. Sistemas de control primario

El sistema de control primario constituye un factor de corrección de la cantidad de sustancias involucradas en un escenario accidental.

En función de los sistemas de control primario existentes para un determinado escenario, la cantidad de sustancia involucrada podrá ser reducida desde un 100%, en caso de que la existencia de estos sistemas reduzca totalmente la cantidad de sustancia involucrada, hasta un 0%, en caso de que no exista ningún sistema de control primario.

En todos los casos, el factor de reducción deberá ser fijado por el industrial en base a los sistemas de control disponibles en su establecimiento.

C. Sistemas de transporte

Son el nexo entre la fuente de riesgo y el receptor. La importancia de la extensión espacial del daño queda estrechamente unida al tipo y valor de los hábitats afectados.

Los sistemas de transporte obtienen una puntuación que va entre 1 y 10, que serán transformados a una escala 1-8. La Tabla B.9 muestra los criterios para la puntuación de este componente.

Tabla B.9 Puntuación Sistemas de Transporte

Criterios utilizados para el aspecto de extensión del daño

Puntos	Tipo de medio afectado y extensión		
	Medio No Acuático (incluyendo aguas subterráneas)	Medio Acuático	
		Corrientes de aguas superficiales (Ej. río, canal, riachuelo, etc.)	Otros tipos (Ej. lago, estanque, delta, estuario, zonas marítimo costeras)
10	Mayor o igual que 10 hectáreas	Mayor o igual que 10 Km	Mayor o igual que 2 hectáreas
↑ ↓	Relación logarítmica decimal del tipo $y = a + b \cdot \log_{10}(x)$.		
1	Dentro de los límites del emplazamiento		

Fuente: Guía para la realización del análisis del riesgo medioambiental ^[6]

D. Receptores Vulnerables

La metodología establece una puntuación de 1 a 10 a la vulnerabilidad/calidad del hábitat (V), según la Tabla B.10. A esto se le agrega una serie de factores condicionantes que pueden modificar la puntuación otorgada, puntuados también con una escala del 1 al 10 (Tablas B.11 a B.15). Estos factores condicionantes son:

- Espacios naturales protegidos
- Categorías de protección de especies
- Patrimonio histórico artístico
- Reversibilidad del daño/recuperación
- Impacto socioeconómico asociado a la alteración de los recursos naturales

La puntuación de los receptores vulnerables (RV) queda dada mediante la siguiente ecuación:

$$RV = (V + 0,3 \cdot ENP + 0,1 \cdot CPE + 0,1 \cdot PHA + 0,1 \cdot RD + 0,4 \cdot IS) \text{ (Ec. B.3)}$$

Tabla B.10 Puntuación Calidad/Vulnerabilidad del hábitat afectado

Criterios utilizados para el criterio de receptores vulnerables

Puntuación	Hábitat	Índice de naturalidad	Hábitat prioritario	Observaciones/recomendaciones
1	Código J	-	-	Código J1, Código J3, Código J4, Código J6
2	Hábitat de desarrollos industriales y otros tipos de hábitat (Constructed industrial and other artificial habitats)	-	-	Código J2, Código J5
3	Código I	-	-	Código I2
4	Hábitat agrícolas, hortícolas regular o recientemente cultivados (Regularly or recently cultivated agricultural, horticultural and domestic habitats)	-	-	Código I1
5	Hábitat clasificados dentro del anexo I de la Directiva 92/43/CEE de hábitat	1	NO	-
6		1	SI	-
7		2	NO	-
8		2	SI	-
9		3	NO	-
10		3	SI	-

Fuente: Guía para la realización del análisis del riesgo medioambiental ^[6]

Donde,

I1 Tierras cultivadas o viveros

I2 Jardines o parques

J1 Edificios de ciudades o pueblos-urbano

J2 Baja densidad de edificios

J3 Emplazamientos de industrias extractivas

J4 Redes de transporte y otras áreas asfaltadas

J5 Superficies acuáticas altamente artificiales construidas por el hombre y estructuras asociadas

J6 Depósitos de basura y vertederos

Tabla B.11 Puntuación Espacios naturales protegidos

Criterios utilizados para el factor condicionante espacios naturales protegidos

Factor Condicionante Espacios Naturales Protegidos		Δ (%)
¿Existen espacios naturales protegidos en el área de influencia del escenario accidental?	SI	30
	NO	0

Fuente: Guía para la realización del análisis del riesgo medioambiental ^[6]

Tabla B.12 Puntuación Categorías de Protección de especies

Criterios utilizados para el factor condicionante categorías de protección de especies

Categoría de Protección ⁴¹	Δ (%)
En peligro de extinción	10
Sensibles a la alteración de su hábitat	8
Vulnerables	5
De interés especial	2
Sin categoría de protección	0

Fuente: Guía para la realización del análisis del riesgo medioambiental ^[6]

Tabla B.13 Puntuación Patrimonio Histórico Artístico

Criterios utilizados para el factor condicionante patrimonio histórico artístico

Patrimonio Histórico Artístico	Δ (%)
Bienes inmuebles con la categoría de bien de interés cultural	10
Bienes inmuebles con cualquier otro tipo de categoría de protección.	5
Ninguna de las anteriores	0

Fuente: Guía para la realización del análisis del riesgo medioambiental ^[6]

Tabla B.14 Puntuación Reversibilidad del daño/recuperación

Criterios utilizados para el factor condicionante reversibilidad del daño/recuperación

Tiempo de Recuperación	Años	Δ (%)
Posible daño permanente	50	10
De 5 a 20 años	20	
De 1 a 5 años	5	
De semanas a 1 año	1	5
Días	0,1	

Fuente: Guía para la realización del análisis del riesgo medioambiental ^[6]

Tabla B.15 Puntuación Impacto socioeconómico

Criterios utilizados para el factor condicionante. Impacto socioeconómico asociado a la alteración de los recursos naturales

