

UCH-F
Q. Ambiental
C 212
C. I



**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA DE QUÍMICA AMBIENTAL**

**“METODOLOGÍAS DE MINIMIZACIÓN, TRATAMIENTO
Y DISPOSICIÓN DE RESIDUOS QUÍMICOS EN LA
COMISIÓN CHILENA DE ENERGÍA NUCLEAR (CCHEN)”**

Memoria de Título
Entregado a la
Facultad de Ciencias de la Universidad de Chile
Para optar al título de

QUÍMICO AMBIENTAL

PEDRO FERNANDO CANALES ENCINA



Director : Ing. Civil. Loreto Villanueva Zamora, CCHEN.

Profesor patrocinante : Dr. Patricio Rivera Latorre, Facultad de Ciencias.

Julio
2003

FACULTAD DE CIENCIAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

INFORME DE APROBACIÓN
SEMINARIO DE TITULO

Se informa a la escuela de Pregrado de la Facultad de ciencias de la Universidad de Chile que el Seminario de Titulo presentado por el alumno

Pedro Fernando Canales Encina

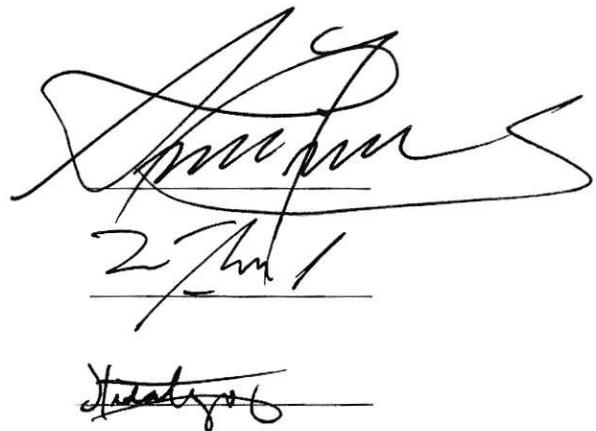
Ha sido aprobado por la Comisión de Evaluación del Seminario de Título como requisito para optar al título de Químico Ambiental

Comisión

Prof. Patrocinante: Dr. Patricio Rivera Latorre

Dr. Hernán Ríos Peñailillo

Lic. Julio Hidalgo Carvajal



The image shows three handwritten signatures in black ink, each written over a horizontal line. The top signature is the most prominent and appears to be 'Patricio Rivera Latorre'. The middle signature is 'Hernán Ríos Peñailillo' and the bottom signature is 'Julio Hidalgo Carvajal'.

ÍNDICE GENERAL

GLOSARIO	vii
RESUMEN	xii
ABSTRACS	xiii
INTRODUCCIÓN	1
1-ANTECEDENTES GENERALES	4
1.1 COMISIÓN CHILENA DE ENERGÍA NUCLEAR	4
1.2 ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL	4
1.3 DETALLES OPERACIONALES	5
1.4 CEN LA REINA	6
1.4.1 Procesos y actividades más relevantes	7
1.5 CEN LO AGUIRRE	8
1.5.1 Procesos y actividades más relevantes	8
1.6 PROYECTO REGESAM	10
2-MINIMIZACIÓN DE RESIDUOS EN LA CCHEN	11
2.1 MINIMIZACIÓN DE RESIDUOS	11
2.1.1 Reducción en la fuente	12
2.1.2 Reciclaje	12
2.2 IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MINIMIZACIÓN	16
2.3 INVENTARIO DE RESIDUOS	16
2.3.1 Generación de residuos en la CCHEN	17
2.3.2 Observaciones del inventario	19
a) Reactivos químicos en desuso y/o vencidos	20
b) Reactivos químicos vencidos en mal estado	20
c) Residuos provenientes de operaciones de laboratorio	20
d) Residuos provenientes de procesos	21
e) Residuos no identificados	21
2.4 IDENTIFICACIÓN DE OPORTUNIDADES DE MINIMIZACIÓN Y OPCIONES DE MANEJO	22
2.4.1 Prevención de la generación	23
a) Sustitución de productos	23

b) control en la fuente	24
2.4.2 Reciclaje	27
a) Reciclaje interno	27
b) Reciclaje externo	28
3- MANEJO DE RESIDUOS NO IDENTIFICADOS	31
3.1 PROBLEMÁTICA DE LOS RESIDUOS QUÍMICOS DESCONOCIDOS	31
3.2 CARACTERIZACIÓN BÁSICA DE PELIGROSIDAD	32
3.3 PROCEDIMIENTOS PARA IDENTIFICAR LA PELIGROSIDAD DE RESIDUOS DE COMPOSICIÓN DESCONOCIDA	33
3.3.1 Descripción física	33
3.3.2 Reactividad con el agua	34
3.3.3 Solubilidad en el agua	34
3.3.4 pH y posible información de neutralización	34
3.3.5 Inflamabilidad	34
3.3.6 Presencia de oxidantes	35
3.3.7 Presencia de oxidantes fuertes	36
3.3.8 Presencia de sulfuros	36
3.3.9 Presencia de cianuros	36
3.3.10 Presencia de halógenos	37
3.4 ALMACENAMIENTO Y DISPOSICIÓN DE RESIDUOS DE COMPOSICIÓN DESCONOCIDA	37
3.4.1 Almacenamiento de residuos de composición desconocida	39
3.4.2 Disposición de residuos de composición desconocida	40
a) Reducción del número de envases	40
b) Clasificación de residuos previa disposición ante destinatarios autorizados	41
4-TRATAMIENTOS Y DISPOSICIÓN DE RESIDUOS QUÍMICOS EN CCHEN	43
4.1 CONSIDERACIONES GENERALES DEL TRATAMIENTO DE RESIDUOS	43
4.1.1 Tratamiento físico	44
4.1.2 Tratamiento químico	44
4.1.3 Tratamiento biológico	44
4.2 SELECCIÓN DEL TIPO DE TRATAMIENTO	45
4.2.1 Tipo de residuos a tratar	45
4.2.2 Cantidad de residuo a tratar	45
4.2.3 Costo económico	46

4.2.4	Consideraciones ambientales	46
4.3	TRATAMIENTO DE RESIDUOS EN CCHEN	46
4.3.1	Residuos y reactivos químicos vencidos a ser tratados	47
4.3.2	TRATAMIENTO DE RESIDUOS Y REACTIVOS QUÍMICOS VENCIDOS	48
4.3.2.1	Hidróxido de sodio	49
4.3.2.2	Ácidos (Clorhídrico, nítrico y sulfúrico)	51
4.3.2.3	Ácido iodhídrico	51
4.3.2.4	Ácido pícrico	54
4.3.2.5	Arsénico en solución	57
4.3.2.6	Bromo	60
4.3.2.7	Fósforo tricloruro	62
4.3.2.8	Mercurio en solución	65
4.3.2.9	Metales en medio ácido	67
4.4	EVALUACIÓN DE PRUEBAS Y SELECCIÓN DE TÉCNICAS MÁS ADECUADAS	72
4.5	DISPOSICIÓN DE RESIDUOS	73
4.5.1	Disposición ante destinatarios autorizados	73
4.5.2	Eliminación y descarga de residuos	74
4.5.3	Formulario de descarga	77
5-	EVALUACIÓN DE COSTOS	79
5.1	COSTOS Y BENEFICIOS DEL TRATAMIENTO DE RESIDUOS	79
5.2	COMPARACIÓN DE COSTOS DE DISPOSICIÓN ENTRE RESIDUOS TRATADOS Y NO TRATADOS	80
5.2.1	Costos del tratamiento de residuos	80
5.2.2	Costos de disposición ante destinatarios autorizados	82
5.3	SELECCIÓN DE REACTIVOS	85
5.4	COMPARACIÓN DE COSTOS EMPLEANDO RECICLAJE INTERNO	88
5.4.1	Incidencia del transporte	93
5.5	CONSIDERACIONES FINALES DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL TRATAMIENTO DE RESIDUOS EN CCHEN	95
5.5.1	Procedimiento general de tratamiento in-situ de residuos químicos	97
	DISCUSIONES Y RECOMENDACIONES	99
	CONCLUSIONES	103
	BIBLIOGRAFÍA	106
	APÉNDICE I REDUCCIÓN EN EL ORIGEN	108
	APÉNDICE II INCOMPATIBILIDAD DE RESIDUOS PELIGROSOS	110

APÉNDICE III LEGISLACIÓN RELATIVA A RESIDUOS PELIGROSOS	117
APÉNDICE IV HOJAS DE DATOS DE SEGURIDAD	120
APÉNDICE V TÉCNICAS DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS DE LABORATORIO	121

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Productos químicos y reactivos de laboratorio recibidos por proyecto REGESAM durante el 2001	19
Tabla 2 Residuos químicos diferenciados de acuerdo al origen	22
Tabla 3 Medidas de minimización adaptables a los residuos generados en CCHEN	29
Tabla 4 Código de almacenamiento	39
Tabla 5 Características de peligrosidad relativas a las categorías establecidas para la disposición	42
Tabla 6 Residuos y reactivos seleccionados para ser tratados	47
Tabla 7 Contenido de solución clorhídrica	48
Tabla 8 Resumen del tratamiento de NaOH	50
Tabla 9 Resumen del tratamiento del HI	53
Tabla 10 Resumen del tratamiento del Ácido pícrico	57
Tabla 11 Resumen del tratamiento de solución de Arsénico	59
Tabla 12 Resumen del tratamiento de Bromo	61
Tabla 13 Resumen del tratamiento de Fósforo tricloruro	64
Tabla 14 Resumen del tratamiento de solución de mercurio	66
Tabla 15 Resumen del tratamiento de solución de mercurio	69
Tabla 16 Resumen de tratamientos realizados	70
Tabla 17 Concentración de soluciones descargadas	75
Tabla 18 Concentración de metales en la solución de HCl al 10% después del tratamiento con NaOH al 10%	76
Tabla 19 Ejemplo de formulario de descarga al sistema de alcantarillado	78
Tabla 20 Costos de reactivos de acuerdo a los tratamientos realizados	81
Tabla 21 Costos de disposición ante destinatarios autorizados	82
Tabla 22 Comparación de costos entre tratamiento y disposición para un mismo residuo	83
Tabla 23 Comparación del costo de reactivo para la neutralización de 50 lts de NaOH al 10%	86
Tabla 24 Comparación de costos de disposición de NaOH	86

Tabla 25 Comparación de costos de disposición para un residuo cuyo Producto final de tratamiento se debe disponer ante un destinatario Autorizado	89
Tabla 26 Comparación de costos de disposición para HNO ₃ 50% y NaOH 10%	92

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Organigrama de la estructura organizacional de CCHEN	5
Figura 2 CEN La Reina	6
Figura 3 Plano de ubicación de CEN La Reina	7
Figura 4 CEN Lo Aguirre	8
Figura 5 Plano de ubicación de CEN Lo Aguirre	9
Figura 6 Esquema de prioridades de minimización de residuos	15
figura 7a Origen de residuos líquidos recolectados por REGESAM durante el 2001	17
Figura 7b Volumen de residuos líquidos recolectados por REGESAM durante el 2001	17
Figura 8 Tipos de residuos líquidos recolectados por REGESAM durante el 2001	18
Figura 9 Orden secuencial de ensayos de peligrosidad	38
Figura 10 Diagrama explicativo del procedimiento de destrucción del Ac. Pícrico	55
Figura 11 Alternativas de disposición de residuos	79
Figura 12 Comparación de costos (destinatario autorizado v/s tratamiento)	87
Figura 13 Comparación de costos de tratamiento, transporte y recepción para el NaOH al 10 %	94
Figura 14 Costo de tratamiento v/s costo de disposición	95

GLOSARIO

Para un mayor entendimiento de los conceptos mencionados, se encuentran las siguientes definiciones aplicadas al ámbito de la presente memoria de título:

Área de almacenamiento o acopio: Lugar físico habilitado para almacenar residuos.

Acopio: Sinónimo de almacenaje

Bolsa de reactivos: Sistema computacional, que pone a disposición del personal de la CCHEN los reactivos en uso y aquellos considerados como residuos.

Caracterización: Métodos que permiten determinar las características de un material o compuesto.

Contenedor: Aparato portable en el cual un residuo es segregado, almacenado, transportado, tratado o de cualquier otra forma manipulado.

Corrosividad: Una de las características de residuo peligroso, se refiere al pH de un ácido o base o su habilidad para corroer acero.

Consolidado del destinatario: Formulario, debidamente llenado, que debe ser completado por el Destinatario de los residuos, que contiene un resumen de las cantidades y tipos de residuos recepcionados durante un mes calendario, como asimismo el número de los Documentos de Declaración recepcionadas por el Destinatario.

Consolidado del generador: Formulario, debidamente llenado, que debe ser completado por el Generador de residuos, que contiene un resumen de las cantidades y

tipo de residuos generados durante un mes calendario, como asimismo el número y fecha de los Documentos de Declaración debidamente emitidos por el generador.

Descarga de residuos: Se refiere al acto de descargar los residuos líquidos a cuerpos de agua receptores (alcantarillado, aguas superficiales, aguas subterráneas).

Desecho sólido industrial: Todo desecho sólido o semisólido resultante de cualquier proceso u operación industrial que no posee ninguna utilidad. Se incluyen en esta definición los residuos o productos de descarte, sean éstos líquidos o gaseosos. El carácter de desecho sólido de los últimos lo aporta el contenedor o recipiente que los contiene.

Destinatario autorizado: Toda persona natural o jurídica responsable de una instalación expresamente autorizada para recepcionar residuos ya sea para su manejo, tratamiento, reciclado o disposición final.

Detoxificación de residuos: Se refiere a la remoción parcial o total de los constituyentes tóxicos de un residuo, por medio de la aplicación de algún tratamiento como por ejemplo la precipitación.

Disposición de residuos: Acto de descargar, depositar, o enviar un residuo a un destinatario autorizado.

Disposición directa: Envío de un residuo a un destinatario autorizado sin previo tratamiento.

Disposición final: procedimiento de eliminación mediante el depósito definitivo en el suelo de los residuos peligrosos, con o sin tratamiento previo.

Disposición indirecta: Envío de un residuo a un destinatario autorizado después de haberle aplicado un tratamiento previo.

Documento de declaración: Formulario debidamente llenado, que acompaña al residuo desde su punto de generación hasta su destino final.

Eliminación: Cualquiera de las operaciones destinadas a la desaparición de un residuo como tal.

Generador: Toda persona natural o jurídica (laboratorio, industria o cualquier establecimiento industrial) que, producto de algún proceso o actividad, genere o dé origen a algún residuo de cualquier característica.

Gestión: Es el conjunto de actividades encaminadas a dar a los residuos el destino más adecuado y de acuerdo con sus características, para la protección de la salud humana, los recursos naturales y el medio ambiente.

Igniciabilidad: Una de las características de un residuo peligroso, se refiere a la habilidad de un residuo para quemarse.

Incompatibilidad: Riesgo potencial de explosión, generación de humos tóxicos, incendio, etc. Al mezclar dos o más sustancias determinadas

Manejo: La recolección, el transporte y la eliminación de los residuos, incluida la vigilancia de los lugares de eliminación.

Material radiactivo: cualquier material que tenga una actividad específica mayor de 2 milésimas de microcurio por gramo.

Neutralización: Un método de tratamiento químico para residuos peligrosos corrosivos por la adición de un ácido o base para hacer neutral al residuo.

Precipitación: Un método de tratamiento químico de residuos peligrosos en donde una sustancia es separada desde la solución, o suspendida por un cambio químico o físico.

Prevención: Evitar la generación de residuos antes de su eliminación.

Reactivo excedente: Reactivo químico sobrante de alguna experiencia de laboratorio u otra operación. También se puede entender como reactivo en desuso.

Reciclaje: Proceso de transformación de ciertos materiales contenidos en los residuos en materia prima secundaria para procesos productivos.

Residuo químico: Sustancia química o mezcla de éstas que se genera directa o indirectamente como producto o subproducto de algún proceso o actividad y que en principio es potencialmente utilizable.

Residuo químico convencional: Nomenclatura aplicable a CCHEN y se refiere a los residuos químicos que no son radiactivos.

Residuo peligroso: Se define como una sustancia que esté incluida en los listados de la norma NCh 2.120 1/9 ó que posea alguna de las siguientes características: corrosividad, inflamabilidad, reactividad, toxicidad.

Resolución de Autorización del SESMA. (a través de la Resolución 5081): Documento oficial del SESMA, en el que se autoriza la disposición de Residuos Sólidos Industriales, indicando los tipos de residuos autorizados y los correspondientes destinatarios autorizados.

Reutilización: Técnicas de reaprovechamiento de un material o producto, sin cambiar su naturaleza original.

Segregar: Separar aquellos residuos por sus características o composiciones, para facilitar su eliminación.

Sistema de gestión de residuos (SGR): Concepto que se refiere a una serie de acciones de manejo y control de residuos adoptadas por cualquier empresa o institución generadora de estos.

Transportista: Toda persona natural o jurídica (empresa, institución u organismo) que transporte algún desecho sólido industrial. Si el transporte del residuo o desecho lo realiza el mismo generador, éste será considerado también Transportista.

Tratamiento: Proceso químico, físico o biológico que se le aplica a un residuo o desecho con el objeto de destruirlo, disminuir la peligrosidad o recuperar algún material según sea el caso.

RESUMEN

Este trabajo surge a raíz de la problemática presentada por la generación de residuos químicos convencionales en la Comisión Chilena de Energía Nuclear (CCHEN) y se enfoca principalmente en el estudio de alternativas de manejo de éstos.

El estudio de alternativas de manejo, se debe hacer necesariamente por medio de un Sistema de Gestión de Residuos (SGR), sistema que actualmente se encuentra en desarrollo por parte de CCHEN.

Las actividades desarrolladas fueron en primer lugar la elaboración y actualización de un inventario de residuos, a partir del cual se identificaron los tipos de residuos generados y las instalaciones generadoras de éstos.

Sobre la base de la información extraída del inventario, se analizaron las diferentes alternativas de manejo de residuos que involucra el desarrollo de un SGR, en particular y con énfasis en las etapas finales las cuales son el tratamiento y disposición de éstos, enfocándolo principalmente desde el punto de vista de tratamientos de residuos de laboratorios, ya que éstos son los que mayormente se generan.

De esta manera, el trabajo realizado proporciona soluciones concretas y posibles para el tratamiento a pequeña escala de residuos químicos, de acuerdo a las necesidades existentes en CCHEN, obviamente en el marco de un SGR que debe ser implementado a cabalidad en un futuro cercano.

ABSTRACS

This work arises from the problem presented by the generation of conventional chemical waste in the Chilean Commission of Nuclear Energy (CCHEN) and it is focused mainly in the study of alternative of treatment of these.

The study of options of management, should necessarily be made by means of the Waste Management System (SGR), which at the moment is under development in CCHEN.

The developed activities were the elaboration and upgrade of an inventory of waste in the first place, continued by the identification of the types of generated waste and the generating sources of these.

Based on the extracted information from the inventory, the different alternatives of waste management were analyzed according to the development of a SGR, including specially the final stages which are the treatment and disposal of these, with a special emphasis in laboratories waste which are mostly generated.

So, the carried out work provides concrete and possible solutions of treatment of small quantities of chemical waste, according to the real necessities in CCHEN, obviously in the scope of a SGR that should be implemented in the short term.

INTRODUCCIÓN.

Empresas, instituciones y laboratorios, en algún momento tienen ó tendrán la necesidad de poner en marcha un Sistema de Gestión de Residuos (SGR). Los motivos son diversos, ya sea por seguridad e higiene del personal, problemas de infraestructura ó bien por concientización ambiental, la necesidad de lograr un efectivo SGR será de mucha importancia.

Este ha sido el caso de la Comisión Chilena de Energía Nuclear (CCHEN), que a partir del año 2000 creó el Proyecto de Regularización de Gestión Ambiental (REGESAM) de los Centros Nucleares.

Una de las múltiples actividades de REGESAM fue el diseñar y aplicar algunas medidas que son importantes dentro de un SGR, la elección de estos aspectos no fue azarosa, sino más bien prioritaria de acuerdo a las necesidades presentes.

Dentro de estas necesidades se encuentra el poder disponer los residuos que se generan en las diversas instalaciones de CCHEN de modo de evitar acumulaciones excesivas en las respectivas dependencias. Para poder lograr una correcta disposición, fue necesario recurrir a una actualización de inventario y a la aplicación de un sistema de recolección de residuos entre otras cosas.

Si bien la generación de residuos convencionales (no radiactivos) en estas instalaciones es muy variada en su composición (chatarra, baterías, podas, etc.), en este trabajo se enfoca la problemática de los residuos químicos convencionales, los que se generan en diversas instalaciones, en su mayoría laboratorios, tanto de investigación como de producción.

El tema del presente trabajo es estudiar formas de minimización y tratamiento de reactivos químicos excedentes o vencidos y residuos químicos de características bien definidas, susceptibles a ser realizados en las instalaciones de la CCHEN, o buscar las formas más convenientes de disposición para éstos. El espacio de almacenaje de los residuos químicos es limitado, y se generan en forma permanente, son muy diversos en su composición y además se encuentran en pequeñas cantidades, lo que los hace poco interesantes para las grandes empresas que efectúan la disposición de este tipo de residuos (destinatarios autorizados), castigando este servicio con un alto costo.

I. OBJETIVOS GENERALES :

- Contar con procedimientos probados y verificados para efectuar la inactivación (neutralización, reducción de toxicidad o de volumen, etc.), de una diversa gama de reactivos excedentes, vencidos y de residuos químicos generados en pequeña cantidad en las diversas instalaciones de la CCHEN.
- Contar con una alternativa viable (evaluada técnica y económicamente) para efectuar la disposición de algunos residuos químicos generados en la CCHEN.

II. OBJETIVOS ESPECÍFICOS :

- Estudiar y proponer metodologías de tratamiento posibles de implementar.
- Analizar empíricamente la eficacia de los métodos propuestos.
- Evaluar los costos asociados a la implementación.

- Comparar los resultados con otras alternativas de disposición, en relación a los costos asociados a ésta.

III MATERIALES Y MÉTODOS.

La metodología aplicada en el desarrollo de este trabajo fue :

- Búsqueda y estudio de antecedentes tanto bibliográficos como de identificación de residuos químicos (reactivos en desuso o provenientes de procesos desarrollados) generados en centros nucleares de la CCHEN.
- Selección preliminar de metodologías de tratamiento posibles de implementarse.
- Pruebas de laboratorio, para “validar o verificar” la eficacia de los métodos propuestos.
- Evaluación de las pruebas y selección de las alternativas técnicas más adecuadas.
- Evaluación de costos para su implementación (identificación de insumos y materias primas, equipamiento e infraestructura, personal, especificación de procedimientos). Comparación con otras alternativas posibles, esto es, con los costos de disposición asociados a la gestión en empresas autorizadas.
- Desarrollo de los procedimientos para ser aplicados directamente por los laboratorios de la CCHEN o bien, centralizadamente por personal del proyecto REGESAM, definidos de acuerdo a las evaluaciones anteriores.

CAPITULO 1. ANTECEDENTES GENERALES

1.1 COMISIÓN CHILENA DE ENERGÍA NUCLEAR

La Comisión Chilena de Energía Nuclear (CCHEN), es un organismo autónomo del Estado, fue creado en Abril de 1964 por la Ley 16.319, con la responsabilidad de promover y fomentar la investigación, desarrollo y adaptación de los usos pacíficos de la energía nuclear, como también de su regulación, control y fiscalización, entregando asesoría técnica y legal al Supremo Gobierno y transfiriendo tecnologías a sectores externos, contribuyendo de esta manera al desarrollo económico del país, al bienestar social y a la seguridad de la población.

1.2 ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL

La CCHEN es dirigida y administrada por un Consejo Directivo integrado por 6 miembros pertenecientes a diferentes entidades gubernamentales, entre las que se cuentan las Fuerzas Armadas, Consejo de Rectores de las Universidades Chilenas, Ministerio de Minería y Ministerio de Salud, los cuales están a cargo de la nominación de un Director Ejecutivo, del que dependen directamente 4 departamentos operativos y 4 funcionales y 3 oficinas asesoras : Difusión y Extensión, Cooperación Técnica y Relaciones Externas y Auditoría Interna.

Los 4 departamentos operativos son: Seguridad Nuclear y Radiológica (DSNR), Aplicaciones Nucleares (DAN), Materiales Nucleares (DMN), Investigación y Desarrollo (DID), y los 4 departamentos funcionales que tienen como objetivo apoyar a los anteriores son: Asuntos Jurídicos, Ingeniería y Sistemas, Planificación y gestión, Administración y Finanzas.