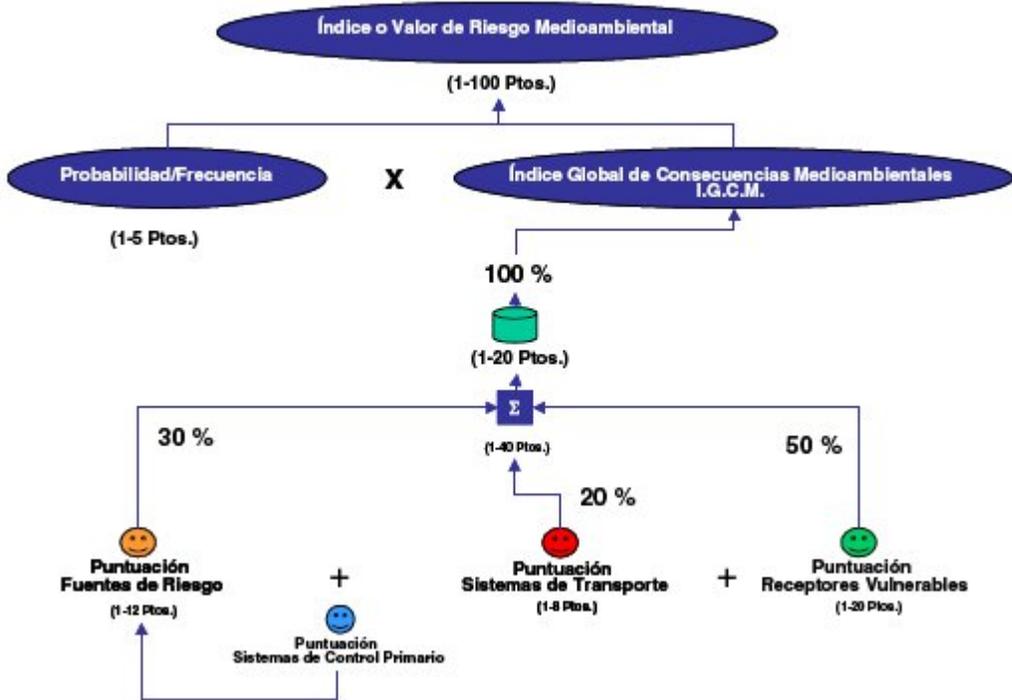
Impacto socioeconómico asociado a la alteración de los recursos naturales	Operador lógico	Impacto socioeconómico asociado a la alteración de los recursos naturales	Δ (%)
Alteración de más de una actividad económica recogida en el punto A. Alteración significativa de una actividad económica recogida en el punto A.	y	Afección a alguno de los tipos de infraestructuras recogidas en el punto B.	40
Alteración de más de una actividad económica recogida en el punto A. Alteración significativa de una actividad económica recogida en el punto A.	o	Afección a alguno de los tipos de infraestructuras recogidas en el punto B.	20
Ninguna de las anteriores			0

Fuente: Guía para la realización del análisis del riesgo medioambiental ^[6]

Una vez que se obtiene el valor del Índice Global de Consecuencias Medioambientales (IGCM), éste se multiplica por la probabilidad o frecuencia de que un determinado accidente ocurra, para obtener finalmente el Índice o Valor de Riesgo Medioambiental (Tabla B.16)

Tabla B.16 Índice o Valor de Riesgo Medioambiental

Esquema general para la determinación del índice o valor de riesgo medioambiental



Fuente: Guía para la realización del análisis del riesgo medioambiental [6]

ANEXO C

Check List

Las tablas siguientes corresponden a los Check List enunciados en el Capítulo 5. Se indica para las sustancias que generan mayor riesgo de accidentes al interior de una Planta de Tratamiento de Agua Potable los riesgos (R) u objetivos (O) existentes y las medidas posibles de tomar. Estas medidas son generales y se deben considerar en caso que sean aplicables a una determinada sustancia. Se indica con una (x) si el riesgo u objetivo es aplicable a una determinada sustancia.

Los procesos que generan mayor riesgo de accidente son desinfección, fluoración y coagulación. Las sustancias más utilizadas en estos procesos son:

- Cloro
- Flúor
- Sulfato de aluminio líquido
- Sulfato de aluminio granulado
- Cloruro férrico

Tabla C.1 Estaciones de descarga de sustancias

Riesgos (R) – Objetivos (O)	Sustancias						Medidas
	Cloro	Flúor (sólido)	Flúor (Líqu.)	Sulfato Al. Líq.	Sulfato Al. Gr.	Cloruro Férrico	
R: Daños en la estación debido al tráfico.	x	x	x	x	x	x	Limitar la circulación interna. Proteger la estación de descarga contra choques de vehículos, limitando la velocidad y estableciendo pequeñas barreras que no permitan que un camión se cambie de pista.
R: Daños en la estación debido a reacciones entre sustancias.	x	x	x	x	x	x	No debe haber sustancias incompatibles.
R: Choque de camiones en la estación de descarga.	x	x	x	x	x	x	Limitar la velocidad a 20 km/h. No realizar otra descarga al mismo tiempo. Establecer pequeñas barreras que no permitan el cambio de pista. Destinar espacio exclusivo para estacionamiento.
R: Movimiento de camión durante la descarga.	x	x	x	x	x	x	Inmovilizar el camión durante la descarga con cuñas.
O: Limitar la cantidad de sustancia liberada en caso de emisiones o derrames durante la descarga.	x	x	x	x	x	x	Detección automática de cloro con señal de alarma sonora en la sala de control. Parar la descarga si hay detección de 1 a 2 ppm de cloro (Cl ₂). Detener la descarga en caso de derrame y contener el derrame.

Tabla C.1 Estaciones de descarga de sustancias (Continuación)

Riesgos (R) – Objetivos (O)	Sustancias						Medidas
	Cloro	Flúor (sólido)	Flúor (Líqu.)	Sulfato Al. Líq.	Sulfato Al. Gr.	Cloruro Férrico	
O: Intervención y evacuación en sentido contrario a la dirección del viento.	x						Indicación de la dirección del viento mediante veleta o similar.
R: Entrada de agua al sistema.	x	x	x	x	x	x	Proteger la instalación contra la lluvia.