A continuación se encuentra el organigrama de la CCHEN :

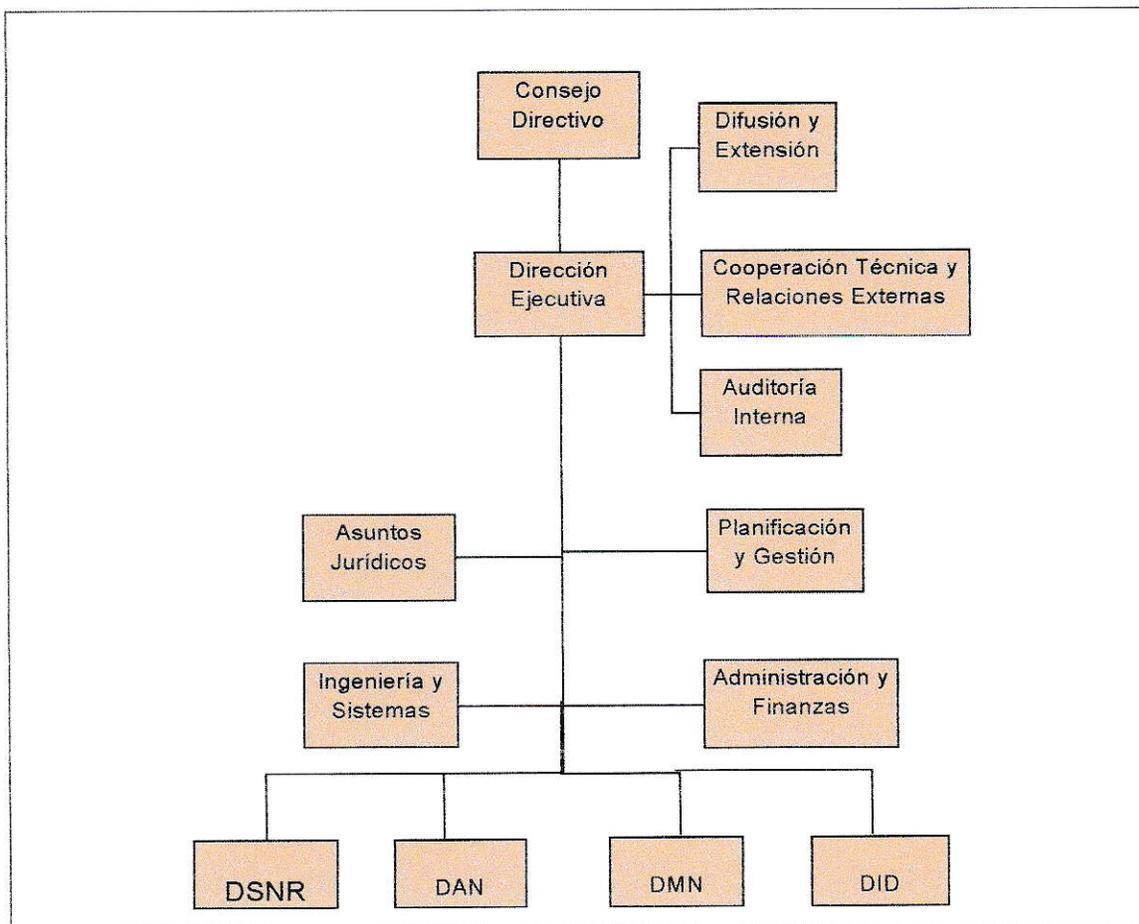


Figura 1: Organigrama de la estructura Organizacional de la CCHEN

1.1 DETALLES OPERACIONALES

En la CCHEN trabajan actualmente un total de 330 personas, repartidas en tres sedes: Centro Nuclear La reina con aproximadamente 200 personas, Centro nuclear Lo Aguirre con aproximadamente 85 personas y Sede Central, alrededor de 45 personas. En los dos centros nucleares hay actividades de investigación, desarrollo y producción de algunos productos (radioisótopos y radiofármacos) en pequeña escala, en tanto en la Sede Central se realizan labores de gestión y administración.

1.4 CEN LA REINA

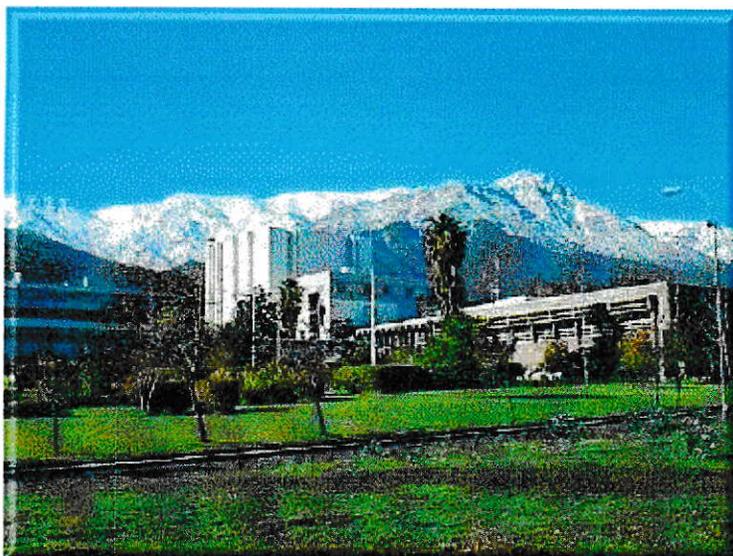


Figura 2:CEN La Reina

El CEN La Reina está ubicado en Avenida Nueva Bilbao 12501, a 11,5 Km. del centro de Santiago, hacia el este, situándose a los pies de la Cordillera de los Andes, a 770 metros sobre el nivel del mar. Las coordenadas del sitio son: 70° 31` longitud oeste y 33° 25` latitud sur. Tiene una forma casi cuadrada de 530*560 m con un área útil de 29 hectáreas. Los cursos de agua más próximos son el Canal El Bollo, quebrada san Ramón, Canal san Carlos y el río Mapocho (Auditoría CCHEN, 2001).

1.4.1 PROCESOS Y ACTIVIDADES MÁS RELEVANTES

- Funcionamiento del reactor nuclear de investigación RECH-1 (plantas de tratamiento de aguas de piscina y aporte de aguas de reposición)
- Producción de radioisótopos y radiofármacos
- Gran diversidad de laboratorios químicos (Agricultura, Radiactividad Ambiental, Metrología Química, Muestras ambientales, Laboratorios limpios, Dosimetría personal, Dosimetría de productos irradiados, Laboratorios de materiales, Difracción de Rx, Laboratorio Citogenética, etc.).
- Instalaciones experimentales de física de láseres y fuentes pulsadas
- Instalaciones de irradiación experimentales
- Banco de tejidos biológicos, bioterio, laboratorio clínico
- Almacenamiento temporal de desechos radiactivos de vida media corta y baja actividad



Figura 3: Plano de ubicación de CEN La Reina

1.5 CEN LO AGUIRRE

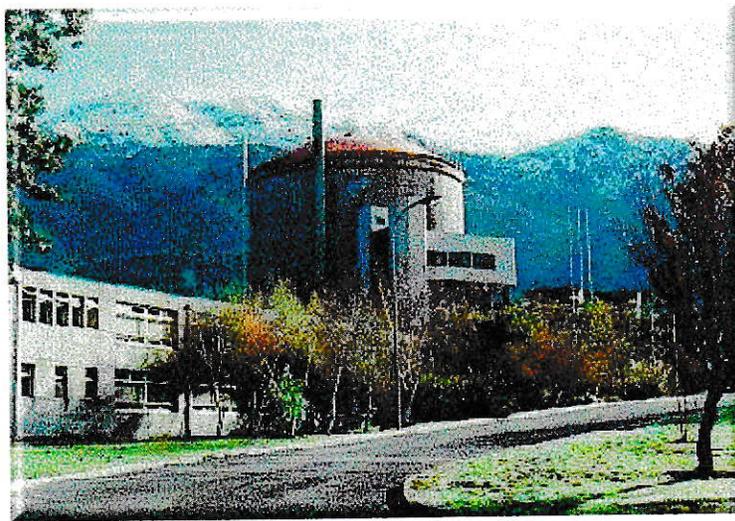


Figura 4:CEN Lo Aguirre

El recinto del CEN Lo Aguirre se encuentra ubicado en la pequeña cuenca del mismo nombre, que se sitúa en la vertiente oriental del cordón lo Prado, a una distancia de 28 Km. del centro de Santiago, aproximadamente a 400 metros al norte de la ruta 68, camino a Valparaíso. Sus coordenadas geográficas corresponden a 33° 27' latitud sur, 70° 31' longitud oeste y una elevación de aproximadamente 561 m.s.n.m. El recinto se encuentra en un pequeño valle a modo de anfiteatro de terrenos cuya elevación oscila entre los 700 y 1850 m.s.n.m. (Auditoría CCHEN, 2001)

1.5.1 PROCESOS Y ACTIVIDADES MAS RELEVANTES

- Planta de fabricación de combustible nuclear
- Planta de irradiación multipropósito con fuente de cobalto-60 (nivel semi-industrial)

- Laboratorios químicos (Lab. Químico, Fluorescencia de rayos X, Lab. Hidrometalurgia, Lab. Cromatografía)
- Unidad de gestión de residuos radiactivos con laboratorios, planta de tratamiento de residuos sólidos y pabellón de almacenamiento temporal
- Reactor nuclear de investigación actualmente detenido. (Sólo se realiza el mantenimiento de la calidad del agua a través de una planta de tratamiento basada en columnas de intercambio iónico).
- Aparte de ellos, existen instalaciones auxiliares tales como talleres eléctrico, electrónico y mecánico, casino, bodegas y biblioteca.

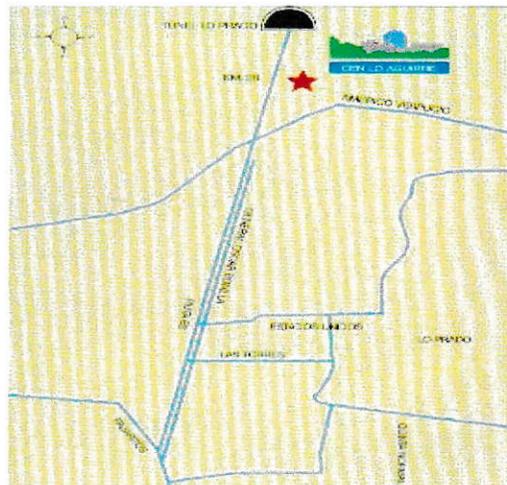


Figura 5: Plano de Ubicación de CEN Lo Aguirre

1.6 PROYECTO REGESAM

El Proyecto Regularización de la Gestión Ambiental en la CCHEN (REGESAM), fue creado con el objetivo de lograr que las instalaciones nucleares de la CCHEN se adecuen al cumplimiento de las nuevas normativas ambientales vigentes en el país.

REGESAM coordina sus actividades con varias unidades de la CCHEN, pertenecientes a diferentes departamentos como: Servicio de Protección Radiológico (SERPRO), Radiactividad Ambiental (RADAM), Laboratorio químico, Laboratorio FRX, Prevención de Riesgo y Licenciamiento, entre otros.

Dentro de las actividades desarrolladas y en ejecución se encuentra el diagnóstico inicial de la situación ambiental, priorización de aspectos ambientales significativos, establecimiento de planes de acción para la regularización de la gestión ambiental e implementación gradual de los mismos de acuerdo a las condiciones presupuestarias y de personal.

CAPITULO 2. MINIMIZACIÓN DE RESIDUOS EN LA CCHEN

2.1. MINIMIZACIÓN DE RESIDUOS

Un principio de cualquier política de gestión de residuos es evitar su generación, impulsando las medidas de prevención antes que las medidas de tratamiento o disposición. Sin embargo, generalmente no es posible lograr una generación “cero” ya que siempre existirá una determinada cantidad de residuos que debe manejarse en forma adecuada, de acuerdo al volumen generado y a la peligrosidad de los mismos. Como resultado de esto, surge el concepto de minimización de residuos, como la reducción en lo posible, de volumen y/o peligrosidad de los residuos. Los beneficios directos de la reducción y manejo adecuado de residuos en una empresa, no solo recaen en el ambiente, sino que permiten obtener beneficios económicos por el ahorro en los costos de tratamiento, transporte y/o disposición final. Junto a esto, también pueden obtenerse beneficios en cuanto al cumplimiento de la normativa, reducción del riesgo a los trabajadores, incremento en la competitividad y prestigio de la empresa.

Los principios básicos en que se fundamenta la minimización de residuos son:

- **Reducción en la Fuente:** Cualquier actividad que reduce o elimina la generación de residuos peligrosos en un proceso o actividad.
- **Sistema de Reciclaje:** Cualquier actividad que reduce el volumen y/o toxicidad de residuos peligrosos con la producción o generación de un material valioso el cual es subsecuentemente utilizado.
- **Sistema de Tratamiento:** Cualquier actividad que reduce el volumen y/o la toxicidad de residuos peligrosos sin la producción o generación de un material valioso.

2.1.1 REDUCCIÓN EN LA FUENTE

La reducción en la fuente es el componente más importante de la minimización de residuos y consiste en la sustitución de productos y el control en la fuente de acuerdo a los siguientes conceptos:

a) Sustitución de productos

- Reemplazo del producto.
- Alteración de la composición del producto.

La sustitución de productos significa, el reemplazo de un producto original por otro producto que tenga como característica el mismo uso final, o la alteración de algún componente de un producto original que resulta en un descenso o eliminación de la generación de residuos peligrosos.

b) Control de la fuente

El control en la fuente significa la reducción o eliminación de la generación de residuos peligrosos en un proceso, a través de la sustitución o alteración de materias primas, de tecnologías o de cambios en procedimientos (prácticas de buena operación o manejo del proceso). Ver apéndice I “Reducción en el origen”.

2.1.2 RECICLAJE

La decisión de reciclar un material depende de las características de los residuos o mezcla de éstos.

El reciclaje está caracterizado por tres grandes aplicaciones: (1) el uso directo o re-uso de un residuo en un proceso; (2) la recuperación de un material secundario para un uso final separado tal como la recuperación de un metal de una borra, y (3) la

remoción de impurezas de un residuo para obtener una sustancia relativamente pura reutilizable.

a) Recuperación de materiales

Los factores que influyen en la decisión de si una organización recicla o no sus residuos incluyen: el tipo de proceso de generación de residuos, el volumen, composición y uniformidad de los residuos; si se han identificado usos o reutilizaciones de los residuos; y disponibilidad y precios de materiales puros comparados con los costos de reciclar y almacenar los residuos. Por otra parte, la toxicidad de los residuos también debe ser un factor directo en la reciclabilidad de los residuos generados.

Los disolventes tienden a ser recuperados en mayor proporción que otros residuos. Esto se debe a que existe tanto la tecnología como el mercado para los disolventes reciclados. La tecnología disponible (destilación por ejemplo) es relativamente fácil de operar y puede entregar altas purzas (95 % o mayor). En otros casos los procesos de producción generan residuos cuya recuperación no es práctica puesto que no tienen usos directos en la producción.

b) Recuperación o conservación de energía

Los residuos que pueden ser usados para reciclo de materiales también pueden ser reutilizados o recuperados varias veces, mientras que el uso en recuperación de energía destruye el material. Por esto, solamente cuando el residuo es demasiado “sucio” o contaminado se considera para recuperar energía.

Actualmente existen nuevas tecnologías para la recuperación de energía, y residuos que contienen solventes están siendo usados por su alto valor energético. Una gran cantidad de residuos con alto poder calorífico se están utilizando en plantas de producción de cemento y en hornos de calcinación (Curso suspel, 2000).

c) Otras tecnologías de reciclaje

Los residuos que se seleccionan para su recuperación o reciclaje deben tener usualmente altas concentraciones, además deben ser uniformes, es decir, no contener más de un contaminante. Otros factores que deben cumplir para ser reciclados incluyen:

- Un mercado para el material reciclado que sea económicamente viable;
- El material reciclado debe cumplir con requisitos de pureza para los procesos de manufactura.

Debido a que los residuos reciclables deben ser competitivos con los materiales originales que reemplazan, éstos deben a menudo ser procesados antes de ser reutilizados. La recuperación de residuos incluyen procesos tales como separaciones químicas, físicas y electroquímicas. Algunas de las tecnologías que se usan incluyen:

- Destilación de residuos con disolventes;
- Decloración de residuos halogenados;
- Concentración de metales con técnicas tales como lixiviación, extracción por disolventes, intercambio iónico, precipitación, cristalización y evaporación para tratar residuos diluidos de borras metálicas.

Por otro lado, es importante señalar que al identificar y elegir medidas de minimización de residuos se siga un orden de prioridad como el que se muestra en la figura 6.

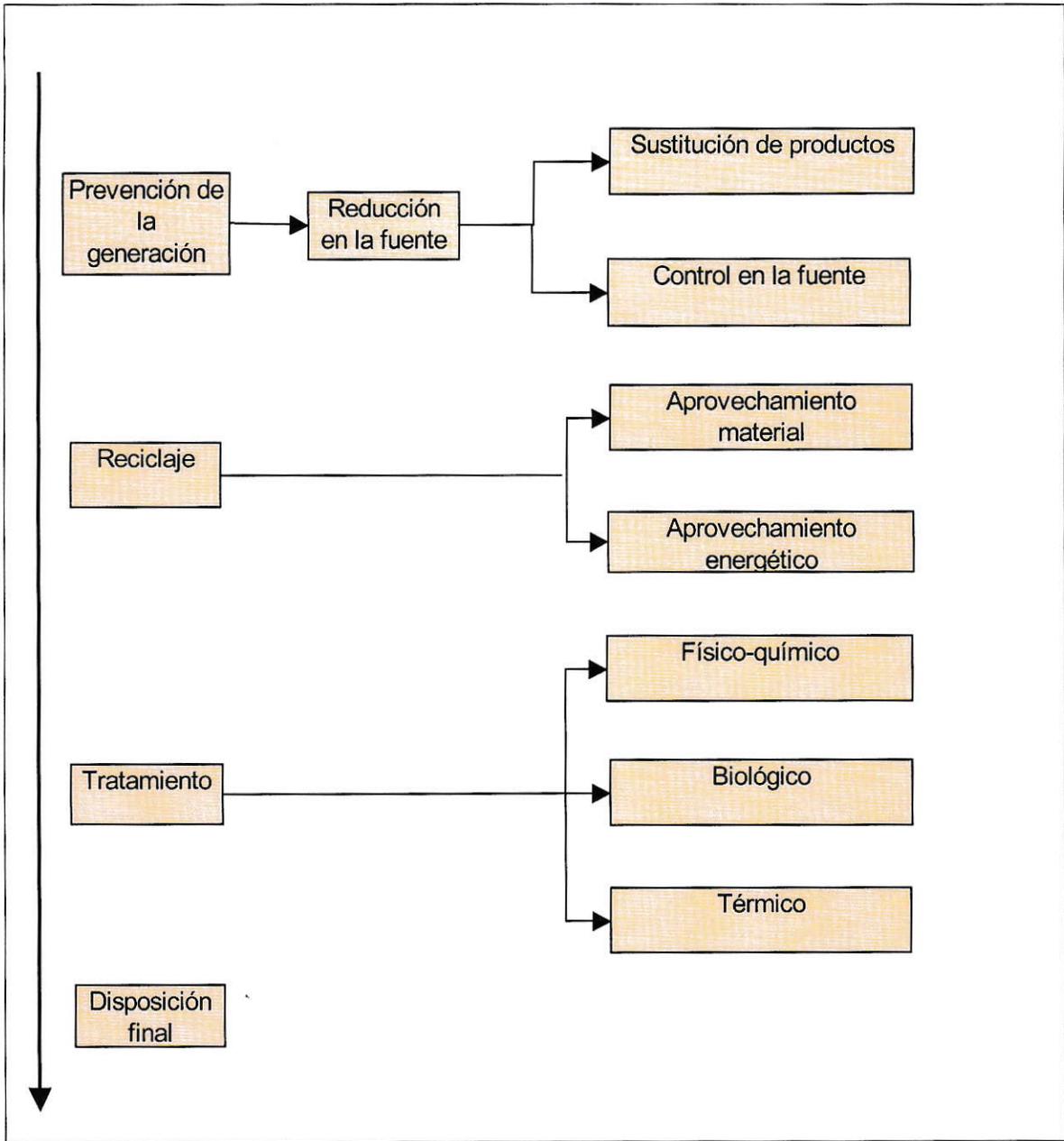


Figura 6: Esquema de prioridades de minimización de residuos

Como se aprecia en el diagrama 6, las últimas etapas que deben ser consideradas en un programa de minimización de residuos, son el tratamiento y la disposición final, principalmente por los costos que demandan. Estas etapas se tratan en los siguientes capítulos.

2.2 IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MINIMIZACIÓN

Si bien, la confección o seguimiento de un esquema de minimización de residuos es de gran utilidad para una empresa u organización, la implementación de este sistema dependerá exclusivamente de la cantidad y tipo de residuos que la empresa genere. Esto significa que cada empresa o institución deberá moldear el sistema de minimización de acuerdo a sus intereses o necesidades.

En el caso de la CCHEN, la generación de residuos químicos convencionales es producida por diversas fuentes donde los mayores contribuyentes son los laboratorios, es por este motivo que la minimización de residuos se debe abordar en forma diferente ya que la generación de residuos por parte de un laboratorio implica situaciones muy distintas a las que presenta una industria.

2.3 INVENTARIO DE RESIDUOS

Los residuos generados en la CCHEN son recolectados por personal del proyecto REGESAM desde las distintas dependencias donde se generan. El control de esta recepción de residuos permite de esta forma la creación de un inventario de residuos.

A continuación se presentan algunos datos relevantes obtenidos del inventario 2001, el cual permite tener una noción de las cantidades y tipos de residuos que se generan en las instalaciones de ambos Centros Nucleares.

2.3.1 GENERACIÓN DE RESIDUOS EN LA CCHEN

Para los fines de este trabajo los residuos sólidos se clasificaron en tres tipos:

- residuos líquidos en contenedores o envases
- residuos sólidos del tipo reactivos de laboratorio
- residuos almacenados (históricos) en los centros nucleares

a) Residuos líquidos en contenedores o envases

De acuerdo a la normativa vigente los residuos líquidos contenidos en envases constituyen residuos sólidos.

El volumen total de residuos líquidos en contenedores o envases ingresado a la bodega de REGESAM fue de 406 L, los que como se verá a continuación, provienen de diferentes laboratorios y poseen una composición variada.

En la figura 7a se muestran las contribuciones porcentuales de los diferentes laboratorios al volumen total ingresado, mientras que en la figura 7b aparecen las composiciones de estos residuos y sus respectivas cantidades en litros.

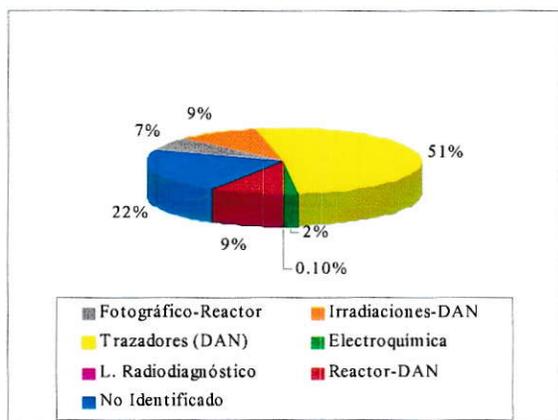


Figura 7a: Origen de los residuos líquidos recibidos por REGESAM (CFN La Reina)

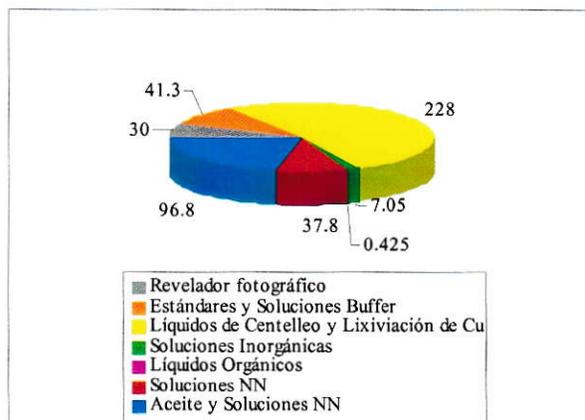


Figura 7b: Volumen (L) de residuos líquidos recolectados por REGESAM (CFN La Reina)

Como se puede apreciar, la mayor contribución pertenece al laboratorio de Trazadores-DAN con 228 litros de los cuales 218 corresponden a soluciones de lixiviación de cobre, siendo los 10 litros restantes líquidos de centelleo orgánico. La segunda mayor contribución pertenece a los líquidos recogidos sin generador identificado, donde se encontró 80 L de solución alcalina no identificada y 15 L de aceites.