Tabla C.2 Instalaciones de descarga

Riesgos (R) – Objetivos (O)	Sustancias						Medidas
	Cloro	Flúor (sólido)	Flúor (Líqu.)	Sulfato Al. Líq.	Sulfato Al. Gr.	Cloruro Férrico	
R: Daños a la red de aire comprimido o nitrógeno por penetración de cloro.	x						Impedir el retorno de Cl ₂ a la red mediante válvulas automáticas.
R: Contaminación a la red de cloro por otros usuarios de aire comprimido o nitrógeno.	x						Red separada exclusiva para el sistema de cloro.
R: Reacción del cloro con el aceite de lubricación contenido en el aire comprimido o nitrógeno.	x						Empleo de compresores de aire o de N ₂ , cuyos segmentos no se lubrican. Empleo de compresores con lubricantes clorofluorescentes.
R: Humedad en el sistema de cloro a través del aire comprimido.	x						Monitoreo de la humedad o punto de rocío y alarma

Tabla C.2 Instalaciones de descarga (Continuación)

Riesgos (R) – Objetivos (O)	Sustancias						Medidas
	Cloro	Flúor (sólido)	Flúor (Líqu.)	Sulfato Al. Líq.	Sulfato Al. Gr.	Cloruro Férrico	
O: Limitar la liberación de sustancias cuando hay fugas en las conexiones flexibles.	x		x	x		x	<p>Cerrar rápidamente las válvulas que aíslan las conexiones.</p> <p>Cerrar rápidamente las válvulas si hay falta de fluido portador.</p> <p>Ordenar la detención a través del botón de emergencia.</p> <p>Detección continua de cloro, cerrando rápidamente las válvulas cuando se detecta de 1 a 2 ppm.</p> <p>Ordenar a partir de un panel de control las operaciones de descarga.</p>
R: Levantamiento de polvo de sustancias sólidas.		x			x		<p>Evitar el rompimiento involuntario de sacos.</p> <p>Rociar con agua para no levantar polvo en caso que sea necesario.</p> <p>Almacenamiento de sustancias sólidas separado de unidad de dosificación.</p>
R: Envío de cloro líquido hacia instalaciones de destrucción concebidas para cloro gaseoso.	x						<p>Tuberías de desgasificación protegidas contra la penetración de cloro líquido (sistema de captura de los líquidos con detección de Cl₂, o detección de líquido)</p>

Tabla C.2 Instalaciones de descarga (Continuación)

Riesgos (R) – Objetivos (O)	Sustancias						Medidas
	Cloro	Flúor (sólido)	Flúor (Líqu.)	Sulfato Al. Líq.	Sulfato Al. Gr.	Cloruro Férrico	
O: Buen estado de las conexiones de descarga.	x	x	x	x	x	x	Fecha de puesta en servicio indicada. Mantenimiento periódica de acuerdo a exigencias del proveedor.

Tabla C.3 Almacenamiento en lugares a la intemperie

Riesgos (R) – Objetivos (O)	Sustancias						Medidas
	Cloro	Flúor (sólido)	Flúor (Líqu.)	Sulfato Al. Líq.	Sulfato Al. Gr.	Cloruro Férrico	
R: Fuego o explosión.	x	x	x	x	x	x	Ningún material combustible debe estar almacenado dentro de un radio de 3 metros a la redonda de las instalaciones de almacenamiento. La empresa debe disponer de un estudio de riesgo cuantitativo en el cual se cuantifique cada uno de estos eventos (explosión o fuego).
O: Buena accesibilidad para la intervención dependiendo de la dirección del viento.	x						Accesibilidad para dos direcciones diferentes. Espacio alrededor de la instalación, que permita el paso del personal y equipos de intervención con protección anti gas y protección respiratoria autónoma.

Tabla C.3 Almacenamiento en lugares a la intemperie (Continuación)

Riesgos (R) – Objetivos (O)	Sustancias						Medidas
	Cloro	Flúor (sólido)	Flúor (Líqu.)	Sulfato Al. Líq.	Sulfato Al. Gr.	Cloruro Férrico	
O: Recoger los contenidos del estanque luego de una ruptura o fuga de las conexiones.	x	x	x	x	x	x	<ul style="list-style-type: none"> - Capacidad de un estanque mayor - Muros y suelos protegidos - Suelo impermeable Para los estanques situados en espacios cerrados, el suelo debe estar inclinado hacia un sistema de recogimiento válido.
R: Reacciones indeseadas en el lugar.	x	x	x	x	x	x	Ninguna otra sustancia dentro de la zona de almacenamiento. Para sustancias sólidas, el almacenamiento debe estar en lugar distinto a la dosificación.
R: Sustancias en el alcantarillado.	x	x	x	x	x	x	Evacuación de aguas lluvias fuera de la zona de almacenamiento.
O: Detección de fugas.	x	x	x	x	x	x	Presencia de detectores de Cl ₂ en lugares estratégicamente elegidos (fijados entre 1 a 2 ppm) Detectores de fugas en los estanques de almacenamiento. La detección genera una señal de aviso sonora y visual en la sala de control.
O: Saber el nivel del líquido almacenado en el estanque.	x	x	x	x	x	x	Estanques lo suficientemente transparentes cuando sea posible. Uso de indicadores de nivel.
O: Evacuación eficiente.	x	x	x	x	x	x	Al menos dos caminos de fuga

Tabla C.3 Almacenamiento en lugares a la intemperie (Continuación)

Riesgos (R) – Objetivos (O)	Sustancias						Medidas
	Cloro	Flúor (sólido)	Flúor (Líqu.)	Sulfato Al. Líq.	Sulfato Al. Gr.	Cloruro Férrico	
R: Dispersión de nubes de cloro.	x						Cortinas de agua con la ayuda de una reserva de pulverización de agua alrededor del estanque.
R: Dispersión de polvo de sustancias secas que no han sido mezcladas para la dosificación.		x			x		Almacenamiento en lugar distinto a la dosificación. Rociar con agua.
O: Intervención y evacuación en forma perpendicular al viento.	x						Bandera que indique la dirección del viento, veleta.