En la figura 8 se muestra la diversidad de residuos líquidos en contenedores recibidos por el proyecto REGESAM durante el segundo semestre del año 2001.

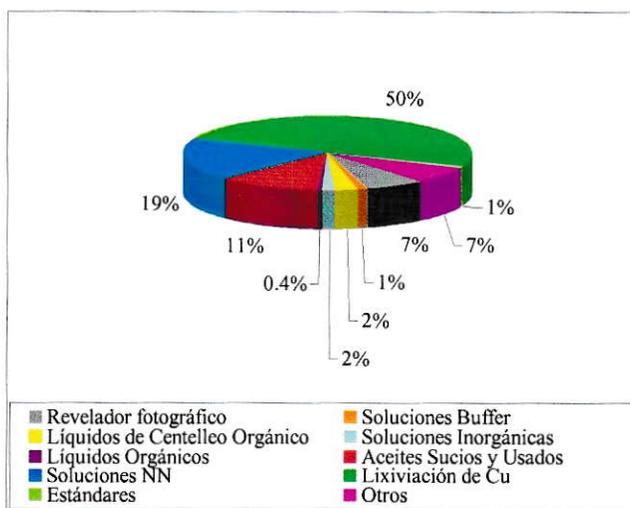


Figura 8: Tipos de residuos recibidos por REGESAM durante el 2001

b) Residuos sólidos del tipo productos químicos y reactivos de laboratorio

En el caso de los productos químicos y reactivos de laboratorio durante el segundo semestre del año 2001 se controló un ingreso total de 301,4 kg de los cuales 280 kg corresponden a Cal, 20 kg a Bórax.

En la tabla 1 a continuación, se presenta el total de Residuos Sólidos del tipo productos químicos y reactivos de laboratorio recibidos.

**Tabla 1 Productos químicos y reactivos de laboratorio recibidos por proyecto
REGESAM/ CEN La Reina**

Residuos Sólidos	Cantidad (kg)	%
Cal	280	92,9
Bórax	20	6,64
Cinc amalgamado	1	0,33
Compuestos orgánicos y Aminoácidos	0,31	0,1
Sulfatos de Cu, Mg, y Zn	0,09	0,03
Total	301,4	100

Cabe señalar que si bien los compuestos orgánicos y aminoácidos se encuentran en pequeña cantidad, se presentan en 30 variedades de compuestos, mientras que los otros residuos están presentes en cantidades significativamente mayores (en kg).

c) Residuos almacenados (históricos) en los centros nucleares

Los residuos almacenados históricos son residuos tanto líquidos como sólidos (no solo químicos), que se han acumulado en un largo periodo de tiempo por diversas causas tales como término o abandono de actividades, compras en exceso, reactivos heredados de un proyecto a otro, etc. El lapso transcurrido para su acumulación es desde el inicio de las actividades en los centros nucleares.

2.3.2 OBSERVACIONES DEL INVENTARIO

Los residuos generados en los Centros Nucleares son originados por diversas fuentes y son de composición muy variada. Además, en una proporción importante estos residuos no son generados en forma periódica como es el caso de los residuos líquidos provenientes de procesos de lixiviación de cobre. En definitiva, los residuos químicos presentes en la CCHEN, se pueden dividir en 5 grupos

- Reactivos químicos en desuso y/o vencidos
- Reactivos químicos vencidos con envases en mal estado
- Residuos provenientes de operaciones de laboratorio
- Residuos provenientes de procesos periódicos o permanentes
- Residuos no identificados

a) Reactivos químicos en desuso y/o vencidos

Son reactivos químicos provenientes de laboratorios que han dejado de ser usados ya sea por el término del proyecto para el cual fue solicitado, cambio en la etapa de experimentación, o bien nunca han sido usados producto de compras en exceso. Por otro lado, la denominación “vencidos”, se refiere en este caso a reactivos químicos cuya fecha de vencimiento ha expirado pero que son potencialmente utilizables, es decir, se podrían usar por ejemplo en experimentación cualitativa o en el tratamiento de residuos como reactivos tratantes.

b) Reactivos químicos vencidos con envases en mal estado

Estos corresponden a los reactivos químicos que han sido almacenados por años y cuyos envases se encuentran en malas condiciones ya sea rotos o con etiquetas deterioradas por lo que su uso se hace impracticable.

c) Residuos provenientes de operaciones de laboratorio

Son residuos que provienen de diferentes operaciones realizadas en distintos laboratorios, de modo que su generación está íntimamente ligada al tiempo que dure la actividad, de forma que se podría generar una sola vez en años.

d) Residuos provenientes de procesos periódicos o permanentes

Son los residuos que se generan en procesos o actividades que se realizan en forma relativamente continua dentro de los Centros Nucleares, por lo cual, la generación de éstos tiene cierta periodicidad.

e) Residuos no identificados

Son residuos que provienen tanto de laboratorios u otras instalaciones a los que se les ha perdido su etiqueta de identificación o no fueron nunca etiquetados, por lo que ahora pasan a ser residuos sin identificación alguna.

En la tabla 2 se muestran algunos residuos ligados a los diferentes grupos antes mencionados.

Tabla 2 Residuos químicos diferenciados de acuerdo al origen

TIPOS DE RESIDUOS	RESIDUOS GENERADOS AL AÑO
Reactivos químicos en desuso y/o vencidos	Gran variedad de reactivos (200 tipos diferentes).
Reactivos químicos vencidos con envases en mal estado	Antiguamente gran variedad, ahora quedan Solo unas 15 entre las que se encuentran ácido pícrico, bromuro y tri cloruro de fósforo entre otros, pero en pocas cantidades.
Residuos provenientes de operaciones de laboratorio	Bórax, cal, soluciones ácidas con metales pesados, Resinas de intercambio iónico
Residuos provenientes de procesos o actividades definidas	Ácido nítrico 100% con trazas de contaminantes (6 L), Líquidos de revelado fotográfico (30 L), Hidróxido de Sodio al 10% (360 L), ácido nítrico 50% (60 L).
Residuos no identificados	Cualquier residuo sólido o líquido de composición desconocida.

2.4. IDENTIFICACIÓN DE OPORTUNIDADES DE MINIMIZACIÓN Y OPCIONES DE MANEJO

Como se ha podido visualizar con anterioridad, para lograr identificar oportunidades de minimización y opciones de manejo, es importante contar previamente con un SGR que permita entre otras cosas, el control y conocimiento de la situación actual de los residuos. De esta forma, se puede entrar a un esquema de priorización de minimización como el de la figura 6 enfocando el trabajo de acuerdo a la situación real,

a las capacidades y posibilidades que se tengan para adoptar las medidas que se consideren pertinentes.

2.4.1 PREVENCIÓN DE LA GENERACIÓN

Siguiendo un esquema de priorización como el de la figura 6 para minimizar residuos, la primera etapa es la prevención de la generación. Esta etapa está orientada a la reducción en la fuente y como se observó anteriormente está constituida por dos tipos de medidas:

- Sustitución de Productos
- Control en la fuente

a) Sustitución de productos

La sustitución de productos si bien es una medida incentivable en cualquier caso, en éste en particular es de más difícil aplicación y a la vez es poco incidente, principalmente debido a que gran parte de los generadores de residuos en CCHEN son los laboratorios, esto implica que los productos que se generan no son continuos sino que se producen durante el tiempo que se desarrolle el proyecto de investigación o desarrollo, lo que reduce considerablemente las opciones de sustitución además del tiempo de estudio de las alternativas de manejo. Por otra parte, cualquier medida concreta que se pueda adoptar no sería en ningún caso definitiva ya que al término y comienzo de otra actividad se tendrán que reformular porque la actividad será otra y el producto será distinto. En consecuencia, por estos motivos la sustitución de productos en CCHEN se ve poco viable.

b) Control en la fuente

El control en la fuente es una buena alternativa para ser considerada. Bajo este punto de vista se encuentran dos opciones claras para minimizar la generación de residuos.

- Sustitución de materias primas
- Cambios de procedimientos

b1) Sustitución de materias primas

La sustitución de materias primas es un concepto que se puede adaptar fácilmente al trabajo de laboratorios orientándolo principalmente a la elección de los reactivos a emplear para el desarrollo de una determinada actividad. Obviamente la elección de este reactivo no deberá afectar el desarrollo normal de la experiencia, pero si puede evitar la generación de residuos en los pasos posteriores.

Un criterio simple de selección se puede ejemplificar para el caso de los solventes, donde siempre será mas oportuno trabajar con un solvente menos tóxico o que posea un punto de inflamación más alto (ver apéndice I “Reducción en el origen”).

b2) Cambios de procedimientos

El desempeño cotidiano de los trabajadores o laboratoristas puede ser extremadamente importante en la reducción de residuos. "Buenas prácticas" o "buena administración laboral" incluyen la capacitación y entrenamiento de los empleados, control de inventarios, incentivar la propia iniciativa de los trabajadores para aumentar la conciencia de la necesidad para la minimización de residuos, y reforzar la mantención de requerimientos para el uso de metodologías preventivas en un esfuerzo para reducir el número de fugas y derrames.

b2.1) Capacitación de los trabajadores

La capacitación de los trabajadores es un aspecto fundamental si se quiere avanzar en un programa de minimización de residuos, y tiene que estar orientada a introducir a los empleados a lo que es un SGR, puntualizando en la identificación, segregación, riesgos y costos tanto humanos como monetarios que implica la minimización de residuos ya que con esto se le da impulso a:

- Una concientización real del problema
- Una correcta toma de decisiones
- Una mayor fluidez de acción de todas las partes involucradas

De esta forma, con una buena capacitación se puede lograr una mayor comunicación al interior de la institución lo que dará como resultado un mejor desarrollo de todas las etapas del SGR.

b2.2) Control de inventario

Al efectuar las compras, se necesita un control de los inventarios para que las compras se reduzcan al mínimo (ya que muchas veces se compran productos químicos en exceso que terminan quedando por décadas en las estanterías, y luego ya envejecidos se convierten en residuos peligrosos que hay que descartar debido a que ya no tienen las características adecuadas para su uso).

En algunos casos se dejan de usar productos por diversos motivos y los mismos pasan a convertirse en estorbos de los que hay que deshacerse. En estas situaciones se debe estimular la redistribución de esos productos que no le son útiles a algunos, pero que necesitan ser comprados o son de utilidad para otros.

b2.3) Buenas prácticas

Como se ha señalado, tanto la capacitación como el control de inventarios son parte de las buenas prácticas de manejo. Sin embargo, es preciso aclarar que las “buenas prácticas” no es un concepto aislado, sino que engloba o es la base para cada una de las medidas de minimización que se puedan llegar a adoptar.

Como un ejemplo se presentan a continuación un listado de acciones de buenas prácticas que se debieran tomar en cuenta:

b.2.3.1) Listado de acciones de buenas prácticas

- Utilizar como prioridad pequeños volúmenes de reactivos químicos en laboratorios. El uso de pequeños volúmenes tiene varias ventajas: reducción de químicos utilizados y de residuos generados, disminución del riesgo de fuego y explosión entre otros.
- Identificar usuarios comunes de un reactivo químico particular. Esto aumentará el uso en conjunto de reactivos químicos y minimizará los requerimientos de almacenaje.
- Uso de servicios del proyecto REGESAM para la redistribución de químicos, o requerimiento de información.
- Mantener la segregación individual de corrientes residuales. Mantener los residuos químicos peligrosos segregados de los no peligrosos. Mantener los residuos químicos reciclables separados de los no reciclables. No mezclar residuos químicos peligrosos con los no peligrosos.

- Desarrollo de un inventario dinámico de los químicos de laboratorio para minimizar la acumulación. Asegurar que todos los químicos en desuso y los residuos químicos estén apropiadamente etiquetados. Rotar el inventario de químicos, utilizando químicos antes que su vida de uso seguro expire.
- Sustituir con químicos menos peligrosos. Por ejemplo, detergentes biodegradables podrían ser sustitutos para limpiar cristalería, en vez de usar disolventes, reducir o eliminar cuando se pueda el uso de benceno, tetracloruro de carbono, acetonitrilo, mercurio, plomo, fenol, y otros químicos altamente tóxicos utilizados en los experimentos.
- Asegurar que los usuarios de químicos estén instruidos en buenas técnicas de experimentación. Por ejemplo, si se requieren solventes para limpiar, reutilizar el solvente gastado en la limpieza inicial y usar solvente nuevo para el enjuagado final.

2.4.2 RECICLAJE

a) Reciclaje interno

El principal tipo de reciclaje interno que se puede producir en CCHEN es el reuso de reactivos, y como se comentó anteriormente la mejor forma de realizarlo es mediante un buen control de inventarios, de esta forma se aborda un grupo importante de residuos como son los reactivos en desuso y los reactivos vencidos.

Cabe destacar que para que el reuso de reactivos tenga éxito, es indispensable crear conciencia e incentivar a los usuarios a adoptar estas medidas. Por esto, el proyecto REGESAM deberá colaborar en la tarea de difusión entre los posibles usuarios para "reubicar" el producto.

Para el caso de disolventes orgánicos, la recuperación mediante destilación puede ser considerada como una opción viable en la medida que se identifique cierta periodicidad en la generación.

b) Reciclaje externo

El reciclaje externo se diferencia del anterior en que se realiza fuera de las instalaciones de CCHEN.

La principal actividad de reciclaje que se produce, es la donación de reactivos a terceros que los requieran. Esta medida contribuye significativamente a la minimización de reactivos en desuso y/o vencidos, pero aún es insuficiente como para considerarla una solución a este problema, por lo que se deben buscar otras alternativas. Sin embargo, el reuso interno es más conveniente puesto que además de cumplir con el mismo objetivo que la donación disminuye los costos internos referentes a las compras de reactivos.

Otra alternativa es buscar empresas externas de reciclaje que puedan trabajar con los residuos de CCHEN como ocurre con los aceites usados, los que por este motivo se pueden disponer con costo cero. La idea es que aunque el traslado de un residuo a una empresa de reciclaje puede originar un costo, éste sea menor que el de una empresa de disposición autorizada. Este puede ser el caso de los residuos provenientes de los laboratorios fotográficos, que podrían ser dispuestos en una empresa recuperadora de plata.

En la tabla 3 se ejemplifican algunas medidas de minimización que se han visto hasta ahora y que se pueden adoptar en CCHEN.

Tabla 3 Medidas de minimización adaptables a los residuos generados en CCHEN

TIPOS DE RESIDUO	MEDIDA DE MINIMIZACIÓN /UTILIDAD
Reactivos químicos en desuso y/o vencidos	Reciclaje interno o externo /Reuso como reactivo en cualquier proyecto o actividad.
Reactivos químicos vencidos en mal estado	Reciclaje interno o externo /como medida de prevención.
Residuos provenientes de operaciones de laboratorio	Buenas prácticas de laboratorio, capacitación y concientización de los empleados /Disminución de la generación.
Residuos provenientes de procesos o actividades bien definidas, tales como Ácido nítrico fumante con trazas de contaminantes (6 L), Líquidos de revelado fotográfico	-Ácido nítrico: Reciclaje interno o externo /Para lavado o como reactivo de grado técnico. -Líquido de revelado: Reciclaje externo /recuperación de plata en empresa externa.
Residuos no identificados	Capacitación y concientización de los empleados.

Hasta ahora, las medidas de minimización que se han señalado son útiles para una buena parte de los residuos generados en CCHEN. Sin embargo, también existen otros residuos que no son susceptibles de ser minimizados con estas medidas y a pesar de manejar correctamente un sistema de gestión de residuos éstos son igualmente generados y su única alternativa es el tratamiento y/o disposición.

Esto último, también es el caso de los residuos no identificados y de los reactivos vencidos, donde las medidas mencionadas solo actúan en forma preventiva y si bien es cierto que la prevención es la mejor forma de abordar este tipo de residuos, el problema surge con los residuos no identificados y reactivos vencidos que ya están presentes. Para

este tipo de residuos existen otras alternativas de manejo como es el caso del tratamiento y disposición final de residuos que como se ha visto, corresponden a las etapas finales de un sistema de minimización.

La situación de estos residuos además de sus alternativas de minimización se tratarán en los capítulos siguientes.

CAPÍTULO 3. MANEJO DE RESIDUOS NO IDENTIFICADOS

3.1 PROBLEMÁTICA DE LOS RESIDUOS QUÍMICOS DESCONOCIDOS

Todas las personas y trabajadores en general deben realizar los mayores esfuerzos para proporcionar una descripción exacta de todos los materiales sobrantes y residuos químicos con el fin de evitar la generación de residuos químicos desconocidos, debido a que estos residuos presentan un serio problema para cualquier empresa u organización, ya que sin un nombre químico exacto, los químicos desconocidos no pueden ser ni manejados ni dispuestos de una manera segura. Además, las empresas de tratamiento y disposición autorizadas no aceptan residuos químicos desconocidos sin previo análisis, lo que origina un costo de disposición adicional. Por este motivo, cualquier información acerca de éstos, que pueda ser obtenida tales como su historia y propiedades físicas y químicas ayudará a un mejor manejo de este tipo de residuos.

Cabe destacar que sin importar el origen del residuo ni el estado en que se encuentre, si es un residuo de composición desconocida, se debe considerar como residuo peligroso.

Los problemas presentados por los residuos desconocidos pueden ser reducidos mediante el examen periódico del inventario de químicos almacenados, el etiquetado rápido de envases y en general, un control y manejo prudente de las etapas del SGR. Sin embargo, como ya se planteó anteriormente, estas medidas apuntan a la prevención de la generación de residuos no identificados y no a los que están presentes. En este capítulo, se verá la forma de manejo de este tipo de residuos cuando ya se han generado.

3.2 CARACTERIZACIÓN BÁSICA DE PELIGROSIDAD

Obviamente la solución ideal en el caso de encontrarse con un residuo desconocido, es caracterizarlo para descubrir su composición química. Sin embargo, en muchos casos esto no es posible debido a los costos y al tiempo que involucran los respectivos análisis.

En la CCHEN, los residuos de composición desconocida se encuentran en pequeñas cantidades (masa, volumen) pero en una variedad importante. Desde este punto de vista la solución más viable es almacenarlos de la manera más segura posible mientras estén al interior de las instalaciones para luego disponerlos en una forma conveniente. Para esto existen una serie de pruebas químicas básicas que permiten determinar ciertas características de peligrosidad.

La identificación de algunas características de peligrosidad, permitirá conocer los riesgos básicos que puede involucrar el almacenaje de estas sustancias, sus incompatibilidades (ver apéndice II “Incompatibilidad de residuos peligrosos”), además de acotar el espectro de posibilidades de composición que puedan tener. Esto último es muy útil, considerando que generalmente las empresas de disposición y tratamiento autorizadas castigan con el mayor costo posible a este tipo de residuos asignándoles la mayor peligrosidad.

3.3 PROCEDIMIENTOS PARA IDENTIFICAR LA PELIGROSIDAD DE RESIDUOS DE COMPOSICIÓN DESCONOCIDA

Debido a que los destinatarios autorizados no acostumbran a recibir residuos no identificados sin previo análisis, y cuando lo hacen, suelen castigar con un costo más alto el tratamiento y disposición de éstos, la siguiente información es de mucha utilidad a la hora de disponer un residuo de características desconocidas:

- Descripción física
- Reactividad con el agua
- Solubilidad en el agua
- pH y posible información de neutralización
- Inflamabilidad
- Presencia de oxidantes
- Presencia de sulfuros
- Presencia de cianuros
- Presencia de halógenos

Los siguientes procedimientos son un grupo de pruebas, que pueden ser de utilidad para identificar las características antes mencionadas.

3.3.1 DESCRIPCIÓN FÍSICA.

Materiales y Reactivos: Guantes, Vasos precipitados.

Este puede incluir el estado del material (sólido, líquido, gas), el color y la consistencia (para sólidos), o viscosidad para líquidos (ACS, 1994).

3.3.2 REACTIVIDAD CON EL AGUA.

Materiales y Reactivos: Guantes, mascarilla (o trabajo bajo campana), vasos precipitados.

Adicionar una pequeña cantidad de muestra a unos pocos mL de agua, observar cualquier cambio, incluyendo cualquier evolución de calor, de gas y generación de llama (ACS, 1994 y National Research Council, 1995).

3.3.3 SOLUBILIDAD EN EL AGUA.

Materiales y Reactivos: vasos precipitados.

Si es insoluble en agua, observar si es más o menos denso que ésta, ya que muchos líquidos orgánicos no halogenados son menos densos que el agua. (ACS, 1994).

3.3.4 PH

Materiales y Reactivos: Papel tornasol ó pHmetro, vasos precipitados, matraces, probetas.

Si la muestra es soluble en agua, probar el pH de una solución al 10%. Puede ser deseable o requerida una neutralización gradual. (ACS, 1994 y National Research Council, 1995).

3.3.5 INFLAMABILIDAD.

a) Materiales y Reactivos: Guantes, mascarilla, probeta, agua destilada bandeja de aluminio, mechero.

Colocar una pequeña muestra del material < 5mL o 1g en un recipiente de aluminio, aplicar una fuente de ignición, generalmente una llama de mechero o un fósforo por un segundo y medio en la superficie del residuo. Si el material sostiene su propia combustión, será un líquido inflamable con un punto de ignición de menos de 60°C. Si la muestra no se igniciona, aplicar nuevamente la fuente por un segundo más y

si igniciona será un líquido combustible entre 60°C y 93°C (National Research Council, 1995).

b) Materiales y Reactivos: Elementos de protección personal, barra cerámica, fuente de ignición.

Introducir una barra cerámica en el residuo, dejar secar y aplicar y retirar un fósforo o alguna otra fuente de ignición. Una llama de sobre 0.75 pulgadas indica que es residuo inflamable, mientras que una llama de menos de 0.75 pulgadas indicará que es residuo combustible pero no necesariamente inflamable (ACS, 1994).

Alternativamente, aplicar un fósforo a una cucharada de residuo y observar la intensidad de la llama (ACS, 1994).

3.3.6 PRESENCIA DE OXIDANTES.

Materiales y Reactivos: Guantes, matraces, probetas, pipeta, agua destilada, ácido clorhídrico, papel requerido para el test (Almidón-Ioduro) ó Yoduro de Sodio ó Potasio.

Humedecer un papel Almidón – Ioduro, con ácido clorhídrico 1N y colocar una pequeña porción de muestra en el papel húmedo. Un color morado oscuro será un test positivo (ACS, 1994 y National Research Council, 1995).

El test para Hidroperóxidos, en solventes orgánicos se hace introduciendo el papel testeador en el solvente y entonces se agrega unas pocas gotas de agua en la misma sección del papel. El desarrollo de un color oscuro indica la presencia de Hidroperóxidos (National Research Council, 1995).

3.3.7 PRESENCIA DE OXIDANTES FUERTES.

Materiales y Reactivos: Elementos de protección personal, Cloruro de Magnesio.

Agregar una pequeña cantidad de residuo a una cantidad igual de Cloruro de Magnesio con suficiente agua para disolver ambos. Color negro es positivo (ACS, 1994).

3.3.8 PRESENCIA DE SULFUROS.

Materiales y Reactivos: Guantes, mascarillas, vaso precipitado, agua destilada, ácido clorhídrico, papel requerido para el test (Plomado-Acetato). Se recomienda realizar la prueba bajo campana y con apropiada ventilación, debido a la posible generación de Sulfuro de Hidrógeno.

Esta prueba se realiza solo cuando el pH de una solución acuosa de características desconocidas es superior a 10. Adicionar unas pocas gotas de ácido clorhídrico 1N a la muestra de composición desconocida, luego humedecer un trozo de papel plomado-acetato y colocarlo sobre la muestra. El desarrollo de un color café-negro indica la presencia de Sulfuros. (ACS, 1994 y National Research Council, 1995).

LD comprobado: 50ppm

3.3.9 PRESENCIA DE CIANUROS.

a) Materiales y Reactivos: Guantes, matraces, probetas, pipetas, agua destilada Hidróxido de Sodio, Sulfato Férrico, Cloruro Férrico. Se recomienda realizar la prueba bajo campana y con apropiada ventilación, debido a la posible generación de Cianuro de Hidrógeno.

Este Test se realiza solo cuando el pH de una solución acuosa de características desconocidas es superior a 10.

Previo a la prueba de Cianuros, preparar las siguientes soluciones:

Hidróxido de Sodio al 10% (solución A), Sulfato Férrico al 10% (solución B). Cloruro férrico al 5% (solución C). Mezclar 2 mL de muestra desconocida con 1 mL de agua destilada y 1 mL de cada solución. Agregar suficiente ácido sulfúrico para acidificar la solución. El desarrollo de un color azul indica la formación de ferrocianuro (National Research Council, 1995).

b) Materiales y Reactivos: Guantes, matraces, probetas, pipetas, agua destilada, cloroamina T, piridina / ácido barbitúrico.

Agregar una gota de cloroamina T y una gota de piridina /ácido barbitúrico a 3 gotas de muestra. Color rojo es positivo (ACS, 1994).

LD comprobado: 30ppm

3.3.10 PRESENCIA DE HALÓGENOS.

Materiales y Reactivos: Guantes, agua destilada, alambre de Cobre, mechero.

Calentar un alambre de cobre al rojo en una llama, enfriar el alambre con agua desionizada o destilada. Luego introducir el alambre en la muestra y calentar nuevamente el alambre en la llama. La presencia de halógenos se indica por un color verde alrededor de la llama (ACS, 1994 y National Research Council, 1995).

3.4 ALMACENAMIENTO Y DISPOSICIÓN DE RESIDUOS DE COMPOSICIÓN DESCONOCIDA

Es importante señalar que para obtener un mejor desarrollo de estas pruebas y lograr una utilización más efectiva de los resultados tanto desde el punto de vista del almacenamiento como de disposición, es conveniente seguir un orden secuencial de ensayos de peligrosidad como el que se muestra en la figura 9:

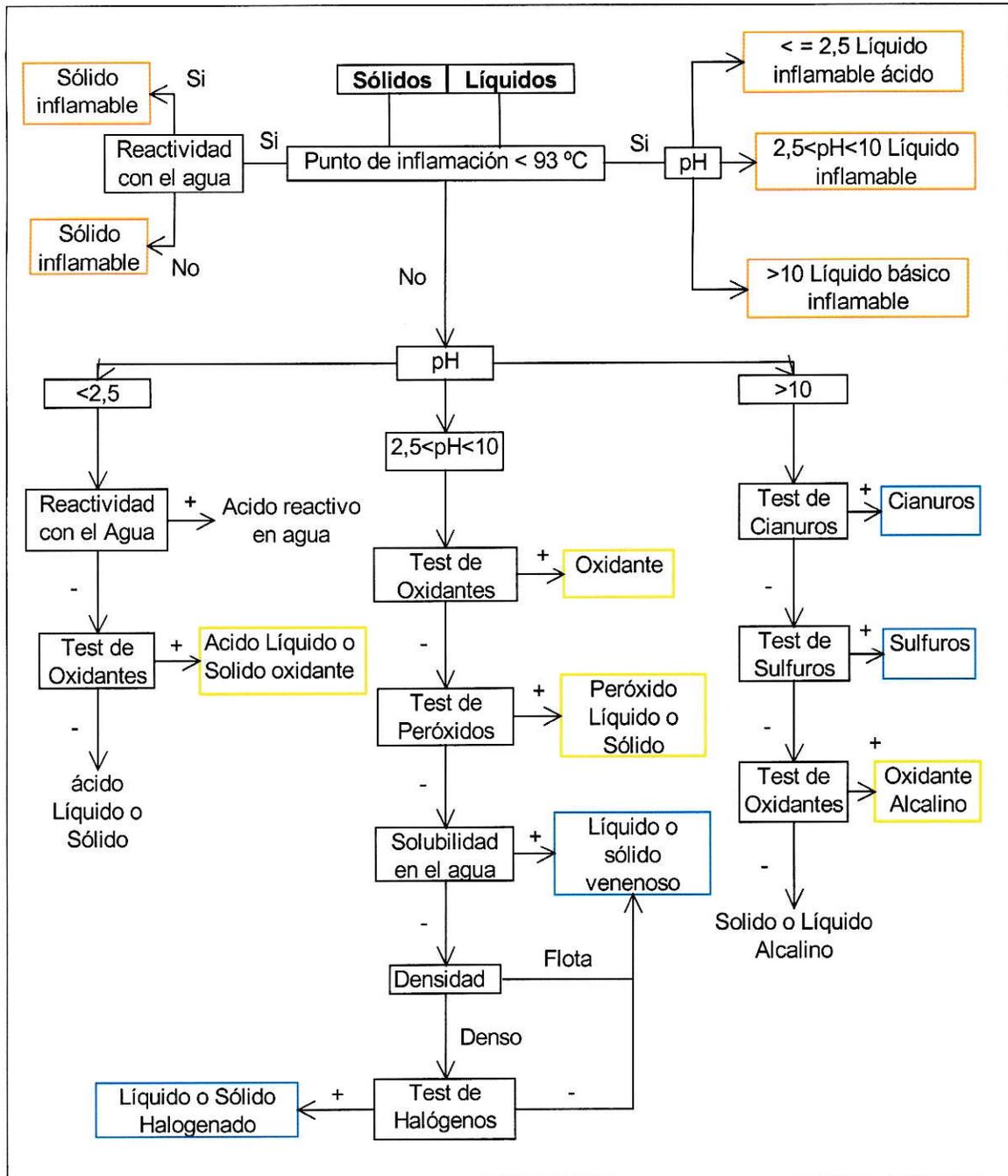


Figura 9: Orden secuencial de ensayos de peligrosidad

3.4.1 ALMACENAMIENTO DE RESIDUOS DE COMPOSICIÓN DESCONOCIDA

Un método simple para almacenar de forma correcta los residuos de composición desconocida, es utilizar los códigos de almacenamiento que se resumen en la tabla 4.

Tabla 4 Código de almacenamiento

RIESGO	COLOR
Inflamable	Rojo
Oxidantes	Amarillo
Corrosivos	Blanco
Tóxicos	Azul
Normal	Verde

Es por este motivo que en la figura 9 se encuentran algunos recuadros con bordes de colores. De esta forma, cada prueba de peligrosidad desarrollada tiene asignado un color y por ende un riesgo, lo que permite entonces, poder almacenar de manera más segura estos residuos.

Como se puede ver, el color verde (sin riesgo) no está considerado en la figura 9 ya que como se mencionó con anterioridad, todo residuo de composición desconocida debe ser considerado como residuo potencialmente peligroso.

Por otro lado, independiente del riesgo asignado para cualquier residuo, es importante a la hora de almacenarlos, tomar en cuenta otros parámetros, sean estos físicos o químicos, (color, textura y pH entre otros), ya que esto ayudará por una parte a establecer similitudes entre los residuos asignados dentro de un mismo nivel de riesgo, permitiendo de esta forma la mezcla de residuos cuando sea pertinente y, por otra parte, ayudará a diferenciar los residuos dentro de un mismo nivel de riesgo, como es el caso

del pH en los residuos corrosivos, donde si bien, tanto residuos muy ácidos como muy alcalinos son categorizados igualmente corrosivos, éstos no se deben almacenar juntos (ver apéndice II “Incompatibilidad de residuos peligrosos”).

3.4.2 DISPOSICIÓN DE RESIDUOS DE COMPOSICIÓN DESCONOCIDA

Como ya se comentó anteriormente, la mejor opción de manejo para este tipo de residuos en un caso como el de CCHEN, en que los residuos son de poco interés para ser tratados, recuperados, reciclados, etc., debido a que están presentes en pequeñas cantidades, en una variedad importante y no son de generación “periódica”, es la disposición final en un destinatario autorizado.

Para realizar la disposición final de los residuos de composición desconocida, es necesario tomar en cuenta dos aspectos importantes como:

- Reducir la cantidad de envases a disponer
- Clasificar idóneamente los residuos para su disposición

a) Reducción del número de envases

La reducción del número de envases es importante a la hora de disponer los residuos, porque generalmente las empresas de disposición final autorizadas asocian la cantidad de envases recibidos al costo final de disposición. De esta manera disminuyendo la cantidad de envases dispuestos se puede minimizar el costo total de la operación.

La reducción del número de envases se logra mediante la mezcla de los residuos. Obviamente, previo a la mezcla se deben tomar en cuenta todas las características de peligrosidad antes determinadas, además de las propiedades físicas de los residuos. La idea es encontrar residuos con características similares, porque muchas veces, un mismo

residuo puede ser encontrado en varios envases distintos. En este caso, lo ideal será mezclar el contenido de los envases hasta lograr la máxima reducción posible del número de éstos.

Es importante señalar que siempre es conveniente realizar las mezclas de cualquier residuo como última etapa previo tratamiento o disposición, ya que hacerlo prematuramente, puede reducir considerablemente las opciones de manejo que éstos puedan tener.

b) Clasificación de residuos previa disposición

Los destinatarios autorizados, generalmente tienen su propia forma de clasificación de residuos, es por esto que a la hora de disponer residuos conviene clasificarlos de una forma quizás más básica pero más útil para estos efectos.

Una forma simple y correcta de clasificación de residuos puede ser separándolos en sólidos y líquidos y luego subdividiéndolos en las siguientes categorías:

- Orgánicos
- Inorgánicos
- Orgánicos halogenados
- Otra especificación

Para saber cuando un residuo corresponde a una de estas categorías se puede seguir el mismo procedimiento que se describió anteriormente. En la tabla 5 se describen algunas características que deben poseer los residuos que pertenezcan a cada categoría.

Tabla 5 Características de peligrosidad relativas a las categorías establecidas para la disposición

CATEGORÍA	CARACTERÍSTICA
Orgánico	-Inflamable -Insoluble en agua -pH 4-9
Inorgánico	-No inflamable -Corrosivo
Orgánico halogenado ⁽¹⁾	-Insoluble en agua -Más denso que el agua -pH 4-9 -Test de halógenos positivo
Otra especificación	-Test de cianuro positivo -Test de sulfuro positivo -Test de halógenos positivos -Otros

⁽¹⁾ Algunos disolventes orgánicos halogenados como el Dicloroetano, también son inflamables.

Como se puede ver en la tabla 5 todas las características necesarias para determinar en que categoría se debe incluir a un residuo dado, se pueden obtener mediante los procedimientos de caracterización de peligrosidad antes descritos.

Por otro lado, en el caso de residuos cuyas características de peligrosidad no puedan ser determinadas mediante el tipo de pruebas antes descritas, se recomienda practicar análisis simples como puede ser determinar el índice de refracción o el análisis del compuesto por medio de espectrofotometría IR.

CAPÍTULO 4. TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN DE RESIDUOS QUÍMICOS EN CCHEN

4.1 CONSIDERACIONES GENERALES DEL TRATAMIENTO DE RESIDUOS

El tratamiento de residuos, sea cual sea, junto con la disposición de los mismos, deben ser siempre las últimas etapas en un sistema de minimización, ya que la adopción de estas medidas incurrirán con toda seguridad en un costo monetario extra en comparación a las otras medidas de minimización antes revisadas.

Existen muchos tipos diferentes de tratamiento de residuos peligrosos que pueden ser utilizados previa disposición de éstos. Su propósito es el de modificar las propiedades físicas o químicas de los residuos, además de reducir el volumen, inmovilizar componentes tóxicos o detoxificar estos compuestos.

El escoger el mejor medio de tratamiento de un residuo dado depende de muchos factores, que incluyen la disponibilidad de instalaciones, normas de seguridad, costos, etc. No existe un sistema absolutamente seguro y cualquier sistema de tratamiento tiene asociado un grado de riesgo.

Los posibles sistemas de tratamiento son numerosos, pero en general se pueden clasificar en tres categorías:

- Tratamientos Físicos
- Tratamientos Químicos
- Tratamientos Biológicos

Cada una de estas técnicas, a su vez presenta una gran cantidad de variantes, pero en general muy pocos son exclusivos del tratamiento de residuos tóxicos, perteneciendo el resto a las operaciones tradicionales de la ingeniería química.

4.1.1 TRATAMIENTO FÍSICO

Incluye procesos de compactación, separación, destilación y evaporación, todos ellos tendientes a reducir el volumen de los desechos. Luego viene una etapa de separación para recuperar aquellos materiales reciclables.

4.1.2 TRATAMIENTO QUÍMICO

Puede ser la neutralización de materiales ácidos o alcalinos, precipitación de sustancias disueltas, dechloración química e incineración.

4.1.3 TRATAMIENTO BIOLÓGICO

Muchos residuos industriales son tratados por métodos biológicos similares a los usados para el tratamiento de efluentes. Los residuos peligrosos a menudo pueden usar este tipo de tratamiento a pesar de que las concentraciones de materiales tóxicos son letales a los microorganismos.

El co-tratamiento de residuos industriales y domésticos con la adición de nutrientes en sistemas biológicos es a menudo un sistema práctico, económico y efectivo comparándolo con los tratamientos químicos y consiste en la introducción de microorganismos que consumen, alteran y detoxifican los desechos. Esto es lo que se llama procesamiento secundario (Curso suspel, 2000).

4.2 SELECCIÓN DEL TIPO DE TRATAMIENTO

La selección de un proceso de tratamiento para un residuo en particular no es fácil, y se deben considerar varios aspectos importantes que en definitiva determinarán la conveniencia o viabilidad del tratamiento, algunos de estos aspectos son:

- Tipo de residuo a tratar
- Cantidad de residuo a tratar
- Costo económico
- Consideraciones ambientales

4.2.1 TIPO DE RESIDUO A TRATAR

Obviamente el tratamiento que se seleccione tendrá que estar supeditado a las características que posea el residuo (composición, frecuencia de generación, grado de peligrosidad, etc). De esta forma se podrán tomar las medidas de seguridad correspondientes en todas las etapas del tratamiento, además de establecer la viabilidad de acuerdo a las instalaciones que se posean.

4.2.2 CANTIDAD DE RESIDUO A TRATAR

La cantidad de residuo es un factor preponderante no sólo a la hora de seleccionar un sistema de tratamiento sino que incluso puede determinar si el residuo es factible de tratar, principalmente por el costo económico que puede significar.

4.2.3 COSTO ECONÓMICO

El factor económico determinará la viabilidad de un tratamiento dado. En este sentido se deben considerar varios aspectos como la compra de reactivos, equipamiento tanto de trabajo como de seguridad y personal disponible.

4.2.4 CONSIDERACIONES AMBIENTALES

Un aspecto muy importante que hay que tener en cuenta, es no generar más residuos de los que se están tratando, por este motivo se debe tener un conocimiento acabado de los productos que va a generar el tratamiento tanto en su etapa final como intermedia y la forma en que se van a manejar éstos (es probable que un producto final de un tratamiento tenga el mismo costo de disposición que el residuo original).

Por otra parte, en el caso que se desee descartar un producto final al sistema de alcantarillado o a cursos de aguas, se hace indispensable revisar primero la normativa vigente en este tema (ver apéndice III “Legislación relativa a residuos peligrosos”).

4.3 TRATAMIENTO DE RESIDUOS EN CCHEN

Para llevar a cabo el tratamiento de residuos dentro de las instalaciones de CCHEN, se hizo una selección de residuos y para esto se consideraron los siguientes criterios:

1. Residuos cuya única alternativa es la disposición final.
2. Residuos de generación común.
3. Residuos de alta toxicidad
4. Residuos del tipo reactivos vencidos o en mal estado

Como ya se mencionó anteriormente, el tratamiento de residuos debe ser una de las últimas etapas de minimización, es por esto que el primer criterio que se consideró fue el tratar residuos cuya única alternativa de manejo sea la disposición final de los mismos.

Los otros criterios utilizados, apuntan en primer lugar a seleccionar residuos cuyo tratamiento pueda significar un beneficio económico (generación común), y por otra parte a demostrar la factibilidad (desde el punto de vista de la seguridad, infraestructura necesaria, disposición de tiempo y personal) de tratar residuos en cualquier laboratorio aún siendo altamente tóxicos o de generación puntual.

4.3.1 RESIDUOS Y REACTIVOS QUÍMICOS VENCIDOS A SER TRATADOS

En la tabla 6 a continuación, se indican los residuos y reactivos químicos vencidos que fueron sometidos a tratamiento junto con el producto final esperado y el destino final de éste :

Tabla 6 Residuos y reactivos seleccionados para ser tratados

RESIDUOS	TRATAMIENTO	COMPUESTO OBTENIDO	DESTINO FINAL
Ácido clorhídrico	Neutralización	NaCl	Desagüe
Ácido nítrico	Neutralización	NaNO ₃	Desagüe
Ácido pícrico	Redox	No Definido	Desagüe
Ácido iodhídrico	Precipitación	CaI ₂ +H ₂ O	Basura común
Arsénico en solución	Precipitación	As ₂ S ₃	Destinatario autorizado
Bromo (Br ₂)	Neutralización	NaBr+SO ₂ +SO ₄ ⁻	Desagüe
Hidróxido de sodio	Neutralización	NaCl	Desagüe
Mercurio en solución	Precipitación	Hg(OH) ₂	Destinatario autorizado
Fósforo tricloruro	Neutralización	Na ₃ PO ₃	Desagüe

Otro residuo que se trató, fue una solución clorhídrica conteniendo diferentes tipos de metales producto de mezclas realizadas. En la tabla 7 se indican las soluciones que forman parte de la mezcla que será tratada, así como la forma de tratamiento :

Tabla 7 Contenido de solución clorhídrica

SOLUCIÓN	TRATAMIENTO	PRECIPITANTE	RANGO DE PRECIPITACION	PRECIPITADO
Cadmio 419 ppm	Precipitación	Hidróxido de Sodio	7-14	Cd (OH) ₂
Cobalto 386 ppm	Precipitación	Hidróxido de Sodio	8-14	Co(OH) ₂
Cobre 570 ppm	Precipitación	Hidróxido de Sodio	8-14	Cu(OH) ₂
Cromo 292 ppm	Precipitación	Hidróxido de Sodio	7-14	Cr(OH) ₂
Estaño 432 ppm	Precipitación	Hidróxido de Sodio	7-8	Sn(OH) ₂
Manganeso 635 ppm	Precipitación	Hidróxido de Sodio	7-14	Mn(OH) ₂

4.3.2 TRATAMIENTO DE RESIDUOS Y REACTIVOS QUÍMICOS VENCIDOS

Antes de realizar cualquier procedimiento de tratamiento, es muy importante revisar las ecuaciones estequiométricas que darán origen a la reacción. Además, es fundamental seguir en estas prácticas, el principio de cualquier ensayo de laboratorio, por lo que ninguna manipulación debe ser llevada a cabo sin conocer las propiedades y posibles riesgos de los productos químicos involucrados (ver apéndice IV “Hoja de datos de seguridad”). Se hace expresa mención que sólo se aplicará a pequeñas cantidades de residuos y que se deberá disponer de los elementos de seguridad adecuados.

A continuación se presentan los procedimientos de los tratamientos químicos aplicados a los residuos antes indicados, además de las medidas a tomar en caso de derrames.

4.3.2.1 Hidróxido de Sodio (NaOH).

a) *Tipo de tratamiento:* Neutralización

b) *Objetivo y alcance:*

Probar y establecer un procedimiento seguro para eliminar todas las soluciones de hidróxido de sodio que se encuentran presentes en la bodega de residuos del CEN La Reina (NaOH 0.25M, 10% p/v y 40% p/v).

c) *Materiales y Reactivos:*

Guantes, Matraz, Probeta, pipeta, Ácido clorhídrico 37%.

d) *Medidas de seguridad:*

Usar guantes, delantal y trabajar bajo campana.

e) *Procedimiento:*

Reacción:
$$\text{NaOH} + \text{HCl} \rightarrow \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$$

- 1- Para el caso del NaOH concentrado (40% p/v), se debe realizar una dilución de no más de 200 mL en una proporción aproximada de 1:5 con agua destilada (Ej; 100 mL de NaOH disueltos en 500 mL de agua).
- 2- Agregar la cantidad de HCl 37% que corresponda estequiométricamente a la cantidad de NaOH que se desee tratar (en este caso 100 mL de HCl 37% también diluidos aproximadamente en una proporción de 1:5 con agua destilada).
- 3- Agregar cuidadosamente el HCl diluido al residuo de NaOH verificando la evolución del pH hasta que quede en un rango 6-8.

4- Agregar suficiente agua en el caso que sea necesario, hasta formar una solución transparente (Muir, G. D. 1972, Armour, 1996, National Research Council, 1995).

f) *Producto final y manejo*

El producto final será una solución incolora de Cloruro de sodio (NaCl) con pH neutro, la cual se podrá descartar al desagüe en cumplimiento con la norma vigente NCh 609 “Descarga al sistema de alcantarillados” (Ver 4.5.2 Eliminación y descarga de residuos).

g) *Observaciones:*

- En el caso de neutralizar residuos que se encuentran en bajas concentraciones (10% o menos), es posible que no se necesite una dilución previa.
- El procedimiento descrito, también se puede realizar tanto con Ácido sulfúrico (H₂SO₄) o nítrico (HNO₃). En estos casos los productos finales serían Sulfato de sodio (Na₂SO₄) y Nitrato de Sodio (NaNO₃) respectivamente.
- En total se descartaron 3L de NaCl, 2L de Na₂SO₄
- El Ácido clorhídrico 37% p/v empleado en este tratamiento, fue obtenido por reciclaje interno.

Tabla 8: Resumen del tratamiento de NaOH

Residuo/ Cantidad	Reactivo tratante	Producto final		Destino final	
		Sólido	Líquido	Sólido	Líquido
NaOH 40% /2,5 L	-HCl 37% 1,5 L -H ₂ SO ₄ 3M 1L	- -	-3L NaCl en solución -2L Na ₂ SO ₄ en solución	- -	Descarga al alcantarillado

4.3.2.2 Ácidos (Clorhídrico, Nítrico y Sulfúrico).

El tratamiento aplicable para este tipo de residuos, es el mismo que se aplica en el caso del hidróxido de sodio, solo que ahora el NaOH será el reactivo tratante mientras que el ácido respectivo será el residuo tratado.

Observaciones:

- En total se descartaron 2L de solución de NaCl y 1L de solución de NaNO₃

Tratamiento de derrames

Materiales y Reactivos: Carbonato de Sodio ó Calcio, arcilla, arena.

Cubrir el derrame con una mezcla de 1:1:1 de Carbonato de Sodio ó Calcio, una cama de arcilla (bentonita) y arena. Cuando el ácido ha sido absorbido, llevar la mezcla bajo campana. Lentamente agregar agua fría y un exceso de Carbonato de Sodio, El residuo líquido se va al desagüe y el sólido se dispone como basura común (Muir, G. D. 1972 Armour, 1996).

4.3.2.3 Ácido Iodhídrico (HI).

a) *Tipo de tratamiento:* Precipitación

b) *Objetivo y alcance:*

Reducir tanto el volumen como la peligrosidad del Ácido iodhídrico (55% p/v) neutralizándolo con Hidróxido de calcio (Ca(OH)₂), transformándolo en un producto de más fácil manejo.

c) *Materiales y Reactivos:*

Espátula, filtro Büchner, Kitasato, Probeta, pipeta, vasos precipitados, balanza, bomba de vacío, Hidróxido de calcio (Ca(OH)₂).

d) *Medidas de seguridad*

Usar guantes, delantal y trabajar bajo campana.

e) *Procedimiento:*



1-Diluir 100 mL de Ácido iodhídrico (HI 55%) en 1L de agua bien helada (solución morada-negra)

2-Agregar aproximadamente 16g de Ca(OH)₂ y agitar.

3-Dejar reposar la solución por 24h para que precipite el CaI₂ (precipitado blanco).

4-Filtrar y secar el sólido.

5-Verificar que la solución restante (sobrenadante) se encuentre a pH neutro 6-8 (Muir, G. D. 1972).

f) *Producto final y manejo*

El producto final es un sólido blanco (CaI₂), que podrá ser tratado como basura común, mientras que el sobrenadante (teóricamente agua con pequeña cantidad CaI₂) puede ser descartado al sistema de alcantarillado (Ver 4.5.2 Eliminación y descarga de residuos).

g) *Observaciones:*

- En caso de que la solución final (sobrenadante) permanezca ácida, se debe agregar un exceso de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ y luego se repiten los pasos 3, 4 y 5.
- Se empacó una cantidad total de 60 g de (CaI_2) , y se descartó un volumen total de aproximadamente 1L de solución.
- El Hidróxido de calcio fue obtenido por reciclaje interno.