Tabla C.4 Espacios cerrados que presentan riesgos de contaminación

Riesgos (R) – Objetivos (O)	Sustancias						Medidas
	Cloro	Flúor (sólido)	Flúor (Líqu.)	Sulfato Al. Líq.	Sulfato Al. Gr.	Cloruro Férrico	
R: Derrame de sustancias fuera de las instalaciones.	x	x	x	x	x	x	<p>Puertas con cierre automático.</p> <p>Ventanas que no puedan abrirse.</p> <p>Tapar eventuales fisuras en los muros.</p> <p>Aberturas de ventilación previstas de válvulas que se cierran en caso de sobrepresión local.</p> <p>No hay comunicación con otros espacios que no presentan riesgo de fugas de estas sustancias.</p> <p>La detección de Cl₂ (1 a 2 ppm) desconecta el ventilador de aireación.</p> <p>Indicadores de nivel que desconecten el paso de más sustancias al estanque de almacenamiento.</p>

Tabla C.4 Espacios cerrados que presentan riesgos de contaminación (Continuación)

Riesgos (R) – Objetivos (O)	Sustancias						Medidas
	Cloro	Flúor (sólido)	Flúor (Líqu.)	Sulfato Al. Líq.	Sulfato Al. Gr.	Cloruro Férrico	
O: Evacuación segura del personal fuera de las instalaciones	x	x	x	x	x	x	<p>Detección continua de cloro (1 a 2 ppm) que de la alarma en los espacios que presentan un riesgo de fuga de cloro, así como también en la sala de control.</p> <p>Disponer de máscara de protección para ojos.</p> <p>Disponer de ropas adecuadas.</p> <p>Salidas suficientes para permitir una evacuación segura.</p> <p>Las puertas debieran abrirse hacia el exterior.</p>
R: Fuego	x	x	x	x	x	x	Materiales de construcción incombustibles.
R: Entrar en espacios con presencia de una atmósfera tóxica	x	x			x		<p>Detección continua de cloro (1 a 2 ppm), que de alerta a todos los locales en cuestión.</p> <p>Alarmas que den alerta de contaminación en caso de derrames y/o fugas.</p>

Tabla C.4 Espacios cerrados que presentan riesgos de contaminación (Continuación)

Riesgos (R) – Objetivos (O)	Sustancias						Medidas
	Cloro	Flúor (sólido)	Flúor (Líqu.)	Sulfato Al. Líq.	Sulfato Al. Gr.	Cloruro Férrico	
O: Evacuación y destrucción de vapores de cloro liberados	x						<p>El ventilador de evacuación de cloro aspira a lugares estratégicos, como pisos bajos.</p> <p>La evacuación de cloro debe hacerse hacia las instalaciones de neutralización de estos gases.</p> <p>La evacuación de cloro debe ser automática, iniciada por la detección de 1 a 2 ppm de cloro.</p> <p>La evacuación de cloro puede igualmente iniciarse manualmente.</p>
O: Contención de derrames y/o fugas al interior de la instalación.			x	x		x	<p>Diques de contención.</p> <p>Materiales apropiados que absorban los líquidos derramados, como aserrín o arena.</p>

Tabla C.5 Estanques de mezcla y/o almacenamiento de sustancias

Riesgos (R) – Objetivos (O)	Sustancias						Medidas
	Cloro	Flúor (sólido)	Flúor (Líqu.)	Sulfato Al. Líq.	Sulfato Al. Gr.	Cloruro Férrico	
O: Estanques concebidos para el almacenamiento de cada sustancia.	x	x	x	x	x	x	Certificado de construcción bajo código de buena práctica.

Tabla C.5 Estanques de mezcla y/o almacenamiento de sustancias (Continuación)

Riesgos (R) – Objetivos (O)	Sustancias						Medidas
	Cloro	Flúor (sólido)	Flúor (Líqu.)	Sulfato Al. Líq.	Sulfato Al. Gr.	Cloruro Férrico	
R: Daños por altas temperaturas.	x	x	x	x	x	x	Instrucciones de trabajo que mencionen que no puede haber calefacción directa al estanque.
R: Ruptura o fugas de válvulas en fase líquida.	x	x	x	x	x	x	Conectar bajo el nivel líquido.
							2 válvulas en serie en las conexiones, bajo el nivel del líquido: <ul style="list-style-type: none"> - 1 válvula interna o sobre la brida de conexión - 2° válvula lo más próxima posible al estanque - 1 válvula = 1 válvula de detención rápida (activada mediante botón de pánico).
R: Fuga/Ruptura de los conductos de llegada de cloro (de la estación de carga al estanque).	x						Seguridad anti retorno en las líneas de alimentación de cloro líquido de la instalación de descarga.
R: Reacciones indeseadas dentro de los estanques.	x	x	x	x	x	x	Seguridad contra el retorno proveniente de las unidades de producción.
R: Fuga de cloro en riendas submarinas.	x						Válvulas internas de no retorno submarinas.
R: Fuga/Ruptura de los conductos de salida.	x	x	x	x	x	x	Limitar la producción, o válvula interna anti retorno.
							Válvula de paro activada por botón de pánico.
R: Sobrepresión.	x						Válvulas de seguridad.

Tabla C.5 Estanques de mezcla y/o almacenamiento de sustancias (Continuación)

Riesgos (R) – Objetivos (O)	Sustancias						Medidas
	Cloro	Flúor (sólido)	Flúor (Líqu.)	Sulfato Al. Líq.	Sulfato Al. Gr.	Cloruro Férrico	
R: Daños a las válvulas de seguridad por acción de las sustancias.	x	x	x	x	x	x	Válvulas de seguridad anticorrosión. Válvulas de seguridad resistentes a la acción del cloro húmedo.
O: Disponibilidad del sistema de descarga de presión.	x						Conexión directa entre las válvulas de seguridad y los espacios que deben protegerse.
R: Aumento de la presión de apertura de válvulas de seguridad a causa de una contra-presión.	x						Alarma de presión entre la válvula de seguridad y el disco de ruptura situado hacia atrás.
R: Liberación de cloro a la atmósfera mediante válvulas de seguridad.	x						Válvulas de seguridad que descarguen hacia un estanque de recuperación vacío o hacia una instalación de tratamiento.
R: Derrames de sustancias.		x	x	x	x	x	Tambores para almacenamiento de las sustancias derramadas. Contención del derrame mediante materiales absorbentes.
R: Cloro líquido hacia la instalación de neutralización de los vapores de cloro. (riesgo de abertura)	x						“liquid trap” (trampa líquida) entre el sistema de seguridad para la presión y las instalaciones de tratamiento. Liquid trap equipada de una alarma de detección de cloro.
O: Limitar la liberación de cloro en caso de fuga en el estanque.	x						Capacidad de recolección (100% más grande) hacia la cual el cloro procedente del estanque dañado pueda transferirse.