Tabla 9: Resumen del tratamiento del HI

Residuo/ Cantidad	Reactivo tratante	Producto final		Destino final	
		Sólido	Líquido	Sólido	Líquido
HI 55% /100 mL	$\text{Ca}(\text{OH})_2$ /16 g	60 g CaI_2	1L solución (agua)	Basura común	Descarga al alcantarillado

Tratamiento de derrames

Materiales y Reactivos: Carbonato de Sodio ó Calcio, arcilla, arena.

Cubrir el derrame con una mezcla de 1:1:1 de Carbonato de Sodio ó Calcio, una cama de arcilla (bentonita) y arena. Cuando el ácido iodhídrico ha sido absorbido, llevar la mezcla bajo campana. Lentamente agregar agua fría y un exceso de Carbonato de Calcio ó Hidróxido de Calcio, dejar precipitar por 24 h. El residuo líquido se va al desagüe y el sólido a disposición según las regulaciones locales (Armour, 1996).

4.3.2.4 Ácido pícrico ((NO₂)₃C₆H₂OH).

a) *Tipo de tratamiento:* Redox

b) *Objetivo y alcance:*

Destruir el ácido pícrico, mediante la adición de Sn y HCl, reduciendo los grupos nitro (NO₂) a aminas (NH₂), eliminando el carácter de explosivo de este residuo formando un precipitado de Cloruro de estaño (SnCl₂), y una solución de volumen inferior al residuo original que se empacará para una posterior disposición.

c) *Materiales y Reactivos:*

Espátula, filtro Büchner, Kitasato, manta calefactora, probeta, pipeta, vasos precipitados, balanza, bomba de vacío, ácido clorhídrico 1N, hidróxido de sodio 1N, Estaño en granallas.

d) *Medidas de seguridad*

Usar guantes, delantal y trabajar bajo campana.

e) *Procedimiento:*



1-Por cada gramo de ácido pícrico (sólido o en solución), agregar 4g de estaño y agitar hasta provocar la mayor disolución posible.

2-Agregar por cada gramo de ácido pícrico aproximadamente 8mL de HCl concentrado (37% p/v) en forma lenta y enfriar en agua hielo.

3-Calentar la solución bajo reflujo durante aproximadamente 1 hora.

4-Filtrar el estaño que no reacciona y lavar el precipitado con HCl 1N.

5-Reciclar el estaño y neutralizar el sobrenadante con NaOH 1N para luego refiltrar (Lunn G. 1994, Armour, 1996).

Para un mayor entendimiento de este procedimiento, a continuación se encuentra en la figura 10, un diagrama explicativo:

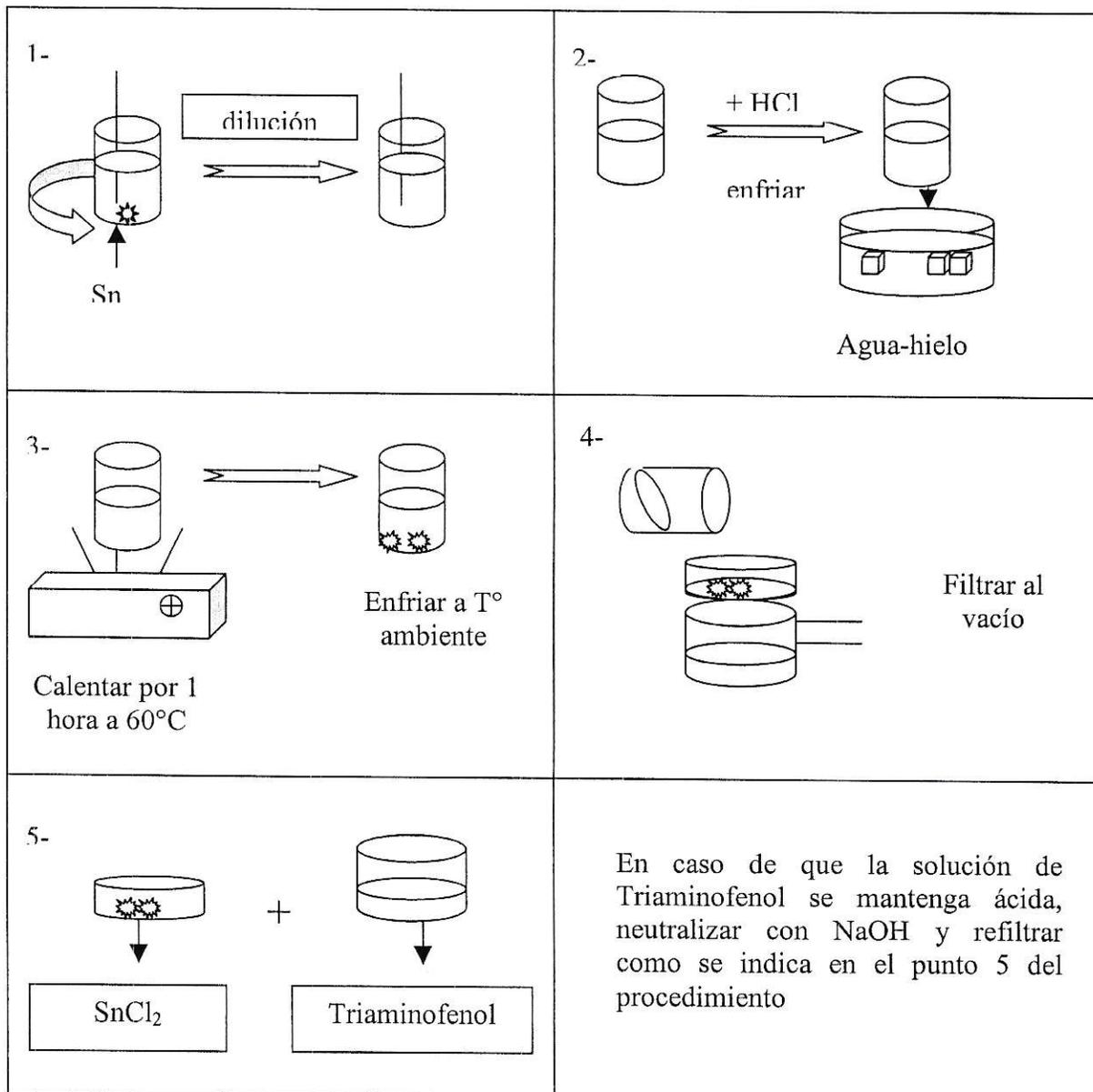


Figura 10: Diagrama explicativo del procedimiento de destrucción del Ac. Pírico

f) *Producto final y manejo*

El producto final es un precipitado sólido (SnCl_2) que puede ser tratado como basura común, mientras que la solución que contiene 2, 4, 6-Triaminofenol ($(\text{NH}_2)_3\text{C}_6\text{H}_2\text{OH}$), y que se oxida rápidamente a una solución negra, puede ser empacada, etiquetada y enviada para incineración, o puede ser tratada como sigue: Lenta y cuidadosamente adicionar a la solución 150 mL de ácido sulfúrico, 12 g de Permanganato de Potasio y agitar la mezcla a temperatura ambiente por 24 hrs. Entonces adicionar Bisulfito de Sodio sólido hasta obtener una solución clara y luego neutralizar con NaOH al 10%. El líquido puede ser descartado al sistema de alcantarillado, previa verificación y cumplimiento de la norma vigente D.S 609/98 “Descarga al sistema de alcantarillados” (Ver 4.5.2 Eliminación y descarga de residuos).

g) *Observaciones:*

- Este procedimiento se probó tratando un volumen de ácido pícrico de 100 mL al 1,2 % p/v.
- Aunque el volumen de la solución final obtenida de 2,4,6- Triaminofenol, es similar al volumen original de ácido pícrico (100 mL), este tratamiento se justifica ya que la peligrosidad de explosión del ácido fue eliminada, por lo tanto, se transforma en un residuo mucho más manipulable y seguro en el caso de almacenarlo o incinerarlo (en una empresa autorizada) y por otra parte no requerirá ningún tratamiento especial a la hora de disponerlo, salvo el tratamiento básico que se aplica a cualquier residuo líquido que se quiera confinar.
- Si se quiere evitar la disposición del residuo generado (solución de 2,4,6-Triaminofenol), la reacción con permanganato de potasio permitirá la oxidación de este compuesto y lo transformará en un residuo descartable al sistema de alcantarillado.
- Todos los reactivos empleados en este tratamiento, fueron obtenidos mediante reciclaje interno.

Tabla 10: Resumen del tratamiento del Ácido pícrico

Residuo/ Cantidad	Reactivo tratante	Producto final		Destino final	
		Sólido	Líquido	Sólido	Líquido
(NO ₂) ₃ C ₆ H ₂ OH 1,2%/100 mL	4g Sn + 8 mL HCl	≅ 4g SnCl ₂	≅ 100 mL Triamino fenol	Basura común	Destinatario autorizado

Tratamiento de derrames

Materiales y Reactivos: Elementos de protección personal.

Después de contener el derrame, llevar el residuo bajo campana y proceder como se indica en tratamiento de residuos.

4.3.2.5 Arsénico en solución As (III).

a) *Tipo de tratamiento:* Precipitación

b) *Objetivo y alcance:*

Detoxificar una solución (As 1000 ppm al 10% HNO₃) precipitando el Arsénico como sulfuro. De esta manera, la solución final libre de Arsénico podrá descartarse al desagüe.

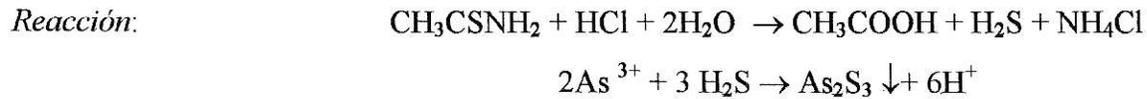
c) *Materiales y Reactivos:*

Espátula, filtro Büchner, Kitasato probeta, pipeta, vasos precipitados, balanza, bomba de vacío, ácido clorhídrico 1N, tioacetamida (CH₃CSNH₂).

d) *Medidas de seguridad*

Usar guantes, delantal y trabajar bajo campana.

e) *Procedimiento:*



1-Por cada gramo de arsénico presente en la solución, se agregan 100 mL de HCl 1N.

2-Agregar por cada gramo de arsénico presente en la solución aproximadamente 1.5 g de Tioacetamida.

3-Calentar la mezcla durante 20 minutos a una temperatura de 60-70°C, y luego dejar enfriar hasta temperatura ambiente (la solución cambiará de color blanco a amarillo).

4-Basificar la solución con NaOH 1N, hasta alcanzar un rango de pH de 6.5-7.5, en el que se formará un precipitado amarillo.

5-Filtrar la solución para separar el precipitado, secarlo y empacarlo para una posterior disposición. (Armour, 1996).

f) *Producto final y manejo:*

El producto final será un sólido amarillo (As_2S_3), que deberá ser empacado para una posterior disposición, mientras que el sobrenadante (solución salina de pH neutro) puede ser descartado al sistema de alcantarillado, previa verificación y cumplimiento de la norma vigente D.S 609/98 (Ver 4.5.2 Eliminación y descarga de residuos).

g) *Observaciones:*

- La precipitación de arsénico en forma de sulfuro, ocurre en un rango de pH muy limitado cercano a 7, es por esto que se deben tomar las precauciones necesarias para evitar una redisolución.
- En total se descartó al sistema de alcantarillado, un volumen final de 1L.
- El Hidróxido de sodio y el HCl fueron obtenidos mediante reciclaje interno.
- Otro procedimiento, se puede realizar con Sulfito de sodio (National Research Council, 1995).

Tabla 11: Resumen del tratamiento de solución de Arsénico

Residuo/ Cantidad	Reactivo tratante	Producto final		Destino final	
		Sólido	Líquido	Sólido	Líquido
Arsénico en solución 1000 ppm/ 1L	Tioacetamida 1,5g + HCl 1N 100 mL	As ₂ S ₃	≅ 1L solución neutra con Arsénico 1,1 ppm	Destinatario autorizado	Descarga al alcantarillado

Tratamiento de derrames

Materiales y Reactivos: Elementos de protección personal.

Después de contener el derrame, llevar el residuo bajo campana y proceder como se indica en tratamiento de residuos.

4.3.2.6 Bromo (Br₂).

a) *Tipo de tratamiento:* Neutralización

b) *Objetivo y alcance:*

Estabilizar el Br₂ (d=3.12 g/mL), mediante la adición de Bisulfito de sodio NaHSO₃ y Carbonato de sodio (Na₂CO₃), formando una solución final susceptible de ser descartada al desagüe.

c) *Materiales y Reactivos:*

Espátula, Probeta, pipeta, vasos precipitados, balanza, Bisulfito de sodio (NaHSO₃) y Carbonato de sodio (Na₂CO₃).

d) *Medidas de seguridad:*

Usar guantes, delantal y trabajar bajo campana

e) *Procedimiento:*

Reacción:
$$\text{Br}_2 + 2\text{NaHSO}_3 \rightarrow 2\text{NaBr} + 2\text{H}^+ + \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{SO}_2$$

1-Diluir 5 mL de Bromo (Br₂) en 1L de agua destilada (solución roja).

2-Agregar aproximadamente 120 mL de bisulfito de sodio al 10%, en forma lenta hasta que el color desaparezca.

3-Neutralizar con aproximadamente 17 g de Na₂CO₃ en forma cuidadosa hasta alcanzar pH 6-8 (Armour, 1996).

f) *Producto final y manejo:*

El producto final será una solución salina incolora de Bromuro de sodio NaBr y Sulfato de sodio (Na_2SO_4) de pH neutro, la cual se podrá descartar al desagüe previa verificación y cumplimiento de la norma vigente D.S 609/98 “Descarga al sistema de alcantarillados” (Ver 4.5.2 Eliminación y descarga de residuos).

g) *Observaciones:*

- El Bromo es poco soluble en agua por lo tanto se recomienda mantener la solución original bajo constante agitación.
- Tanto el bisulfito de sodio como el carbonato de sodio, fueron obtenidos por reciclaje interno.
- En total se descargaron 20 L de NaBr al alcantarillado.

Tabla 12: Resumen del tratamiento de Bromo

Residuo/ Cantidad	Reactivo tratante	Producto final		Destino final	
		Sólido	Líquido	Sólido	Líquido
Bromo (d=3.12 g/mL)/ 100 mL	NaHSO ₃ 240 g + Na ₂ CO ₃ 340 g	-	≅ 20L solución neutra de NaBr + CaSO ₄	-	Descarga al alcantarillado

Tratamiento de derrames

Materiales y Reactivos:

Guantes, protección para los ojos, cubeta plástica, Carbonato de Calcio ó Sodio, arcilla, arena, Bisulfito de Sodio.

Cubrir el derrame con una mezcla de 1:1:1 de Carbonato de Sodio ó Calcio, una cama de arcilla (bentonita) y arena. Cuando el Bromuro ha sido absorbido, llevar la mezcla bajo campana. Lentamente agregar agua fría y adherir Bisulfito de Sodio al 10% hasta que la solución cambie de color. Verificar el pH y neutralizar si es necesario con un exceso de Carbonato de Sodio, dejar precipitar por 24 h. El residuo líquido se va al desagüe y el sólido se dispone como basura normal (Armour, 1996).

4.3.2.7 Fósforo tricloruro (PCl_3)

a) *Tipo de tratamiento:* Neutralización

b) Objetivo y alcance:

Neutralizar el Fósforo tricloruro ($d=1,57\text{g/mL}$) mediante la adición de Carbonato de sodio (Na_2CO_3), formando una solución neutra susceptible de ser descartada por el desagüe.

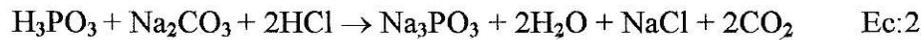
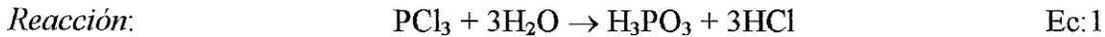
c) *Materiales y Reactivos:*

Espátula, Matraz, Probeta, pipeta, vasos precipitados, balanza, Carbonato de Sodio.

d) *Medidas de seguridad:*

Usar guantes, delantal, protección respiratoria y trabajar expresamente bajo campana asegurándose de que no se encuentre ningún otro reactivo o elemento ajeno al procedimiento.

e) *Procedimiento:*



1-Colocar 10 mL de PCl_3 en un vaso precipitado y dejar evaporar por unos 10 minutos.

2-Agregar aproximadamente 6,2 mL de agua destilada (calculados estequiométricamente según Ec:1) en forma lenta y cuidadosa ya que la reacción es violenta y puede producir humos tóxicos.

3-Agregar aproximadamente 25 g de Na_2CO_3 en forma cuidadosa (se produce liberación de CO_2).

4-Si es necesario, agregar un exceso de Na_2CO_3 para neutralizar la solución hasta pH 6-8 y luego diluir la solución al menos una 5 veces (National Research Council, 1995).

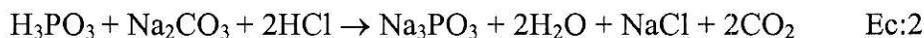
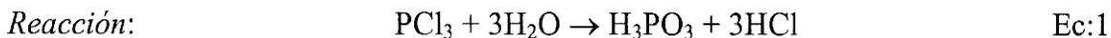
f) *Producto final y manejo*

El producto final será una solución salina incolora de Fosfato de sodio (Na_3PO_3) y Cloruro de sodio (NaCl) de pH neutro, la cual se podrá descartar al desagüe previa verificación y cumplimiento de la norma vigente D.S 609/98 "Descarga al sistema de alcantarillados" (Ver 4.5.2 Eliminación y descarga de residuos).

g) *Observaciones:*

Al dejar evaporar por mucho tiempo el residuo original se puede formar un precipitado amarillo. Este precipitado es un concentrado de PCl_3 , por lo tanto al tratar separadamente el sobrenadante con el precipitado, la cantidad de Na_2CO_3 necesaria para neutralizar el sobrenadante serán menores a las estipuladas

e) *Procedimiento:*



1-Colocar 10 mL de PCl_3 en un vaso precipitado y dejar evaporar por unos 10 minutos.

2-Agregar aproximadamente 6,2 mL de agua destilada (calculados estequiométricamente según Ec:1) en forma lenta y cuidadosa ya que la reacción es violenta y puede producir humos tóxicos.

3-Agregar aproximadamente 25 g de Na_2CO_3 en forma cuidadosa (se produce liberación de CO_2).

4-Si es necesario, agregar un exceso de Na_2CO_3 para neutralizar la solución hasta pH 6-8 y luego diluir la solución al menos una 5 veces (National Research Council, 1995).

f) *Producto final y manejo*

El producto final será una solución salina incolora de Fosfato de sodio (Na_3PO_3) y Cloruro de sodio (NaCl) de pH neutro, la cual se podrá descartar al desagüe previa verificación y cumplimiento de la norma vigente Nch 609 “Descarga al sistema de alcantarillados” (Ver 4.5.2 Eliminación y descarga de residuos).

g) *Observaciones:*

- Al dejar evaporar por mucho tiempo el residuo original se puede formar un precipitado amarillo. Este precipitado es un concentrado de PCl_3 , por lo tanto al tratar separadamente el sobrenadante con el precipitado, la cantidad de Na_2CO_3 necesaria para neutralizar el sobrenadante serán menores a las estipuladas

anteriormente, mientras que las cantidades necesarias para neutralizar el concentrado, serán obviamente mayores.

- El carbonato de sodio utilizado en este tratamiento, fue conseguido mediante reciclaje interno.
- Las cantidades de reactivos, aun siendo calculadas estequiométricamente, serán generalmente aproximadas, debido a que los residuos normalmente sufren cambios en sus concentraciones.
- En total se descartaron 1000 mL de Na_3PO_3 .

Tabla 13: Resumen del tratamiento de Fósforo tricloruro

Residuo/ Cantidad	Reactivo tratante	Producto final		Destino final	
		Sólido	Líquido	Sólido	Líquido
PCl_3 ($d=1,57\text{g/mL}$)/ 200 mL	Na_2CO_3 500 g	-	\cong 1L solución de Na_3PO_3	-	Descarga al alcantarillado

Tratamiento de derrames

a) Materiales y Reactivos: Elementos de protección personal, Cubeta de plástico, agua, arena.

Instruir a otras personas para mantener una distancia segura. Mezclar con arena seca. Colocar en una cubeta de plástico y adicionar en poco tiempo un gran volumen de agua y cuando la reacción esté completa diluir con más agua (Muir, G. D. 1972).

b) Materiales y Reactivos: Elementos de protección personal, Carbonato de Sodio ó Calcio, arcilla, arena.

Cubrir el derrame con 1:1:1 de Carbonato de Sodio ó Calcio, una cama de arcilla (bentonita) y arena. Cuando el compuesto esté absorbido, colocar la mezcla dentro de una cubeta con plástico y llevarla bajo campana. Luego, lentamente agregar una cubeta con agua fría, mantenerla por 24 h. Luego medir el pH y neutralizar si es necesario con Carbonato de Sodio. Decantar la solución al desagüe y tratar el residuo sólido como basura común. (Armour, 1996).

4.3.2.8 Mercurio en solución Hg(I), Hg(II).

a) *Tipo de tratamiento:* Precipitación

b) *Objetivo y alcance:*

Detoxificar una solución (Hg 1000 ppm al 10% HNO₃) precipitando el Mercurio como hidróxido. De esta manera, la solución final libre de mercurio podrá descartarse al desagüe.

c) *Materiales y Reactivos:*

Espátula, filtro Büchner, Kitasato Probeta, pipeta, vasos precipitados, balanza, bomba de vacío, hidróxido de Sodio.

d) *Medidas de seguridad:*

Usar guantes, delantal y trabajar bajo campana.

e) *Procedimiento:*

Reacción:
$$\text{Hg}^{2+} + 2\text{NaOH} \rightarrow \text{Hg}(\text{OH})_2 \downarrow + 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{Na}^+$$

1-Ajustar el pH de la solución entre 9-11, con una solución de hidróxido de sodio 1N, y se formará inmediatamente un precipitado café oscuro.

2-Esperar que decante por unos minutos y luego separar el precipitado por filtración.

3-Secar el precipitado y guardarlo.

4-Ajustar el pH del sobrenadante a rango neutro con HCl 1N. (ACS, 1994).

f) *Producto final y manejo:*

El producto final es un sólido café ($\text{Hg}(\text{OH})_2$), que deberá ser empacado para una posterior disposición ante destinatarios autorizados, mientras que el sobrenadante (solución salina de pH neutro) puede ser descartado al sistema de alcantarillados, previa verificación y cumplimiento de la norma vigente D.S 609/98 “Descarga al sistema de alcantarillados” (Ver 4.5.2 Eliminación y descarga de residuos).

g) *Observaciones:*

- La precipitación de mercurio en forma de hidróxido, puede ocurrir en un rango de pH entre 8-14. En este caso se optó por reducir ese rango para evitar problemas de redisolución.
- En total se descartó al sistema de alcantarillados, un volumen final de 1L.
- El Hidróxido de sodio fue obtenido mediante reciclaje interno.
- Otra opción de tratamiento, es precipitar el mercurio como sulfuro. (Armour, 1996).

Tabla 14: Resumen del tratamiento de solución de mercurio

Residuo/ Cantidad	Reactivo tratante	Producto final		Destino final	
		Sólido	Líquido	Sólido	Líquido
Solución de Mercurio 1000 ppm (en medio ácido)/ 1Lt	NaOH 1N (1,5 L)	$\text{Hg}(\text{OH})_2$	\cong 2,5L solución neutra con Mercurio 2,5 ppm	Destinatario autorizado	Descarga al alcantarillado

Tratamiento de derrames

a) **Materiales y Reactivos:** Elementos de protección personal, aspirador, zinc.

Debido a la alta toxicidad del vapor de Mercurio, es importante limpiarlo tan completo sea posible, especialmente en áreas confinadas. Un pequeño aspirador con un tubo capilar y conectado a una bomba, puede ser usado para aspirar las gotas.

El Mercurio en el piso, puede ser convertido en no volátil colocando Zinc en polvo para formar una amalgama (Muir, G. D. 1972).

4.3.2.9 Metales en medio ácido (HCl al 10 % p/v)

a) *Tipo de tratamiento:* Precipitación

b) *Objetivo y alcance:*

Detoxificar una solución de ácido clorhídrico al 10 % p/v compuesta por diferentes metales, haciéndolos precipitar en forma de hidróxidos mediante la adición de hidróxido de sodio. De esta manera, la solución final libre de metales podrá descartarse al desagüe (Ver 5.5.2 Eliminación y descarga de residuos).

c) *Materiales y Reactivos:*

Espátula, filtro Büchner, Kitasato probeta, pipeta, vasos precipitados, balanza, bomba de vacío, hidróxido de Sodio al 10 % p/v.

d) *Medidas de seguridad:*

Usar guantes, delantal y trabajar bajo campana.

e) *Procedimiento:*

Las reacciones que se encuentran a continuación, son las estequiométricas esperadas para los distintos metales presentes en la solución.

<u>Reacción</u>	<u>Rango de pH de la reacción</u>
• $\text{Cd}^{2+} + 2\text{NaOH} \rightarrow \text{Cd}(\text{OH})_2 \downarrow$	7-14
• $\text{Co}^{2+} + 2\text{NaOH} \rightarrow \text{Co}(\text{OH})_2 \downarrow$	8-14
• $\text{Cu}^{1+} + \text{NaOH} \rightarrow \text{Cu}(\text{OH}) \downarrow$	9-14
• $\text{Cu}^{2+} + 2\text{NaOH} \rightarrow \text{Cu}(\text{OH})_2 \downarrow$	7-14
• $\text{Cr}^{3+} + 3\text{NaOH} \rightarrow \text{Cr}(\text{OH})_3 \downarrow$	8-14
• $\text{Mn}^{2+} + 2\text{NaOH} \rightarrow \text{Mn}(\text{OH})_2 \downarrow$	8-14
• $\text{Mn}^{4+} + 4\text{NaOH} \rightarrow \text{Mn}(\text{OH})_4 \downarrow$	7-14
• $\text{Sn}^{2+} + 2\text{NaOH} \rightarrow \text{Sn}(\text{OH})_2 \downarrow$	7-8
• $\text{Sn}^{4+} + 4\text{NaOH} \rightarrow \text{Sn}(\text{OH})_4 \downarrow$	7-8

1-A un volumen seleccionado de muestra se le ajusta el pH mediante la adición de hidróxido de sodio a pH 7-8, se agita y se deja decantar.

2-Una vez decantado el precipitado de la solución, se procede a filtrar (el precipitado es de color café claro, y corresponde al hidróxido de estaño).

3-Luego de filtrar la solución, el sobrenadante se lleva a pH 10-12 mediante la adición de hidróxido de sodio, con el propósito de precipitar los hidróxidos de los metales que aun continúan en solución.

4-Después de ajustar el pH, se agita y se deja decantar por algunos minutos y luego se vuelve a filtrar.

5- Los sólidos obtenidos se secan y luego se empacan para una posterior disposición en un destinatario autorizado (National Research Council, 1995).

f) *Producto final y manejo:*

El producto final será un sólido constituido por los hidróxidos de los respectivos metales, los que deberán ser empacados para una posterior disposición ante destinatarios autorizados, mientras que el sobrenadante (solución salina de pH neutro) puede ser descartado al sistema de alcantarillado, previa verificación y cumplimiento de la norma vigente D.S 609/98 “Descarga al sistema de alcantarillado” (Ver 4.5.2 Eliminación y descarga de residuos)

g) *Observaciones:*

- El volumen total tratado fue de 7 L, y se obtuvo una masa final de 160 g de precipitado (hidróxidos metálicos + sal).
- Cuando se quiera precipitar una mezcla de iones metálicos, se debe tener en claro cuales son los rangos de pH en el que éstos precipitan, de esta forma se puede programar de mejor forma la variación de pH evitando redisoluciones como se hizo en el caso del estaño en este ensayo.
- Siguiendo en el punto anterior, se recomienda que antes de mezclar soluciones de iones metálicos, se analice cual es la forma de precipitación de éstos, ya que en algunos casos el tratamiento por separado puede ser mucho mas simple que tratar la mezcla.
- El hidróxido de sodio fue obtenido mediante reciclaje interno.

Tabla 15: Resumen del tratamiento de solución de mercurio

Residuo/ Cantidad	Reactivo tratante	Producto final		Destino final	
		Sólido	Líquido	Sólido	Líquido
Solución de iones metálicos (en medio ácido)/ 7L	NaOH 10% (7 L)	Hidróxidos metálicos/ 160g	≅ 14L solución neutra de NaCl	Destinatario autorizado	Descarga al alcantarillado

A continuación en la tabla 16 se encuentra un resumen de los tratamientos realizados, indicando los productos generados tanto sólidos como líquidos según el caso.

Tabla 16: Resumen de tratamientos realizados

RESIDUO TRATADO	VOLUMEN TRATADO (L)	REACTIVO TRATANTE	RESIDUO FINAL SÓLIDO /MASA	RESIDUO FINAL LÍQUIDO /VOLUMEN (L)
HCl 37%	1,5	NaOH	-	Solución clarificada neutra NaCl/ (3)
HNO ₃ 50%	0,5	NaOH	-	Solución clarificada neutra NaNO ₃ / (1,5)
HI 55%	0,1	Ca(OH) ₂	CaI ₂ / 60g	Solución clarificada neutra/ (1)
Br ₂	0,1	NaHSO ₃ , Na ₂ CO ₃	-	Solución clarificada neutra NaBr/ (20)
NaOH 10% ⁽¹⁾	1,5	HCl, HSO ₄	-	NaCl, Na ₂ SO ₄
Ácido pícrico	1	Sn, HCl	SnCl ₂	Solución de 2,4,6-Triaminofenol
PCl ₃	0,25	Na ₂ CO ₃	-	Solución clarificada neutra Na ₃ PO ₃ / (0,7)
Solución de metales en HCl 10%	7	NaOH	Hidróxidos metálicos/160g	Solución clarificada neutra/ (14)
Solución de As 1000 ppm ⁽²⁾	1	NaOH	As ₂ S ₃	Solución clarificada neutra conc. As 1,1mg/L/(1)
Solución de Hg 1000 ppm ⁽²⁾	1	NaOH	Hg(OH) ₂	Solución clarificada neutra conc. Hg 2.5mg/L/(1)

⁽¹⁾ El NaOH fue tratado separadamente con HCl 37% y H₂SO₄ 97% siendo los productos finales 3 L de NaCl y 2 L de Na₂SO₄ respectivamente.

⁽²⁾ Las concentraciones fueron obtenidas mediante el uso de ICP.

Como se puede apreciar en la tabla 16, el tratamiento físico-químico de residuos genera productos finales que pueden ser tanto líquidos como sólidos. De la composición de estos productos dependerá el tipo de disposición que requerirán.

En este caso, los productos finales en estado sólido se deben empacar para disponerlos ante destinatarios autorizados, mientras que los líquidos pueden ser descargados al alcantarillado (4.5.2 “Eliminación y descarga de residuos”).

Cabe señalar, que la disposición de los productos finales sólidos ante destinatarios autorizados, se debe realizar siempre que sea la alternativa más conveniente, es decir, que por las características del residuo final se considere inviable o poco interesante un tratamiento posterior.

Por otra parte, de la tabla 16 se desprende la eficacia de los tratamientos realizados, ya que en su totalidad los residuos tratados fueron transformados en residuos menos peligrosos, pudiendo ser descargables en algunos casos evitando costos de disposición ante destinatarios autorizados, mientras que otros (productos finales sólidos) si bien no se pueden descargar, de todas maneras se les redujo el volumen y se transformaron en residuos más seguros de almacenar.

Otro punto a destacar, es la eficacia de la precipitación de Arsénico y Mercurio y de metales en general (ver tabla 18), ya que la disminución de las concentraciones fue bastante considerable.

Otros métodos de tratamiento de residuos químicos de laboratorio se encuentran en el apéndice V “Técnicas de tratamientos de residuos de laboratorio”.

4.4 EVALUACIÓN DE PRUEBAS Y SELECCIÓN DE TÉCNICAS MÁS ADECUADAS

En general las pruebas realizadas tuvieron una buena respuesta ya que se obtuvieron los productos de reacción esperados según la información teórica y en el caso de las precipitaciones los compuestos presentes originalmente en la solución fueron removidos en un gran porcentaje. Por otro lado, cabe señalar que los tratamientos informados en diferentes fuentes están pensados para realizarlos con reactivos de buena calidad y no con residuos reusados. Por esto, al usar residuos como materia prima para algún tratamiento se podría percibir una diferencia con respecto a lo esperado teóricamente, especialmente en las cantidades calculadas estequiométricamente en alguna determinada reacción.

Las pruebas seleccionadas y desarrolladas en este trabajo fueron obtenidas a través de un estudio bibliográfico. Sin embargo, es importante señalar que no son los únicos procedimientos indicados para tratar los respectivos residuos ya que en las fuentes citadas existe en algunos casos más de un procedimiento para un mismo residuo. En este caso, el criterio de selección fue principalmente la disponibilidad de reactivos. Por otro lado, también existen procedimientos establecidos en diversas fuentes los cuales pueden ser modificados sustituyendo algún reactivo. Un claro ejemplo de esto, lo constituye el tratamiento de NaOH, ya que en general las fuentes revisadas citan al ácido sulfúrico como reactivo tratante mientras que tanto el ácido nítrico como el clorhídrico pueden cumplir el mismo objetivo siendo este último incluso más conveniente ya que como se verá más adelante es más barato y la vez, más factible de descargar al alcantarillado ya que no posee parámetros normados (ver tabla 17).

4.5 DISPOSICIÓN DE RESIDUOS

La disposición de residuos, es la última etapa dentro de un sistema de minimización y se puede aplicar tanto a residuos que no poseen una alternativa viable de tratamiento, como a residuos ya tratados (Ver diagrama N°3). En general, la disposición de residuos consta de dos alternativas:

- Disposición ante destinatarios autorizados
- Eliminación o descarga

4.5.1 DISPOSICIÓN ANTE DESTINATARIOS AUTORIZADOS

En general, todas las medidas de minimización existentes apuntan directa o indirectamente a reducir, en lo posible, las disposiciones ante destinatarios autorizados, debido a que esta alternativa es sin duda la menos económica de las etapas de minimización. Por esto, la disposición ante destinatarios autorizados se debe realizar sólo cuando se haya comprobado que es la única alternativa viable, o la más viable desde el punto de vista de los costos asociados, seguridad y responsabilidad ambiental.

Este tipo de disposición requiere de una autorización sanitaria, además de un sistema de declaración y seguimiento de residuos estipulado en la Resolución N° 5.081/1993 del Servicio de Salud Metropolitano del Ambiente.

Los destinatarios autorizados en general, luego de realizar los análisis químicos respectivos, le practican tratamientos físico-químicos a los residuos inorgánicos, para luego confinar los sólidos y descargar los efluentes a las aguas superficiales, mientras que en el caso de los residuos orgánicos se practica la incineración.

Las empresas destinatarias autorizadas por el SESMA hasta el año 2002, además del sistema de declaración y seguimiento, se pueden encontrar en el sitio web de CONAMA “www.conama.cl”.

4.5.2 ELIMINACIÓN Y DESCARGA DE RESIDUOS

La eliminación o descarga de residuos es la mejor alternativa de disposición desde el punto de vista económico. Esta se puede realizar tanto a las aguas subterráneas, superficiales como al sistema de alcantarillado.

Sin embargo, para realizar una descarga de residuos en cualquiera de estos cuerpos receptores, se debe asegurar el cumplimiento de las normas respectivas de acuerdo a los límites máximos permitidos que éstas establecen. Para esto, se debe tener conocimiento cabal de cuál es la composición del residuo a ser descartado y que parámetros de éste están normados. Es por este motivo que el descarte de contaminantes es uno de los puntos fundamentales a la hora de planificar un sistema de tratamiento.

Para descartar los productos finales de los tratamientos realizados en CCHEN, se eligió como cuerpo receptor el sistema de alcantarillado, debido a que en comparación con los otros cuerpos receptores, la norma que rige las descargas al sistema de alcantarillados (D. S. N°609/98 “Norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a la descarga de residuos industriales líquidos al sistema de alcantarillado”) es la menos restrictiva.

A continuación en la tabla 17, se indican los residuos que fueron descargados al sistema de alcantarillado en conjunto con las concentraciones finales de descarga.

Tabla 17: Concentración de soluciones descargadas

DUO REGADO	VOLUMEN DE DESCARGA (L)	PARÁMETRO NORMADO	CONCENTRACIÓN DE DESCARGA (mg/L) ⁽¹⁾	CONCENTRACIÓN FINAL CONSIDERANDO DILUCIÓN (mg/L) ⁽³⁾	LÍMITE MÁXIMO PERMITIDO (mg/L) ⁽²⁾
n de As	1	As	1.1	10 ⁻⁵	0,5
n de CaI	1	-	29000	0.29	-
n de Hg	1	Hg	2.5	10 ⁻⁵	0,02
n de Na ₂ SO ₄	20	SO ₄ ²⁻	18000	0.18	1000
n de	5	-	60000	0.6	-
n de	4	-	89000	0.87	-
n de	0.7	-	16900	0.18	-
n de	2	SO ₄ ²⁻	22000	0.21	1000

(1) Las concentraciones de descarga se refieren a las concentraciones de los parámetros normados antes de la descarga y en los casos en donde no existen parámetros normados las concentraciones señaladas se refieren al compuesto presente en la solución antes de ser descargada.

(2) Los límites máximos permitidos están referidos a unidades de concentración y corresponden al valor promedio diario de la concentración del correspondiente parámetro.

Es importante señalar que en la norma referente a las descargas de RILes al sistema de alcantarillado se estipula claramente la validez de utilizar las aguas servidas como aguas de dilución (ver apéndice III).

A continuación en la tabla 18 se encuentran las concentraciones finales de descarga de los metales presentes en la solución de HCl 10% tratada con NaOH 10%.

Tabla 18 Concentración de metales en la solución de HCl 10% después del tratamiento con NaOH 10%

RESIDUO	CONCENTRACIÓN ORIGINAL (mg/L) ⁽¹⁾	CONCENTRACIÓN POST-TRATAMIENTO	LÍMITE MÁXIMO PERMITIDO (mg/L)
Solución de Cadmio	419	Bajo el límite de detección	0,5
Solución de Cobalto	386	Bajo el límite de detección	-
Solución de Cobre	570	Bajo el límite de detección	3
Solución de Cromo	292	Bajo el límite de detección	10 ⁽²⁾
Solución de Estaño	432	Bajo el límite de detección	-
Solución de Manganeso	635	Bajo el límite de detección	4

⁽¹⁾ Los valores de concentración antes del tratamiento y después del tratamiento fueron obtenidos mediante el uso de ICP.

⁽²⁾ El valor de concentración informado para el Cromo (10mg/L), corresponde a Cromo total. El valor para cromo VI es 5mg/L.

Como ya se mencionó anteriormente, es destacable la disminución de la concentración de los metales presentes en la solución tratada ya que se puede ver que todos los valores de concentración estuvieron por debajo del límite de detección del equipo, lo que permite según la norma descargar la solución final incluso sin considerar la dilución de las aguas servidas.

El volumen de la solución tratada fue de 7 L, mientras que el volumen final descargado fue de aproximadamente 14 L con un producto sólido final recolectado (precipitado) de 160g.

4.1.1 FORMULARIO DE DESCARGA

En el caso de que la descarga de residuos al sistema de alcantarillado sea considerada como una medida de disposición frecuente, será necesario contar con un “Formulario de Descarga”, el cual debe registrar los residuos descargados al alcantarillado, y debe contener a lo menos el nombre químico del residuo, su concentración al descargarlo, cantidad descargada, fecha y hora de descarga, pH, y el nombre de la persona o unidad responsable. De esta forma, el “Formulario de Descarga”, permitirá llevar un control interno de las descargas realizadas disminuyendo el riesgo de sobrepasar las normas y facilitando el control de las autoridades respectivas.

El formulario de descarga al alcantarillado debe reflejar todos los residuos descargados en el período de un año y debe mantenerse cerca de un punto de descarga al alcantarillado.

A continuación en la tabla 19, se muestra un ejemplo de “Formulario de Descarga” en función de las descargas realizadas.

Tabla 19: Ejemplo de formulario de descarga al sistema de alcantarillado

NOMBRE QUÍMICO	CONCENTRACIÓN /PH Y CANTIDAD	CANTIDAD TOTAL DESCARGADO DE PARÁMETRO NORMADO	CONCENTRACIÓN FINAL ⁽¹⁾	FECHA / HORA	NOMBRE RESPONSABLE
Cloruro de Sodio	60 g/L pH neutro, 5 L	No normado	0,6mg/L	10-11-03 /9:45	REGESAM
Sulfato de Sodio	22 g/L pH neutro, 2 L	44 g de Sulfato	0,21 mg/L	10-11-03 /9:45	REGESAM
Bromuro de Sodio	18 g/L pH neutro, 20 L	360 g de Sulfato	0,18 mg/L	10-11-03 /9:45	REGESAM
Yoduro de Calcio	29 g/L pH neutro, 1 L	No normado	0,29m/L	10-11-03 /9:45	REGESAM
Arsénico en ácido nítrico al 10%	1,1 mg/L pH neutro, 1L	1,1 mg	10 ⁻⁵ mg/L	10-11-03 /9:45	REGESAM
Mercurio al 10% de ácido nítrico	2,5mg/L pH neutro, 1L	2,5 mg	10 ⁻⁵ mg/lt	10-11-03 /9:45	REGESAM

⁽¹⁾ considerando un volumen de dilución promedio diario de 100 m³

Es importante dejar en claro que actualmente la Comisión Chilena de Energía Nuclear no realiza descarga alguna de RILes al sistema de alcantarillado como medida de disposición y que las descargas informadas solo fueron realizadas para efecto de esta tesis.

CAPÍTULO 5.- EVALUACIÓN DE COSTOS

5.1 COSTOS Y BENEFICIOS DEL TRATAMIENTO DE RESIDUOS

La factibilidad de implementar sistemas de tratamiento de residuos, viene dada principalmente por los costos asociados a éstos y para poder evaluar de mejor forma los costos asociados es necesario establecer en primer lugar una comparación de costos entre las alternativas de manejo de residuos que se tengan, en otras palabras, se deben comparar los costos relativos a la disposición ante destinatarios autorizados versus los costos de disposición previo tratamiento. La figura 11 “alternativas de disposición de residuos” ayuda a entender mejor esta situación.

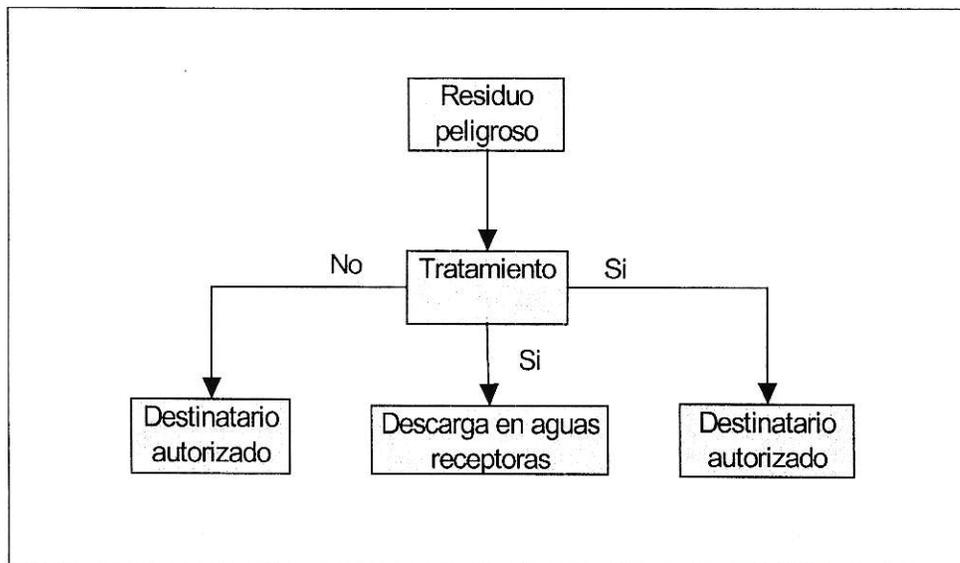


Figura 11: Alternativas de disposición de residuos

Como se aprecia en la figura 11 un residuo que no recibe tratamiento tiene como única alternativa de disposición el traslado a un destinatario autorizado, mientras que un residuo que si recibe tratamiento puede ser descargado en aguas receptoras o bien puede ser enviado a un destinatario autorizado previa modificación de sus características de peligrosidad.

5.2 COMPARACIÓN DE COSTOS DE DISPOSICIÓN ENTRE RESIDUOS TRATADOS Y NO TRATADOS

Para poder realizar una comparación de costos entre residuos tratados y no tratados, es necesario evaluar cada etapa que pueda generar algún gasto. En este caso a modo de ejemplo se evaluarán los costos referidos a los tratamientos antes realizados.

5.2.1 COSTOS DEL TRATAMIENTO DE RESIDUOS

En general, el costo total de un tratamiento de residuos viene dado de la siguiente forma:

$$\text{Costo total de tratamiento (Ct)} = Cr + Cm + Ci + Cp + Cdi$$

Donde:

Cr = Costo de Reactivos

Cm = Costo de materiales

Ci = Costo de infraestructura

Cp = Costo de personal

Cdi = Costo de disposición indirecta

Sin embargo, aunque tanto Ci, como Cp, son los costos más importantes en un tratamiento según la fórmula presentada, cabe señalar que estos costos pueden ser perfectamente despreciables cuando se realizan tratamientos en pequeña escala donde uno de los aspectos centrales es precisamente aprovechar tanto la infraestructura como el personal disponible, como es el caso de este trabajo. Por este motivo, en general, el tratamiento de residuos químicos in-situ, tiene como principales costos, la compra de materiales (implementación de seguridad, artículos de laboratorio, etc.) y la compra de reactivos. Es por esto último, que el costo final de un tratamiento dependerá mucho del tipo de residuo a tratar y del volumen de éste.

a) Costos de reactivos

A continuación en la tabla 20 se indican los valores de los respectivos reactivos empleados en cada tratamiento:

Tabla 20: Costos de reactivos de acuerdo a los tratamientos realizados

RESIDUOS	REACTIVOS	COSTO DE REACTIVO ⁽¹⁾
Ácido nítrico	NaOH p.a	\$17425/ 5kg
Ácido iodhídrico	Ca(OH) ₂ p.a	\$8200/ 1kg
Arsénico en solución	CH ₃ CSNH ₂ (Tioacetamida) HCl 32% Tec	\$7200/ 100g \$418/ 1L
Bromo (Br ₂)	NaHSO ₃ Tec Na ₂ CO ₃ p.a	\$3600/ 1kg \$8000/ 1kg
Hidróxido de sodio	HCl 32% Tec	\$418/ L
Mercurio en solución	NaOH p.a	\$17425/ 5kg
Fósforo tricloruro	Na ₂ CO ₃ p.a	\$8000/ 1kg
Metales en medio ácido	NaOH p.a	\$17425/ 5kg

⁽¹⁾ Los costos de reactivos fueron obtenidos de cotizaciones realizadas en diferentes proveedores durante el período 2002-2003.

b) Costos de materiales

Como se mencionó anteriormente, los materiales utilizados para el tratamiento de residuos involucran desde los implementos de seguridad (guantes, delantal, etc.), hasta los instrumentos de laboratorio (pipetas, vasos precipitados, etc.).

Estimativamente, según presupuestos enviados a Mundolab y Arquimed, el costo requerido para implementar un laboratorio con los utensilios básicos para la realización de los tratamientos antes descritos es de \$150000.

c) Costo de disposición indirecta

Se aplica solamente cuando después de un tratamiento dado, el producto final de este se debe disponer de igual forma ante un destinatario autorizado, como ocurre con la precipitación de iones metálicos.

5.2.2 COSTO DE DISPOSICIÓN ANTE DESTINATARIOS AUTORIZADOS

Los costos de disposición corresponden al valor monetario asignado por los destinatarios autorizados a un determinado residuo para su recepción, además del costo de transporte, es decir:

$$C_{\text{disposición}} = C_{\text{recepción}} + C_{\text{transporte}}$$

A continuación en la tabla 21 se indican algunos valores promedio asignados por los destinatarios autorizados a determinados residuos:

Tabla 21: Costos de disposición ante destinatarios autorizados

RESIDUO	VALOR ⁽¹⁾ (UF/Ton) + IVA
Residuos ácidos acuosos	10,7
Residuos alcalinos acuosos	10,7
Residuos orgánicos	7,7
Residuos sólidos solubles	8
Residuos sólidos insolubles	5
Transporte:	\$45000/viaje

⁽¹⁾ Los montos presentados corresponden a valores aproximados y fueron obtenidos de presupuestos solicitados a Hidronor S.A. y Bravo Energy respectivamente.