Tabla C.5 Estanques de mezcla y/o almacenamiento de sustancias (Continuación)

Riesgos (R) – Objetivos (O)	Sustancias						Medidas
	Cloro	Flúor (sólido)	Flúor (Líqu.)	Sulfato Al. Líq.	Sulfato Al. Gr.	Cloruro Férrico	
R: Capacidad de recolección no disponible a causa de una contra-presión.	x						Posibilidad de conservar una baja presión (durante la transferencia) por transporte de los vapores de cloro (hacia la neutralización, otros usuarios...).
							Equipar con una alarma de presión.
R: Sobrepresión por sobrepasar el nivel de relleno.	x						La capacidad de cada estanque individual debe ser superior a la capacidad de un transportador.
							Indicación del nivel de relleno en la sala de control.
							2 indicadores de nivel independientes con alarma y detención automática de descarga.
R: Derrames por sobrepasar el nivel de relleno de los estanques.		x	x	x	x	x	Indicadores de nivel y alarma.
R: Liberación masiva de cloro por ruptura súbita de una ventanilla o un indicador de vidrio.	x						No hay ventanilla o indicador de nivel.
R: Sobrepresión por sobrecalentamiento solar.	x						Cubrir el estanque con una capa de pintura reflexiva.
R: Corrosión generalizada.	x	x	x	x	x	x	Cubrir el estanque y conexiones con pintura anticorrosión.
R: Fuego de materiales de aislación.	x	x	x	x	x	x	La aislación en torno a los conductos debe estar constituida por material incombustible.

Tabla C.5 Estanques de mezcla y/o almacenamiento de sustancias (Continuación)

Riesgos (R) – Objetivos (O)	Sustancias						Medidas
	Cloro	Flúor (sólido)	Flúor (Líqu.)	Sulfato Al. Líq.	Sulfato Al. Gr.	Cloruro Férrico	
R: Corrosión bajo la aislación.	x	x	x	x	x	x	Debe haber aislación alrededor del estanque y ser los conductos impermeables al agua y a la humedad del aire. Pintura anticorrosiva sobre los conductos bajo la aislación.
R: Daños a los materiales de aislación por el cloro.	x						Aislación química inerte frente al cloro.
R: Mala mantención.	x	x	x	x	x	x	Señalar todos los conductos y válvulas.
R: Fugas en las válvulas.	x	x	x	x	x	x	Instrucciones de trabajo escritas, ordenando el control visual de los acoplamientos, y en particular las redes. Empleo de nuevos rellenos en cada conexión. Instrucciones de trabajo escritas, ordenando efectuar pruebas de fuga después de la conexión y antes de empezar la transferencia. Presencia de materiales para el control de fugas, como NH ₃ .
R: Sobrepresión en el transporte, debido a una alta presión parcial de nitrógeno o aire comprimido.	x						Instrucciones de trabajo, ordenando desgasificar hasta restablecer la presión de vapor de Cl ₂ .

Tabla C.6 Camiones y vagones-cisterna directamente conectados a los usuarios de cloro

Riesgos (R) – Objetivos (O)	Sustancias						Medidas
	Cloro	Flúor (sólido)	Flúor (Líqu.)	Sulfato Al. Líq.	Sulfato Al. Gr.	Cloruro Férrico	
R: Sobrepresión.	x						En caso de trasiego de Cl ₂ en fase líquida: <ul style="list-style-type: none"> - Seguridad contra sobrepresión en los conductos de Cl₂ líquido. - Seguridad en la presión de descarga hacia el tratamiento del cloro. - Por término medio, máximo 20 ppm de NCl₃.
R: Acumulación de NCl ₃ en caso de trasiego de cloro en fase vapor.	x						Esta forma de descarga es desaconsejada: aceptada solamente para cantidades limitadas o utilidades esporádicas.
R: Condensación en los conductos de cloro gaseoso.	x						Este riesgo no se aplica, pues como hay equilibrio líquido-vapor, no hay recalentamiento.
O: Intervenir a su debido tiempo en caso de incidente.	x						Vigilancia continua de las operaciones de descarga.

Tabla C.7 Evaporadores

Riesgos (R) – Objetivos (O)	Sustancias						Medidas
	Cloro	Flúor (sólido)	Flúor (Líqu.)	Sulfato Al. Líq.	Sulfato Al. Gr.	Cloruro Férrico	
R: Cloro líquido hacia los usuarios de cloro gaseoso por condensación en las conducciones.	x						Cl ₂ se recalienta a menos de 10°C. Alarma de baja temperatura a la salida del evaporador (fijada al menos a 10°C sobre la temperatura de condensación). Alarma de baja temperatura en la red de separación (fijada algunos grados sobre la temperatura de condensación).
R: Cloro líquido hacia usuarios de cloro gaseoso por impulsión de cloro líquido fuera del evaporador.	x						Separadores de líquido con detección de líquido y alarma.
R: Daño a los materiales por cloro recalentado en el evaporador.	x						En la calefacción al vapor: medidas contra el vapor recalentado (acero: máximo 120°C).
R: Daño al circuito de alimentación de calor por una fuga o contaminación de cloro.	x						Detección de Cl ₂ en el fluido termo portador.
R: Sobrepresión.	x						Alarma en caso de alta presión con detención de la contribución de calor. Descarga de presión mediante una válvula de seguridad.
R: Corrosión de las válvulas de seguridad.	x						Válvulas de seguridad protegidas contra la corrosión. Válvulas de seguridad resistentes al cloro húmedo.

Tabla C.7 Evaporadores (Continuación)

Riesgos (R) – Objetivos (O)	Sustancias						Medidas
	Cloro	Flúor (sólido)	Flúor (Líqu.)	Sulfato Al. Líq.	Sulfato Al. Gr.	Cloruro Férrico	
R: Válvulas de seguridad cerradas por válvulas.	x						Conexión permanente.
R: Desarrollo en contra-presión.	x						Alarma de presión entre la válvula de seguridad y el disco de ruptura situado hacia atrás.
R: Liberación de cloro a través de una válvula de seguridad.	x						Descarga hacia el estanque de recuperación vacío o hacia una instalación de tratamiento.
R: Impulsión de cloro líquido hacia las instalaciones de tratamiento.	x						“liquid trap” entre el sistema de protección contra la presión y la instalación de tratamiento. Liquid trap equipada de una alarma de Cl ₂ .
R: Acumulación de NCl ₃ puede generar peligro de explosión.	x						Máximo 100 ppm de NCl ₃ , que se deben comprobar periódicamente. Posibilidad de purga. Construcción que impida la acumulación de NCl ₃ .