Como se puede apreciar en la tabla 21 los costos de disposición ante destinatarios autorizados varían de acuerdo a las características que presente un determinado residuo

en función del tratamiento que se requiera realizar por parte de dicha empresa. En general se le asignará el mayor costo a aquel residuo que por sus características necesite ser sometido tanto a tratamientos físico-químicos como de neutralización como es el caso de soluciones de metales pesados.

A continuación en la tabla 22 se presenta la comparación de costos entre los tratamientos realizados versus los costos estimados para la disposición ante destinatarios autorizados para los mismos residuos.

Tabla 22: Comparación de costos entre tratamiento y disposición para un mismo residuo

RESIDUO	CANTIDAD TRATADA ⁽¹⁾	COSTO DE TRATAMIENTO (\$) ⁽²⁾	COSTO DE DISPOSICIÓN ANTE DESTINATARIO AUTORIZADO (\$) ⁽³⁾
Ácido nítrico	78 L	17425	15362
Ácido iodhídrico	6,2 L	8200	1807
Arsénico en solución (HNO ₃ 10%)	50 L	7600	9940
Bromo (Br ₂)	1 L	11600	181
Hidróxido de sodio	4 L	418	795
Mercurio en solución (HNO ₃ 10%)	78 L	17425	15362
Fósforo tricloruro	0,6 L	8000	114
Metales en medio ácido (HCl 10%)	50 L	17425	9940
Costo de materiales		150000	
Costo de transporte			45000
Total		238098	98501

⁽¹⁾ Los volúmenes considerados son teóricos y fueron calculados en orden a maximizar la capacidad de tratamiento de los reactivos comprados.

(2) El valor asignado para los respectivos reactivos fue obtenido de diferentes cotizaciones realizadas en el período 2002-2003.

(3) Los costos de disposición fueron calculados a partir de las cantidades de residuos en masa (kg).

A partir de la tabla 22 se pueden desprender varias observaciones. En primer lugar, el costo referido al tratamiento de residuos es más de dos veces el valor de la disposición de los mismos ante destinatarios autorizados y recae principalmente en los materiales utilizados, dato que no es menor si se considera que un gasto fuerte de este tipo se realiza solo una vez. Tomando en cuenta esto, tratamientos posteriores pueden arrojar un saldo a favor en comparación a la disposición ante destinatarios autorizados, como ocurre con el ejemplo anterior si no se consideran los costos de materiales donde el costo de tratamiento tiene un margen levemente inferior al de disposición.

Por otra parte, en la tabla 22 se ve claramente que el costo de tratamiento depende directamente del tipo y cantidad de residuo a tratar en función de los reactivos necesarios para efectuarlo, por lo tanto, cada tratamiento se debe evaluar en forma individual ya que como se ve en la tabla antes mencionada, existen tratamientos cuyo costo es muy superior en comparación al costo de disposición ante destinatarios autorizados, mientras que otros tienen un costo inferior.

Por otro lado, para los residuos que se generan en cantidades pequeñas es recomendable tratarlos en el mismo punto de generación en el caso de que se generen en laboratorios o bien tratarlos en otros laboratorios ya implementados ya que dependiendo de los residuos a tratar, la implementación de un laboratorio puede ser poco viable de acuerdo a los costos necesarios para tal efecto.

Las observaciones antes descritas, ratifican la idea de que los tratamientos de residuos se deben abordar como parte concluyente de un SGR, intentando en lo posible obtener los reactivos necesarios para los tratamientos mediante reciclaje interno

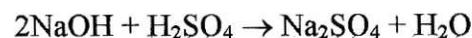
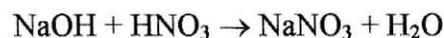
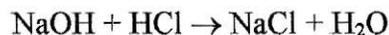
(reubicación de reactivos en desuso, reuso de residuos, etc) como ocurrió efectivamente en los procedimientos revisados en el capítulo 4. Esto principalmente debido a que los costos de reactivos son generalmente elevados y a que en algunas oportunidades un residuo dado puede requerir para su tratamiento una cantidad de reactivo muy inferior a la de la compra mínima, por lo que se estaría generando una porción de reactivo en desuso, lo que obviamente es contraproducente tanto desde el punto de vista económico como del objetivo de un SGR.

5.1 SELECCIÓN DE REACTIVOS

A la hora de comparar los costos de un tratamiento dado versus los costos de disposición ante destinatarios autorizados, cuando no se tiene a mano el reactivo necesario para el tratamiento, la selección del reactivo indicado puede ayudar a disminuir los costos de un tratamiento.

A continuación se muestra como ejemplo la neutralización de 50 L de hidróxido de sodio al 10% con HCl, HNO₃ y H₂SO₄.

Reacciones:



Los volúmenes de reactivos necesarios para neutralizar el residuo no serán iguales, para el caso del ácido nítrico el volumen necesario es de aproximadamente 14 L, mientras que en el caso de ácido clorhídrico el volumen necesario es de aproximadamente 15 L y para el ácido sulfúrico es de 5,2 L. Con esto el costo final de tratamiento en cada caso va dado en la siguiente tabla:

Tabla 23: Comparación del costo de reactivo para la neutralización de 50 L de NaOH al 10%

RESIDUO/ CANTIDAD	REACTIVO	COSTO DE REACTIVO ⁽¹⁾	CANTIDAD DE REACTIVO ⁽²⁾	COSTO DE TRATAMIENTO ⁽³⁾
NaOH al 10%/ 50L	HCl 32% Tec	\$418 /L + IVA	15 L	\$6270 + IVA
NaOH al 10%/ 50L	HNO ₃ 58% Tec	\$628 /L + IVA	14 L	\$8792 + IVA
NaOH al 10%/ 50L	H ₂ SO ₄ 96% Tec	\$155 /L + IVA	6,4 L	\$992 + IVA

⁽¹⁾ Los costos señalados fueron obtenidos de presupuestos solicitados durante el año 2002.

⁽²⁾ Cantidad de reactivo necesario para neutralizar los 50 L de NaOH al 10%.

⁽³⁾ Considera solo el costo referente a la compra del reactivo.

De la tabla 23 se puede apreciar que resulta más conveniente en este caso utilizar como reactivo tratante al ácido sulfúrico debido a que es más económico, pero por otro lado, puede ser conveniente utilizar ácido clorhídrico ya que es más fácilmente descartable al sistema de alcantarillados debido que no posee parámetros normados.

De acuerdo a los montos señalados en la tabla 21 (costos de disposición ante destinatarios autorizados) los costos finales de disposición para el hidróxido de sodio tratado y no tratado serían como se indica en la tabla 24:

Tabla 24 Comparación de costos de disposición de hidróxido de sodio

RESIDUO TRATADO CON HNO ₃	RESIDUO TRATADO CON HCl	RESIDUO TRATADO CON H ₂ SO ₄	RESIDUO DISPUESTO ANTE DESTINATARIO AUTORIZADO ⁽¹⁾
\$8792	\$6270	\$992	\$9816

⁽¹⁾ El costo de disposición no incluye el costo del transporte

Como se puede apreciar en la tabla 24, aun sin considerar el costo de transporte, el costo de disponer el hidróxido de sodio ante un destinatario autorizado es mayor al costo de tratamiento en los casos donde se usa HNO₃, HCl y H₂SO₄ como reactivos tratantes, sin embargo la diferencia de costos entre los reactivos puede ser importante al aumentar el volumen de residuo tratado (gráfico 5), por lo tanto, este ejemplo grafica claramente el efecto que puede tener en los costos finales la correcta selección de un reactivo tratante.

Como se verá en la figura 12 esta tendencia se acentúa al aumentar el volumen de residuo a disponer.

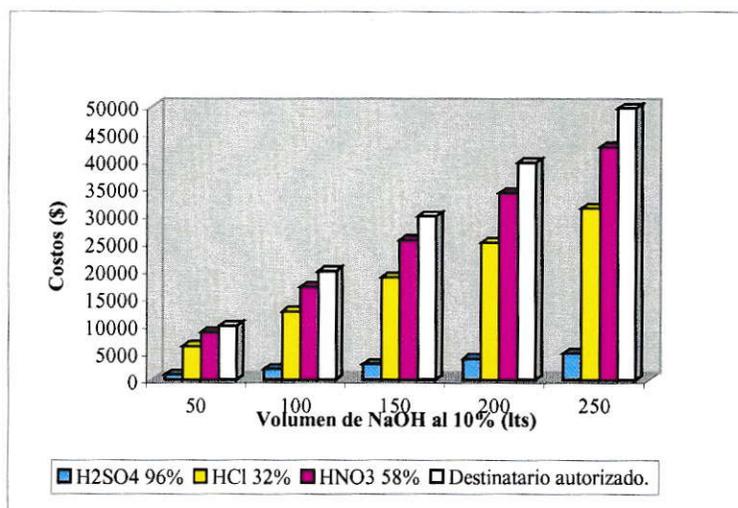


Figura 12: Comparación de costos (tratamiento v/s disposición)

En la figura 12 se puede ver que la diferencia de costos entre éstas opciones se va haciendo más considerable al aumentar el volumen de residuo. Por otra parte, si bien la diferencia de costos es poca cuando se trabaja con pequeñas cantidades de residuos, en este caso la diferencia la marca el costo del transporte, por lo que a pequeñas cantidades es más conveniente tratar el residuo antes de trasladarlo a un destinatario autorizado, sobre todo cuando el producto final del tratamiento es susceptible de descargar a cuerpos de agua receptores.

de disposición (Cd) está integrado tanto por el costo de recepción por parte del destinatario autorizado como por el costo del transporte del residuo.

En la tabla 25 a continuación, se comparan los costos de disposición con y sin tratamiento previo de 7 L una solución de HCl al 10% con presencia de iones metálicos, ante un destinatario autorizado.

Tabla 25: Comparación de costos de disposición para un residuo cuyo producto final de tratamiento se debe disponer ante un destinatario autorizado

RESIDUO /CANTIDAD	TRATAMIENTO	PRODUCTOS FINALES	COSTO DE DISPOSICIÓN (\$+IVA) ⁽¹⁾	COSTO DE TRATAMIENTO (\$+IVA) ⁽²⁾
Solución de HCl al 10% con presencia de metales/ 7L	Neutralización y precipitación con NaOH	Solución incolora pH Neutro/160g de producto final sólido	Crecepción=1250	Cdi =13,3

⁽¹⁾ Valor aproximado y se refiere al costo de disposición ante un destinatario autorizado del total del residuo sin tratamiento previo y sin incluir costo de transporte (Crecepción)

⁽²⁾ Valor aproximado y se refiere al costo de disposición ante un destinatario autorizado de los 160 g de producto final sólido obtenido después del tratamiento, sin incluir costo de transporte.

Como se puede apreciar en la tabla 25, el costo de disposición del residuo, es mayor al costo de tratamiento del mismo es decir, Crecepción > Cdi. Esto ocurre principalmente, debido a que el tratamiento produjo una reducción en la cantidad de residuo a disponer, en otras palabras, de los 7 L de residuo original, que equivalen a una masa levemente superior a 7 kg, se logró reducir a una cantidad de 160 g, originando la respectiva diferencia de costos indicada en la tabla.

5.4 COMPARACIÓN DE COSTOS EMPLEANDO RECICLAJE INTERNO

Como ya se discutió anteriormente, el costo de un tratamiento puede ser muy conveniente cuando se practica el reciclaje interno (Reuso de reactivos y/o residuos), aún cuando el producto del tratamiento del residuo no se puede descargar en su totalidad a cuerpos de agua receptores y parte de éste se deba trasladar a un destinatario autorizado. Este es el caso de residuos cuyo tratamiento previo es la precipitación ya que esta genera un residuo sólido cuya disposición ante un destinatario autorizado es generalmente la única solución.

A continuación, se comparan los costos de disposición con y sin tratamiento previo de 7 L una solución de HCl al 10% con presencia de iones metálicos, ante un destinatario autorizado.

$$\text{Costo total de tratamiento (Ct)} = C_r + C_m + C_i + C_p + C_{di}$$

Donde:

C_{di} = Costo referido a la disposición ante un destinatario autorizado de los iones metálicos precipitados producto del tratamiento realizado.

$$\text{Costo de disposición (Cd)} = C_{recepción} + C_{transporte}$$

Donde:

$C_{recepción}$ = Costo referido a la disposición ante un destinatario autorizado del total del residuo (7 L).

$C_{transporte}$ = Costo referido al transporte hacia un destinatario autorizado del total del residuo.

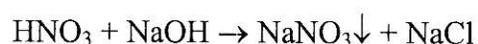
Como se puede apreciar, en este caso, el costo total del tratamiento viene dado solamente por el costo de disposición indirecta (C_{di}) ya que tanto los reactivos como los materiales empleados fueron obtenidos mediante reciclaje interno. Mientras que el costo

Otro punto a destacar es que nuevamente vemos que a pequeñas cantidades de residuos, el costo principal de la disposición ante destinatarios autorizados recae en el transporte de los mismos, es por esto que se puede deducir que a pequeñas cantidades de residuos y si las oportunidades de minimización lo permiten, tanto por seguridad (manipulación del residuo) como por economía, frecuentemente es más conveniente tratar un residuo antes de trasladarlo directamente a un destinatario autorizado aun cuando el producto final del tratamiento se deba de todas formas disponer posteriormente ante un destinatario autorizado (disposición indirecta).

Una situación parecida ocurre con otros residuos generados en CCHEN como es el caso del ácido nítrico al 50% y el hidróxido de sodio al 10% de los cuales se generan aproximadamente 50 y 360 litros anuales respectivamente desde el mismo proceso. En este caso nuevamente las alternativas de manejo son 2; por un lado, se pueden disponer los 410 L de residuo ante un destinatario autorizado y, por otro lado, se puede tratar el residuo en 2 etapas como sigue a continuación:

Etapa 1: Neutralización entre residuos

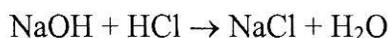
La primera etapa consiste en neutralizar el ácido nítrico al 50% con el hidróxido de sodio al 10% mediante la siguiente reacción:



De acuerdo a la reacción señalada los 50 L de ácido nítrico serán neutralizados con aproximadamente 160 L de los 360 L totales de hidróxido de sodio generado, obteniéndose un producto sólido de NaNO_3 de aproximadamente 34 kg los cuales se tendrían que disponer ante un destinatario autorizado.

Etapa 2: Neutralización de los 200 L restantes de hidróxido de sodio al 10%

En una segunda etapa el hidróxido de sodio restante se neutraliza con HCl Tec. al 32% según la siguiente reacción:



Según la reacción anterior, para neutralizar los 200 L de NaOH restantes se necesitan aproximadamente 57 L de HCl Tec. al 32% para producir una solución final neutra de 257 L la cual se puede descargar al alcantarillado.

A continuación se encuentra la comparación de costos del tratamiento antes mencionado:

En este caso, tanto el costo de materiales, de infraestructura, como de personal, se pueden despreciar producto de que estos tres elementos se encuentran disponibles, por lo tanto, el costo total de tratamiento viene dado de la siguiente forma:

$$\text{Costo total de tratamiento (Ct)} = \text{Cr} + \text{C}_m + \text{C}_i + \text{C}_p + \text{C}_{di}$$

Donde:

Cr = Costo referido a la compra de 57 L de HCl 32% Tec

C_{di} = Costo referido a la disposición ante un destinatario autorizado de los 34 kg de nitrato de sodio obtenidos de la precipitación realizada en la primera etapa del tratamiento.

$$\text{Costo de disposición (Cd)} = \text{C}_{recepción} + \text{C}_{transporte}$$

Donde:

C_{recepción} = Costo referido a la disposición ante un destinatario autorizado de el total del residuo (410 L).

C_{transporte} = Costo referido al transporte hacia un destinatario autorizado del total del residuo (410 L).

En la tabla 26 se indica la diferencia económica entre la disposición directa de estos residuos ante un destinatario autorizado y la disposición de estos previo tratamiento.

Tabla 26: Comparación de costos de disposición para HNO₃ 50% y NaOH 10%

RESIDUO/ CANTIDAD	TRATAMIENTO	PRODUCTO DE TRATAMIENTO	COSTO DE DISPOSICIÓN (\$+IVA) ⁽¹⁾	COSTO DE TRATAMIENTO (\$+IVA) ⁽²⁾
-HNO ₃ 50% /50L -NaOH 10% /160L	Neutralización mutua	NaNO ₃ / 34 kg	Crecepción =45000	Cdi = 4540
NaOH 10% /200 L	Neutralización con HCl Tec 32%	Solución de NaCl / ≅ 260 L	Crecepción =39760	Cr = 23826
Total			84760	28366

⁽¹⁾ Valor aproximado y se refiere al costo de disposición ante un destinatario autorizado del total del residuo sin tratamiento previo y sin incluir costo de transporte (Crecepción)

⁽²⁾ Valor aproximado y se refiere al costo de disposición ante un destinatario autorizado de los 34 kg de NaNO₃, sin considerar costos de transporte y para el caso del tratamiento con HCl, el valor corresponde a la cantidad necesaria para comprar los 57 L de HCl Tec. al 32% que se necesitan para la neutralización (Cr).

Como se puede ver en la tabla 26, el costo de disposición sin considerar el costo en transporte es bastante mayor al costo de tratamiento, es decir, Crecepción > Cr + Cdi, por otro lado, vemos que el tratamiento aplicado en este caso, produce una reducción de volumen considerable que permitiría acumular una mayor cantidad de residuo antes de disponerlo, disminuyendo así los costos en transporte. En otras palabras, la acumulación de nitrato de sodio por un período de 10 años llegaría a un total aproximado de 340 kg, lo que arrojaría un costo de disposición de aproximadamente \$46000 más \$286660 de la

neutralización con HCl, lo que en total arrojaría un valor de \$332660 a valor actual, en cambio la disposición directa del residuo en forma anual arrojaría un valor total al cabo de 10 años de aproximadamente \$847600 sin contar el costo del transporte que de realizarse anualmente completaría un costo total de \$1297600 en valor actual.

Por otra parte también existe la posibilidad de encontrar un uso alternativo para el nitrato de sodio, evitando o disminuyendo su disposición ante un destinatario autorizado, ya que es conocida su capacidad como fertilizante. Por último, se puede ver la forma de controlar la neutralización para generar una solución de nitrato de sodio la que se podría descargar al sistema de alcantarillado.

Como se puede apreciar, en cualquiera de estos casos presentados, el tratamiento de los residuos es siempre más favorable económicamente a la disposición directa ante un destinatario autorizado de estos.

5.4.1 INCIDENCIA DEL TRANSPORTE

Siguiendo con el mismo caso anterior, ahora se verá la incidencia del costo de transporte de residuos sobre el costo total de disposición ante un destinatario autorizado. Para esto, se realizará una comparación del costo de disposición ante un destinatario autorizado de hidróxido de sodio al 10% (Crecepción) versus el costo de tratamiento del mismo con HCl 32% Tec (Cr), como se muestra en la figura 13.

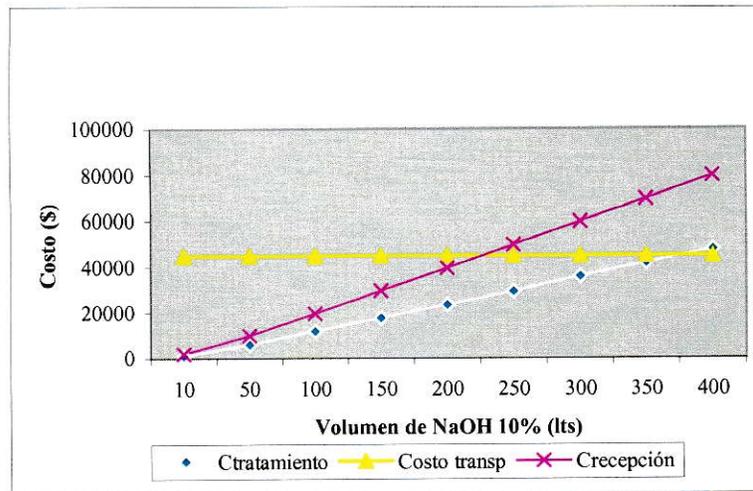


Figura 13: Comparación de costos de tratamiento, transporte y recepción, para el NaOH al 10%

Como se puede apreciar en la figura 13, el costo de transporte tiene un valor constante de \$45000/viaje, por lo tanto, si se considera que en cada viaje, un camión tiene la capacidad de transportar hasta aproximadamente 5ton. Podemos considerar que en el caso de los tratamientos en pequeñas escalas, el costo en transporte es fijo. Por otro lado, también se puede apreciar que hasta los 200 L el costo de recepción de los residuos por parte de un destinatario autorizado continua siendo inferior al costo de transporte de los mismos, lo que también ocurre con el costo de tratamiento, que en este caso hasta los 350 L se mantiene inferior al costo de transporte.

En la figura 14 a continuación, se puede apreciar con más facilidad la diferencia de costos entre la disposición ante un destinatario autorizado (Crecepción + Ctransporte) y el tratamiento del mismo.

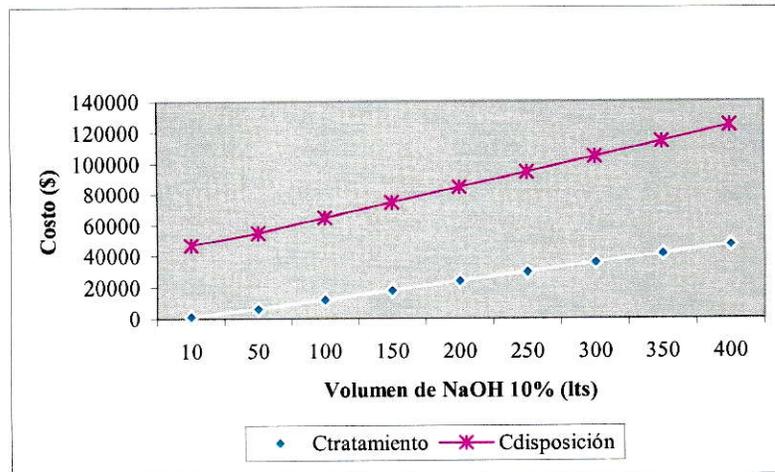


Figura 14: Costo de tratamiento v/s costo de disposición

En la figura 14, el costo de disposición tiene incluido el costo de transporte, es decir, viene dado por: $C_d = C_{recepción} + C_{transporte}$, apreciándose que es bastante superior al costo de tratamiento hasta los 400 L. Esto indica que el costo de transporte encarece bastante el costo total de disposición ante un destinatario autorizado lo que es más notorio al disminuir la cantidad de residuo a disponer. Por lo tanto, se puede decir que hasta los 400 L es más conveniente tratar el residuo que disponerlo ante un destinatario autorizado.

5.5 CONSIDERACIONES FINALES DE LA IMPLEMENTACION DEL TRATAMIENTO DE RESIDUOS EN CCHEN

Los beneficios concretos que se pueden esperar a partir de la implementación de tratamientos químicos en CCHEN son por un lado la reducción de costos de disposición y por otro el aumento de la responsabilidad ambiental.

Por otra parte, cabe señalar que no se puede asegurar el éxito de cualquier tratamiento por lo que se debe estudiar el caso de cada residuo antes de tomar alguna medida ya que como se ha visto anteriormente existen múltiples factores que pueden llegar a determinar la viabilidad de estos. De acuerdo a lo anteriormente señalado, una

forma ideal de implementar tratamientos químicos sería fomentando el tratamiento en el punto de generación.

Desde este punto de vista, los laboratorios generadores de residuos químicos, deberían considerar como última etapa de trabajo el tratamiento de residuos, bajo la supervisión y control del personal perteneciente al proyecto REGESAM. En el caso de los residuos que no puedan ser tratados en el punto de generación ya sea por sus propiedades químicas o por que proviene de un laboratorio que no cuenta con la implementación necesaria para efectuar algún tratamiento, el proyecto REGESAM tomará las decisiones pertinentes de los pasos a seguir en cada caso.

La conveniencia de este esquema, es evidente ya que los generadores son las personas más familiarizadas con la naturaleza y riesgos potenciales de los residuos, además se puede evitar el costo de materiales, se evita el transporte, la manipulación innecesaria de los residuos, y se estimulan los procesos de reutilización. Por otro lado, esto ayuda a fomentar tanto la responsabilidad como la concientización ambiental del personal que en definitiva son los pilares de un Sistema de Gestión de Residuos.

Por último, después de revisar todos los aspectos que involucra un tratamiento de residuos químicos, se presenta a continuación un procedimiento general que se recomienda seguir para evaluar la posibilidad de desarrollar un tratamiento determinado *in-situ*.