Tabla C.8 Tuberías

Riesgos (R) – Objetivos (O)	Sustancias						Medidas
	Cloro	Flúor (sólido)	Flúor (Líqu.)	Sulfato Al. Líq.	Sulfato Al. Gr.	Cloruro Férrico	
O: Conducciones adaptadas para las distintas sustancias.	x	x	x	x	x	x	Tuberías construidas y controladas según un código de buena práctica.
R: Malas manipulaciones.	x	x	x	x	x	x	Identificación de las distintas tuberías en las instalaciones. Válvulas claramente identificadas, mediante códigos. Aclaración de la función de las válvulas más importantes. Estado de las válvulas claramente indicado.
R: Sobrepresión por confinamiento de cloro líquido.	x						Válvula de seguridad conectada a la red de descarga. Tuberías resistentes a la sobrepresión máxima.
R: Corrosión bajo el aislamiento.	x	x	x	x	x	x	Aislamiento resistente a los líquidos y a los gases (lluvia y humedad del aire). Material inerte con relación al Cl ₂ (por ejemplo poliuretano) o a las otras sustancias. Mantenimiento periódica.
R: Fuego.	x	x	x	x	x	x	Aislamiento con material incombustible.
R: Erosión.	x	x	x	x	x	x	Velocidad del líquido limitada a 1 a 2 m/s.

Tabla C.8 Tuberías (Continuación)

Riesgos (R) – Objetivos (O)	Sustancias						Medidas
	Cloro	Flúor (sólido)	Flúor (Líqu.)	Sulfato Al. Líq.	Sulfato Al. Gr.	Cloruro Férrico	
R: Liberación del cloro en trabajos de mantenimiento en la conducción de éste.	x						Todas las tuberías pueden desgasificarse y barrerse con un gas inerte.
R: Fugas debido a roturas en las tuberías.	x	x	x	x	x	x	Contención del derrame con materiales apropiados. Detención de la conducción.

Tabla C.9 Instalación de Neutralización

Riesgos (R) – Objetivos (O)	Sustancias						Medidas
	Cloro	Flúor (sólido)	Flúor (Líqu.)	Sulfato Al. Líq.	Sulfato Al. Gr.	Cloruro Férrico	
R: Entrada de humedad procedente de la instalación de neutralización a la red de rechazos de gas destinada a cloro seco.	x						Un flujo de purga constante impide la vuelta de aire húmedo.
R: Perforación por entrada de cloro líquido en instalación de neutralización.	x						“liquid trap” con detección de Cl ₂ conectado a una alarma.

Tabla C.9 Instalación de Neutralización (Continuación)

Riesgos (R) – Objetivos (O)	Sustancias						Medidas
	Cloro	Flúor (sólido)	Flúor (Líqu.)	Sulfato Al. Líq.	Sulfato Al. Gr.	Cloruro Férrico	
R: Liberación de cloro debido a la no circulación del fluido de absorción.	x						<p>Bomba de circulación en servicio permanente o puesta en servicio automática en caso de descarga de vapores de cloro hacia la instalación de neutralización.</p> <p>Presencia de una bomba de reserva o varias instalaciones de absorción en serie.</p> <p>Alarma sobre la producción del fluido de absorción.</p>
R: Liberación de cloro debido a un agotamiento del fluido de absorción.	x						<p>Control químico del agotamiento del fluido de absorción.</p> <p>Alarma de bajo nivel sobre los estanques del fluido de absorción.</p>
O: Adoptar a tiempo las medidas necesarias en caso de perforación por cloro.	x						Monitor que indique la abertura de cloro en los gases purificados.
R: Reacciones indeseables con efluentes (hipoclorito) en el alcantarillado.	x						<p>Evitar el contacto con los ácidos y el NH₃ en el alcantarillado.</p> <p>Tratamiento postoperatorio con el NaSO₃.</p>
R: Repercusiones producto del uso de soda cáustica.	x						Ducha de ayuda y ducha para ojos.

Tabla C.10 Intervención y Plan de Emergencia

Riesgos (R) – Objetivos (O)	Sustancias						Medidas
	Cloro	Flúor (sólido)	Flúor (Líqu.)	Sulfato Al. Líq.	Sulfato Al. Gr.	Cloruro Férrico	
O: Materiales de intervención adecuados.	x	x	x	x	x	x	<p>Al menos 2 equipos con respiradores autónomos.</p> <p>Equipos suspendidos en un armario y no doblados, ya que se arriesga daño.</p> <p>Combinaciones antigás regularmente probadas sobre su estanqueidad.</p> <p>Materiales para localizar las fugas.</p> <p>Instalación móvil para permitir la realización de una nube de agua (contra la dispersión de la nube de Cl₂).</p> <p>Materiales absorbentes para la contención de derrames y/o fugas.</p> <p>Kits de emergencia.</p> <p>Botiquines de primeros auxilios.</p>

Tabla C.10 Intervención y Plan de Emergencia (Continuación)

Riesgos (R) – Objetivos (O)	Sustancias						Medidas
	Cloro	Flúor (sólido)	Flúor (Líqu.)	Sulfato Al. Líq.	Sulfato Al. Gr.	Cloruro Férrico	
O: Detección de incendios y combate de éstos.	x	x	x	x	x	x	<p>Detectores de incendios.</p> <p>Medios adecuados para combatir el fuego, como agua o polvos químicos.</p> <p>Sólo personal entrenado.</p>
O: Plan de Emergencia.	x	x	x	x	x	x	La empresa debe disponer de un plan elaborado para el uso de las distintas sustancias. Además se debe contar con un plan de emergencia externo.

Tabla C.11 Generalidades

Riesgos (R) – Objetivos (O)	Sustancias						Medidas
	Cloro	Flúor (sólido)	Flúor (Líqu.)	Sulfato Al. Líq.	Sulfato Al. Gr.	Cloruro Férrico	
O: Calidad constante de las sustancias entregadas.	x	x	x	x	x	x	¿Se efectuaron formalmente algunos acuerdos relativos a las especificaciones de las sustancias entregadas por el proveedor?
R: Acumulación de NCl_3 .	x						¿Riesgos de NCl_3 definidos, evaluados y documentados, así como medidas necesarias adoptadas?
R: Daños a los materiales.	x	x	x	x	x	x	Inspección interna.
R: Reacción de los aceites orgánicos con el cloro.	x						Utilización de aceite de lubricación adecuado.
R: Corrosión por entrada de humedad.	x	x	x	x	x	x	Presencia de un sistema de vigilancia de la corrosión.

ANEXO D

Medidas de mitigación

A continuación se presentan las medidas de mitigación en caso de accidentes químicos para las sustancias utilizadas en el proceso de potabilización del agua en Chile, y que no fueron abordadas en el Capítulo 5, dado que ahí sólo fueron consideradas las que generan mayor riesgo de accidentes al interior de la planta.

Estas medidas de mitigación fueron tomadas principalmente de las Hojas de Seguridad de distintas empresas que comercializan dichos productos. Se consideró que las principales medidas corresponden a las que se deben tomar en caso de derrames y/o fugas, primeros auxilios, y medidas a tomar en caso de incendio y explosión.

D.1 Sulfato férrico en solución

D.1.1 Medidas a tomar en caso de derrames y/o fugas

- Medidas de emergencia a tomar si hay un derrame de material: aislar y evacuar el área. Detener derrames con material absorbente, como arena o tierra seca.
- Equipos de protección personal para atacar la emergencia: ropa de seguridad para productos químicos, guantes, lentes, máscara para vapores químicos y protección facial.
- Precauciones personales: evitar contacto directo con el producto y la inhalación de neblinas o humos.
- Precauciones para el medio ambiente: no eliminar a través de cauces naturales o alcantarillado.
- Métodos de limpieza: formar diques con arena o tierra secas. Enjuagar con abundante agua.

D.1.2 Primeros auxilios

- En general: en todos los casos, luego de aplicar los primeros auxilios, derivar al médico.
- Inhalación: trasladar al afectado a un lugar bien ventilado, brindar respiración artificial sólo si hubiese detención de la respiración.
- Contacto con la piel: retirar la ropa contaminada bajo la ducha. Lavar inmediatamente con abundante agua corriente durante 15 minutos.
- Contacto con los ojos: lavar inmediatamente con agua por lo menos durante 15 minutos. Mantener los párpados abiertos.
- Ingestión: si el afectado está consciente, dar a beber grandes cantidades de leche o agua. No inducir vómitos.

D.1.3 Medidas a tomar en caso de incendio y explosión

- Agentes de extinción: extintores convencionales de acuerdo al área comprometida.
- Aplicar agua en neblina o lluvia para enfriar envases o estructuras metálicas que se encuentren en las cercanías.

D.2 Sulfato Ferroso

D.2.1 Medidas a tomar en caso de derrames y/o fugas

Medidas de emergencia a tomar si hay un derrame de material: detener derrame, recoger con pala y disponer en lugar apropiado para su posterior disposición. Diluir los restos con agua.

Equipos de protección personal para atacar la emergencia: ropa de seguridad personal para productos químicos, guantes, lentes, máscara para polvos químicos y protector facial.

D.2.2 Primeros auxilios

- Inhalación: trasladar al afectado a un lugar bien ventilado, brindar respiración artificial sólo si hubiere detención de la respiración. Solicitar asistencia médica.
- Contacto con la piel: retirar ropa contaminada bajo la ducha. Lavar inmediatamente con abundante agua durante 15 minutos. Si la irritación persiste, solicitar atención médica.
- Contacto con los ojos: lavar inmediatamente con agua por lo menos durante 15 minutos. Mantener los párpados abiertos. Solicitar asistencia médica en forma inmediata.
- Ingestión: si está consciente, dar a beber grandes cantidades de agua. No inducir vómitos. Llamar inmediatamente a un médico.

D.2.3 Medidas a tomar en caso de incendio y explosión

- Agentes de extinción: el producto no es inflamable. En caso de incendio donde esté involucrado este producto, utilizar extintores convencionales de acuerdo al área comprometida.
- Agentes de extinción contraindicados: ninguno.
- Riesgos específicos: se descompone al calentarse sobre 740°C, liberando humos tóxicos.
- Métodos específicos para el combate del fuego: aplicar agua en neblina o lluvia para enfriar envases o estructuras metálicas que se encuentren en las cercanías.
- Equipo especial para el combate del fuego: equipo de protección respiratoria, botas de seguridad, ropa de seguridad para químicos.

D.3 Cal Viva

D.3.1 Medidas a tomar en caso de derrames y/o fugas

Barrer la sustancia derramada e introducirla en un recipiente seco y después limpiar la zona con descarga abundante de agua. (Protección personal adicional: respirador de filtro P2 para partículas nocivas).

D.3.2 Primeros auxilios

- En general: en todos los casos, solicitar atención médica.
- Inhalación: aire limpio y reposo.
- Contacto con la piel: quitar las ropas contaminadas y aclarar la piel con abundante agua o ducharse.
- Contacto con los ojos: enjuagar con agua abundante durante varios minutos y quitar las lentes de contacto si es que puede hacerse con facilidad.
- Ingestión: enjuagar la boca. No provocar el vómito y no dar nada de beber.

D.3.3 Medidas a tomar en caso de incendio y explosión

- En caso de incendio en el entorno: están permitidos todos los agentes extintores.
- En caso de explosión: los bomberos debieran emplear indumentaria de protección completa, incluyendo equipo autónomo de respiración.

D.4 Soda Cáustica Sólida

D.4.1 Medidas a tomar en caso de derrames y/o fugas

- Medidas de emergencia a tomar si hay derrame del material: mantener el material lejos de fuentes de agua y de alcantarillas. Cercar el material derramado y cubrirlo con plástico para permitir su recuperación.

- Equipo de protección personal para controlar la emergencia: botas, delantal y guantes de goma o neopreno. Lentes y careta de protección visual. Casco de seguridad.
- Precauciones a tomar para evitar daños al medio ambiente: tratar de recuperar el máximo posible del material derramado. Si no es posible, cavar una fosa y cubrir el material restante.
- Métodos de limpieza: recoger el material en tambores cubiertos.
- Método de eliminación de desechos: neutralizar con un ácido diluido y lavar posteriormente con abundante agua.

D.4.2 Primeros auxilios

- En general: en todos los casos, solicitar atención médica.
- Inhalación: llevar a la persona al aire libre. Si es necesario, ayudar a la respiración.
- Contacto con la piel: lavar la zona afectada con abundante agua corriente a lo menos por 15 minutos.
- Contacto con los ojos: mantener los párpados abiertos y lavar con abundante agua.
- Ingestión: si la víctima está consciente, dar a beber agua o leche. No inducir los vómitos.

D.4.3 Medidas a tomar en caso de incendio y explosión

- Agentes de extinción: no es combustible. En contacto con humedad puede atacar el metal de los contenedores, produciendo gas inflamable. Luego, es necesario enfriar los contenedores expuestos al fuego con abundante agua.
- Procedimientos especiales para combatir el fuego: si hay un incendio en las cercanías de un almacenamiento del producto, los atacantes del mismo deben

cuidar de no tocar las aguas usadas para combatirlo, pues será una lejía muy peligrosa.

- Equipos de protección personal para el combate del fuego: llevar ropa protectora de goma o neopreno. Proteger la vista con lentes protectores.

D.5 Soda Cáustica Líquida

D.5.1 Medidas a tomar en caso de derrames y/o fugas

En caso de fugas en operación, remover el material a un contenedor adecuado. El material líquido se puede retirar con un camión de aspirado. Enjuagar con agua la zona en la que se ha producido el derrame, si fuera necesario. Evitar que el material fluya hacia cursos de agua y sistemas de desagüe.

D.5.2 Primeros auxilios

- En general: Buscar atención médica inmediatamente.
- Inhalación: si ocurre una emergencia, llevar al afectado a un área descontaminada. Darle respiración artificial si no respira. Si la respiración es dificultosa, se debe administrar oxígeno por personal calificado. Si se ha detenido la respiración o el pulso, recurrir a una persona calificada que administre los primeros auxilios (reanimación cardiopulmonar o desfibrilador externo automático).
- Contacto con la piel: enjuagar inmediatamente con agua las zonas contaminadas. Remover la ropa, joyas y zapatos contaminados inmediatamente. Lavar las zonas contaminadas con agua y jabón. Lavar y secar la ropa y zapatos contaminados antes de volver a utilizarlos.
- Contacto con los ojos: enjuagar inmediatamente los ojos con un chorro de agua directo durante al menos 15 minutos y mantener abiertos los párpados para garantizar que se aclare todo el ojo y los tejidos del párpado. Enjuagar los ojos en cuestión de segundos es esencial para lograr la máxima eficacia.

- Ingestión: nunca dar nada a una persona inconsciente o con convulsiones. Si tragó el producto, no inducir el vómito. Dar grandes cantidades de agua. Si vomita espontáneamente, mantener las vías despejadas. Dar más agua cuando haya dejado de vomitar.

D.5.3 Medidas a tomar en caso de incendio y explosión

- Peligros de fuego y explosión: riesgo insignificante de fuego.
- Medio de extinción: usar agentes de extinción apropiados para fuego circundante.
- Combate del fuego: si se puede hacer sin riesgo, retirar el recipiente del área de incendio. Enfriar los recipientes con agua.

D.6 Ozono

D.6.1 Medidas a tomar en caso de derrames y/o fugas

- Precauciones personales: protección personal adicional, equipo autónomo de respiración.
- Precauciones ambientales: no permitir que este producto se incorpore al ambiente. Esta sustancia puede ser peligrosa para el ambiente, debería prestarse especial atención a la vegetación.
- Métodos de limpieza: evacuar la zona de peligro. Ventilar. No verter nunca chorros de agua sobre el líquido.

D.6.2 Primeros auxilios

- En general: higiene estricta. En todos los casos, luego de aplicar los primeros auxilios, derivar al médico.
- Contacto con la piel: en caso de congelación: aclarar con agua abundante. No quitar la ropa y proporcionar asistencia médica.

- Contacto con los ojos: enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar lentes de contacto en caso de que pueda hacerse con facilidad) y proporcionar asistencia médica.
- Inhalación: aire limpio, reposo, posición de semi incorporado, respiración artificial si estuviera indicada y proporcionar asistencia médica.
- Ingestión: no hay información disponible.

D.6.3 Medidas a tomar en caso de incendio y explosión

- Medidas de extinción apropiadas: en caso de incendio en el entorno están permitidos todos los agentes extintores.
- Productos de descomposición: oxígeno.
- Equipos de protección personal especiales: equipo de protección personal convencionales y equipo autónomo de respiración.
- Instrucciones especiales para combatir el fuego: mantener los recipientes fríos, rociándolos con agua.

D.7 Dióxido de cloro

D.7.1 Medidas a tomar en caso de derrames y/o fugas

- Precauciones personales: traje de protección completo, incluyendo equipo autónomo de respiración.
- Precauciones ambientales: esta sustancia puede ser peligrosa para el ambiente; debería prestarse atención especial a los organismos acuáticos.
- Métodos de limpieza: evacuar la zona de peligro. Consultar a un experto.
- Ventilar. Eliminar gas con agua pulverizada.

D.7.2 Primeros auxilios

- En general: en todos los casos, luego de aplicar los primeros auxilios, derivar al médico.
- Contacto con la piel: aclarar con abundante agua, después quitar la ropa contaminada y aclarar nuevamente.
- Contacto con los ojos: enjuagar con agua abundante durante varios minutos y quitar las lentes de contacto si es que puede hacerse con facilidad.
- Inhalación: aire limpio, reposo, posición de semi incorporado y respiración artificial si estuviera indicada.
- Ingestión: no hay información disponible.

D.7.3 Medidas a tomar en caso de incendio y explosión

Medidas de extinción apropiadas: en caso de incendio en el entorno, agua en grandes cantidades, agua pulverizada. Evitar que el producto entre en contacto con el agua.

- Medidas de extinción inadecuadas: no combatir el fuego sin estar protegido.
- Productos de descomposición: en contacto con el agua, cloruro de hidrógeno y ácido clorhídrico.
- Equipos de protección personal especiales: traje de protección completo, incluyendo equipo autónomo de respiración.
- Instrucciones especiales para combatir el fuego: en caso de incendio, mantener fríos los recipientes y demás instalaciones rociando agua.