5.5.1 PROCEDIMIENTO GENERAL DE TRATAMIENTO IN-SITU DE RESIDUOS QUÍMICOS

1- Identificación del residuo

- Cantidad (volumen, kg)
- Frecuencia de generación
- Costo de disposición ante destinatario autorizado

2- Identificación del tratamiento

- Tipo de tratamiento (Neutralización, Precipitación, etc.)
- Materiales y Reactivos necesarios (tipo y cantidad)
- Reducción efectiva de peligrosidad y/o volumen
- Manejo del producto final (basura común, descarga en aguas, disposición ante destinatario autorizado)

3- Evaluación de condiciones de seguridad

- Identificación de medidas de seguridad necesarias (infraestructura, implementos personales, etc.)

4- Evaluación de insumos

- Identificación de insumos reciclables (materiales, reactivos y/o residuos)
- Identificación de insumos a comprar

5- Evaluación de viabilidad final

- Evaluación del costo total del tratamiento:
 - Costo de reactivos
 - Costo de materiales
 - Costo de infraestructura
 - Costo de personal

- Costo de disposición indirecta
- Comparación costo total del tratamiento v/s disposición final ante destinatario autorizado

De esta forma, al seguir un procedimiento como el que se describió anteriormente, se están considerando los aspectos importantes que hay que evaluar antes de decidir la realización de algún tratamiento como son:

- Higiene y Seguridad
- Aspectos económicos
- Impacto sobre el medio ambiente

DISCUSIÓN Y PROPUESTA

La implementación de un SGR tanto en CCHEN como en cualquier otra empresa o institución, de por sí es ventajosa debido a que no tiene grandes dificultades en su implementación, además que proporciona importantes beneficios tanto desde el punto de vista de la seguridad laboral y minimización de residuos (por medio de inventarios almacenamiento, recolección, etc), como desde el punto de vista económico por medio de buenas prácticas de reutilización y tratamientos. Sin embargo, cabe mencionar que la implementación del SGR en CCHEN todavía se encuentra en desarrollo. Por esto se hace imprescindible entregar una correcta capacitación a los trabajadores con el objetivo de crear conciencia, responsabilidad, establecer una buena comunicación y también obtener un compromiso de parte de éstos. Así de esta forma, la implementación del SGR se puede hacer en forma mucho más dinámica y eficiente.

La minimización de residuos, es un concepto que engloba una serie de mecanismos que de alguna forma ayudan a reducir la generación de residuos, sin embargo hay que tener claro que no siempre estos mecanismos se pueden adaptar en su totalidad a cada empresa o institución. En el caso de CCHEN, por el hecho de estar integrada principalmente por laboratorios, los que a su vez son los generadores mayoritarios de los residuos, la minimización de éstos se debe abordar en forma diferente a como se podría hacer en una industria.

La dificultad que presenta la generación de residuos por parte de laboratorios, es que los residuos generados se encuentran generalmente en una gran variedad pero en pequeñas cantidades, además que cada laboratorio puede generar diferentes tipos de residuos en forma totalmente discontinua, debido a que éstos trabajan muchas veces en base a proyectos que obviamente poseen una duración limitada, lo que hace muy difícil poder establecer medidas concretas y eficaces para reducir la cantidad generada de residuos como podrían ser la modificación de procesos, sustitución de productos o la

implementación de un sistema de tratamiento que de solución a una buena parte de los residuos. Por este motivo, las medidas más eficaces que se pueden implementar en un caso como éste apuntan principalmente a la capacitación de los trabajadores en el sentido de fomentar buenas prácticas de laboratorio, como controlar las compras de reactivos por medio de inventarios, fomentar el reuso de reactivos incentivando el uso de la bolsa de residuos y la buena comunicación entre los encargados correspondientes, con el fin de evitar acumulaciones excesivas de reactivos y a su vez evitar la generación de reactivos vencidos.

En el caso de los residuos de composición desconocida que ya se generaron y se encuentran en las instalaciones de los Centro Nucleares, se han establecido una serie de pruebas químicas básicas con el objeto de poder identificar las principales características de peligrosidad que estos puedan tener. El objetivo de estas pruebas es por un lado poder realizar un almacenamiento más seguro de estos residuos, de acuerdo a las incompatibilidades químicas que se puedan presentar y por otro lado, reducir la batería de análisis por parte de los destinatarios autorizados ya que éstos de alguna forma incrementan los costos de disposición.

En el caso de los tratamientos de residuos, es necesario aclarar que estos solamente se deben realizar como última etapa de un SGR, es decir, no se puede esperar que un tratamiento sea la mejor alternativa para un determinado residuo si no se ha implementado previamente un SGR debido a que la decisión de practicar un tratamiento depende de muchas variables las que sin SGR serían muy difíciles de verificar.

Por otro lado, es importante señalar que el factor final que determinará la conveniencia de realizar algún tratamiento será el costo que éste tenga. De acuerdo a esto se debe siempre comparar el costo del tratamiento del residuo con el costo relativo a la disposición del mismo. Para esto, se deben tomar en cuenta todas las instancias que generen gastos por parte del tratamiento (costos de reactivos, de materiales, infraestructura, personal y disposición indirecta), así como también las que generan

gastos por parte de la disposición ante un destinatario autorizado (costos de recepción, costo de transporte).

Desde el punto de vista del tratamiento de residuos químicos in-situ, será siempre conveniente utilizar al máximo los recursos disponibles con el fin de evitar o disminuir en lo posible los costos de reactivos y de materiales mediante la práctica de reutilización y sobre todo los costos de infraestructura y de personal, los que no deberían ser considerados si se trabaja con cantidades de residuos relativamente pequeñas.

En este sentido de acuerdo a las experiencias realizadas en CCHEN, se puede determinar que el mayor costo en el que se incurre en un tratamiento es la compra de reactivos, puesto que tanto la infraestructura como los materiales que se puedan necesitar se encuentran generalmente disponibles. Es por esto que es muy recomendable tratar de reutilizar los residuos como materia primas de los tratamientos, de esta forma, se reducen los costos en forma importante en comparación a la disposición ante destinatarios autorizados, lo que en definitiva le da sentido a la implementación de tratamientos de residuos.

El costo de transporte es muy determinante en el costo total de disposición ante un destinatario autorizado, sobre todo cuando se manejan cantidades pequeñas de residuos. por lo tanto, se puede decir que será generalmente más conveniente tratar los residuos antes que disponerlos mientras se manejen cantidades pequeñas de éstos. El punto entonces, será determinar hasta que cantidad de residuos se pueden considerar como cantidades pequeñas y esto vendrá dado principalmente por la cantidad de residuo que no necesite de una mayor o mejor infraestructura que la disponible para realizar el tratamiento, que no necesite de más personal que el disponible y no ponga en mayor riesgo la seguridad del personal ni de las instalaciones. En definitiva, tomando en cuenta esto último, según las experiencias realizadas en CCHEN, para el caso del hidróxido de sodio (planteado en el capítulo 5), se puede decir que no es recomendable tratar más de 50 L al mes, es decir, no sería conveniente tratar más de 600 L al año.

Por otro lado, como se ha mencionado anteriormente, existe una gran diversidad de residuos los que a su vez se encuentran en pequeñas cantidades, es por esto, que se hace complicado establecer procedimientos de tratamiento debido a que generalmente, cada residuo requiere de un tratamiento diferente, lo que implica obviamente un estudio individualizado. Por este motivo, en teoría, la forma más conveniente de llevar a cabo la implementación de metodologías de tratamiento es realizándolos en la fuente de generación, en otras palabras, los residuos se debieran tratar en los mismos laboratorios generadores incluyendo estos procedimientos de tratamiento como una última etapa de experimentación (en el caso de los residuos generados por laboratorios).

Por último cabe señalar que se recomienda que todo tratamiento que se lleve a la práctica sea realizado por una persona capacitada o sea supervisado por ésta. Y también es importante destacar que solo se pueden realizar tratamientos en pequeña escala ya que de otra forma sería muy riesgoso y además no se cuenta con la implementación necesaria para hacerlo.

CONCLUSIONES

- El implementar un SGR tiene que ser un compromiso a nivel de toda la institución partiendo por las autoridades. Por esto, el primer paso para implementar un SGR, es crear conciencia tanto en la autoridad de la institución como en los trabajadores, a modo de crear una óptima comunicación y trabajar en forma más dinámica.
- La implementación de un SGR, si bien requiere de un costo monetario inicial, trae como consecuencia importantes beneficios de los cuales destacan principalmente la disminución del riesgo laboral y la disminución del costo de disposición.
- La capacitación del personal es fundamental a la hora de implementar un SGR, ya que de éstos dependerá en definitiva el éxito de toda medida a llevar a cabo, además que con el tiempo el personal deberá ser actor principal en la toma de decisiones.
- De acuerdo al inventario de residuos podemos ver que los principales residuos generados en CCHEN son del tipo:

-Reactivos químicos en desuso.

-Reactivos químicos vencidos.

-Residuos generados en operaciones o actividades realizadas en laboratorios.

-Residuos generados en otras instalaciones distintas de laboratorios.

-Residuos de composición desconocida generados tanto en laboratorios como en otras instalaciones.

De estos residuos, solo los residuos generados fuera de los laboratorios se pueden abordar con medidas más concretas, debido a que éstos cuentan con cierta periodicidad de generación. En cambio el resto son residuos generados principalmente en gran variedad, pequeñas cantidades y en forma discontinua.

- En el caso de los residuos de carácter vencidos, en desuso o de composición desconocida, la reutilización y capacitación son las herramientas más poderosas dentro de un sistema de minimización que se puedan llegar a aplicar.

Del tratamiento de residuos se puede decir:

- Los costos de reactivos pueden ser un factor limitante a la hora de desarrollar un determinado tratamiento, ya que muchas veces el costo de los reactivos necesarios para realizarlo puede ser aun más costoso que la disposición del residuo ante un destinatario autorizado. Por este motivo, es muy importante que el tratamiento de residuos se maneje como una de las últimas alternativas dentro de un sistema de minimización donde se identifique tanto reactivos como residuos posibles de reusar como materias primas para los tratamientos. En otras palabras, se hace imprescindible contar primero con un SGR, que permita analizar todas las posibles variables de manejo que posea un residuo antes de llegar a tratarlo y que a su vez, permita en lo posible, obtener mediante reciclaje interno la materia prima necesaria para desarrollar los respectivos tratamientos.
- Requieren de un estudio caso a caso, ya que las condiciones y variables de un tratamiento varían de acuerdo al tipo de residuo que se desee tratar.
- Para el caso de los residuos que se generan a partir de procedimientos o actividades desarrolladas en los laboratorios, la implementación de tratamientos se debe realizar idealmente en el punto de generación, es decir, en forma interna por cada unidad generadora de residuos (laboratorios), bajo la supervisión y asesoramiento del personal de REGESAM. Mientras que en el caso de residuos no tratables o de residuos generados en lugares no implementados para tratar residuos, estos deberán ser manejados directamente por REGESAM o por personal autorizado por éste.

- Los tratamientos a realizar en CCHEN, están pensados en pequeña escala ya que de otra forma se debería hacer una nueva evaluación de acuerdo a la infraestructura necesaria, costo monetario (incluyendo horas hombre) y al riesgo de los trabajadores que obviamente se incrementará.
- Finalmente, el principio general que se debe adoptar es que los residuos tienen que ser dispuestos de forma tal que no afecten a las personas, ni al medio ambiente. Para esto, el personal de la institución (laboratoristas, investigadores y demás empleados), deben conocer y usar métodos adecuados para desechar los distintos tipos de residuos que generan y asumir su responsabilidad por la realización de las prácticas en forma adecuada.

BIBLIOGRAFÍA

- 1- Allende Correa, Fernando. "Manual de manejo de residuos sólidos industriales". Santiago: CONAMA, 1996. 314 p.
- 2- American Chemical Society Task Force on Laboratory Waste Management. "Laboratory Waste Management a Guidebook". Washington DC: ACS, 1994. 211 p.
- 3- Comisión Chilena de Energía Nuclear. "Auditoria ambiental de los Centros Nucleares". Santiago: Departamento de Aplicaciones Nucleares, Documento interno, 2001.
- 4- Comisión Nacional del Medio Ambiente. "Propuesta de política nacional sobre gestión integral de residuos". Santiago: CONAMA, 2001.
- 5- Conchon, Jaques André. "Tratamientos de residuos industriales tóxicos, peligrosos y no peligrosos". 1994.
- 6- Curso Suspel, "Manejo seguro de productos químicos y de residuos peligrosos", Concepción: Universidad de Concepción, 2000. www.udec.cl/sqrt/cursos/sustpel/indicesuspel/html-8k
- 7- Lunn, G., Seasone, E. "Destruction of Hazardous Chemicals in the Laboratory". 2nd ed. New York: Wiley, 1994. 501 p.
- 8- Margaret- Ann Armour. "Hazardous Laboratory Chemicals Disposal Guide". 2nd ed. Boca Raton: Lewis Publishers, 1996. 546 p.

- 9- Muir, G. D. "Hazards in the Chemical Laboratory". London: Royal Institute of Chemistry, 1974. 266 p.
- 10- National Research Council. "Prudent Practices in the Laboratory". Washington DC: National Academy Press, 1995. 427 p.
- 11- Norma Chilena Oficial 2120/of 89 "Sustancias peligrosas".
- 12- Norma Chilena Oficial 382/of 98 "Sustancias peligrosas- terminología y clasificación general".
- 13- Norma de emisión DS N°46/02. "Norma de emisión de residuos líquidos a aguas subterráneas". Publicada en el Diario Oficial el 17 de enero de 2003.
- 14- Norma de emisión DS N°90/00. "Norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales". Publicada en el Diario Oficial el 7 de marzo de 2001.
- 15- Norma de emisión DS N°609/98. "Norma de Emisión para las regulaciones de contaminantes asociados a las descargas de residuos industriales líquidos a sistemas de alcantarillado". Publicada en el diario Oficial el 20 de julio de 1998.
- 16- Proyecto FONDEF D97F1066. "Reglamento de manejo de residuos químicos". Barrio Universitario. Concepción: Universidad de Concepción, 1998. www.udec.cl/sqrt/reglamento/reglresiduos/html-91k.

APÉNDICE I

“Reducción en el origen”

La reducción en el origen es una actividad que reduce o elimina la generación de un residuo químico peligroso en un proceso. Algunas alternativas se mencionan a continuación:

1. Alteración de Materia Prima:

- Purificación de Materia Prima
- Sustitución de Materia Prima

a) Cambio de reactivos

Adquirir material no tóxico o el menos tóxico para el uso; Entre varias alternativas, se debe escoger la menos contaminante.

ESTO AFECTA A:	EJEMPLO
Solventes	Tolueno en lugar de benceno
Reactivos	Carbonatos en lugar de sulfuros en la marcha analítica
Reacciones	Cambio de catalizador, o de reductor
Procedimientos de purificación y aislamiento	Extracción con soxhlet
Conservación de cuerpos	Cambiar el Formaldehído por conservación en frío

Algunos ejemplos de cambios de reactivos son:

PRODUCTO	SUSTITUTO
Benceno	Ciclohexano, tolueno
Cloroformo, tetracloruro, percloroetileno, tricloroetileno	Metilcloroformo, fluorocarbonos
Dioxano	Tetrahidrofurano
2-Nitropropano	1-Nitropropano, nitroetano
n-Hexano	n-Heptano
Xileno	Hidrocarburos alifáticos, White Spirit
Acetonitrilo	Metanol, Acetona
Dimetilformamida	N-Metilpirrolidina
Etilenglicol	Propilenglicol
Metanol	Etanol

2. Alteración Tecnológica:

- Cambios en el Proceso;
- Cambios en equipos, cañerías o diagramas;
- Automatización adicional;
- Cambios en los valores operacionales;
- Conservación de Energía
- Conservación de Agua.

3. Cambios de Procedimientos:

- Medidas de procedimiento;
- Prevención de Pérdidas;
- Prácticas del Personal;
- Segregación de Efluentes;
- Manejo de Materiales;
- Aumento de eficiencia.

APÉNDICE II

“Incompatibilidad de residuos peligrosos”

Para mayor seguridad, sobre todo desde el punto de vista del almacenamiento y de la manipulación de residuos en general, es recomendable tomar en cuenta las incompatibilidades que pueden presentar algunos residuos con otros ya que la mezcla de residuos que contienen compuestos incompatibles puede causar por ejemplo explosiones e incendios. Algunas consecuencias de mezclas de residuos incompatibles se mencionan a continuación:

El contacto con ácidos fuertes o álcalis pueden causar corrosión y daños en la piel así como severos daños en las corneas.

La absorción de ciertos pesticidas pueden causar envenenamiento agudo.

Los envases y contenedores de productos químicos peligrosos pueden, si no son adecuadamente descartados, resultar en severos accidentes de envenenamiento si se dejan sin cuidado en lugares como vertederos y depósitos.

El derrame de residuos químicos al ambiente puede resultar en exposiciones de largo tiempo para la población, causando efectos adversos para la salud debido a envenenamiento.

Los químicos peligrosos deben siempre ser segregados en grupos compatibles durante el almacenamiento, para prevenir reacciones peligrosas en caso de accidente.

Las áreas de almacenamiento y gabinetes deben estar claramente señalizadas con la clase correspondiente de riesgo y tipo de elementos almacenados.

A continuación se encuentran diferentes listados de residuos incompatibles según fuentes como EPA, MERCK y otras.

La tabla siguiente muestra ejemplos de químicos peligrosos e incompatibles.

1) Clases de químicos incompatibles

Los materiales identificados en las columnas A y B deben mantenerse separados

Materiales Tipo A	Materiales Tipo B
Ácidos	Bases
Álcalis y metales alcalinos	Agua
Hidróxidos	Compuestos orgánicos o halogenados
Óxidos	Agentes oxidantes
Peróxidos	Cromatos, Dicromatos, Halógenos
	Peróxidos de Hidrógeno, Nitratos, ácido nítrico, Clorados y perclorados
	Permanganatos, Persulfatos
Ácidos Inorgánicos	Metales y sus sales
	Agentes oxidantes (lista anterior)
Nitratos inorgánicos	Ácidos, agentes oxidantes
Compuestos orgánicos	Agentes oxidantes
Anhídridos orgánicos	Compuestos orgánicos halogenados
Compuestos orgánicos halogenados	Sales de aluminio
Compuestos derivados del nitrógeno	Bases fuertes
Metales en polvo	Ácidos , Agentes oxidantes

Otra forma de definir las compatibilidades e incompatibilidades entre compuestos químicos, es la establecida por la EPA.

2) Compatibilidad de residuos peligrosos según EPA

1	Ácidos-Minerales Oxidantes	1										
2	Sustancias Cáusticas	C	2									
3	Hidrocarburos Aromáticos	C F		3								
4	Orgánicos Halogenados	C F GT	CG I		4							
5	Metales	GI C F			C F	5						
6	Metales Tóxicos	S	S					6				
7	Hidrocarburos Alifáticos Saturados	C F								7		
8	Fenoles y Cresoles	C F									8	
9	Agentes Oxidantes Fuertes		C	C F		C F		C			9	
10	Agentes Reductores Fuertes	C F GT			C GT				GI C	C F E	10	
11	Agua y Mezclas con Agua	C			C E		S				GI GT	11
12	Sustancias Reactivas con Agua	Extremadamente reactivas, no mezclar con ningún producto químico, material o residuo peligrosos										12

E	Explosivo
F	Fuego
GI	Gas Inflamable
GT	Gas Tóxico
C	Generación de Calor
CG	Gas generador de calor
S	Solubilización de Toxinas

En este documento, se hará mención además, al sistema de incompatibilidades de la empresa de productos químicos MERCK, ya que la mayoría de los compuestos adquiridos por la CCHEN, pertenecen a esta empresa:

3) Incompatibilidades de residuos según MERCK

En la siguiente tabla se indican las medidas de almacenaje a tomar de acuerdo a las incompatibilidades de residuos clasificados según la norma N. Ch. 2.120.

1	2.1	2.2	3	4.1	4.2	4.3	5.1	5.2	6.1	7	8	IMCO
	4	2	4	4	4	4	4	4	2	2	4	1
4		X	2	1	2	1	2	4	X	2	1	2.1
2	X		2	X	1	X	X	2	X	1	X	2.2
4	2	2		2	2	2	2	3	X	2	1	3
4	1	X	2		1	1	1	2	X	2	1	4.1
4	2	1	2	1		1	2	2	X	2	1	4.2
4	1	X	2	1	1		2	2	X	2	1	4.3
4	2	X	2	1	2	2		2	1	1	2	5.1
4	4	2	3	2	2	2	2		1	2	2	5.2
2	X	X	X	X	X	X	1	1		X	X	6.1
2	2	1	2	2	2	2	1	2	X		2	7
4	1	X	1	1	1	1	2	2	X	2		8
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	9

Los Números IMCO de la parte superior, hacen referencia a la clasificación con la que viene los productos MERCK y significan lo siguiente:

1	Explosivos
2.1	Gases Inflamables
2.2	Gases No Inflamables
3	Líquidos Inflamables
4.1	Sólidos Inflamables
4.2	Espontáneamente Combustibles
4.3	Peligro al contacto con la humedad
5.1	Sustancias Oxidantes
5.2	Peróxidos Orgánicos
6.1	Tóxicos
7	Sustancias Radiactivas
8	Corrosivos
9	Otros Menos Peligrosos

y los números y símbolos al interior del cuadro hacen mención a las siguientes indicaciones:

1	Lejos de: separados de manera que no puedan interactuar unos sobre otros. Pueden estar en el mismo compartimiento
2	Separado de: pueden estar en el mismo estante pero en distinto compartimiento
3	Separado por un compartimiento intermedio
4	Separado longitudinalmente por compartimiento intermedio grande o bodega aparte
X	Se recomienda separación especial

4) Otros ejemplos de incompatibilidad de residuos

Con el fin de evitar posibles reacciones químicas peligrosas deberá prestarse una especial atención a las incompatibilidades entre sustancias, evitando su mezcla y depositándolas en envases separados, si se diera el caso. Estas incompatibilidades son:

- ácidos con bases
- ácidos fuertes con ácidos débiles que desprendan gases tóxicos
- oxidantes con reductores
- agua con amidas, boranos, anhídridos, carburos, triclorosilanos, haluros, haluros de ácido, hidruros, isocianatos, metales alcalinos, peróxidos de fósforo y reactivos de Grignard.

a) Compuestos que reaccionan fuertemente con el agua

- ácidos fuertes anhídros
- alquimetales y metaloides
- amiduros
- anhídridos
- carburos
- flúor
- halogenuros de ácido
- halogenuros de acilo
- halogenuros inorgánicos anhídridos (excepto alcalinos)
- hidróxidos alcalinos
- hidruros
- imiduros
- metales alcalinos
- óxidos alcalinos
- peróxidos orgánicos
- fosfuros
- siliciuros
- calcio

b) Compuestos que reaccionan violentamente con el aire o el oxígeno (inflamación espontánea)

- Alquimetales
- Arsinas
- Boranos
- Hidruros
- Metales carbonilados
- Metales finamente divididos
- Nitruros alcalinos
- Fosfinas
- Fósforo blanco
- Fosfuros
- Xilenos
- Siliciuros

c) Sustancias incompatibles de elevada afinidad

Oxidantes con:	Nitratos, halogenatos, óxidos, peróxidos, flúor
Reductores con:	Materias inflamables, carburos, nitruros, hidruros, sulfuros, alquimetales, aluminio, magnesio y zirconio en polvo.
Ácidos fuertes con:	Bases fuertes
Ácido sulfúrico con:	Azúcar, celulosa, ácido perclórico, permanganato potásico, cloratos, sulfocianuros.

d) Reacciones peligrosas de los ácidos

Reactivo	Reactivo	Se desprende
Ácido sulfúrico	Ácido fórmico	Monóxido de carbono
	Ácido oxálico	Monóxido de carbono
	Alcohol etílico	Etano
	Bromuro sódico	Bromo y dióxido de azufre
	Cianuro sódico	Monóxido de carbono
	Sulfocianuro sódico	Sulfuro de carbonilo
	Yoduro de hidrógeno	Sulfuro de hidrógeno
Ácido nítrico	Algunos metales	Dióxido de nitrógeno
	Algunos metales	Dióxido de nitrógeno
Ácido clorhídrico	Sulfuros	Sulfuro de hidrógeno
	Hipocloritos	Cloro
	Cianuros	Cianuro de hidrógeno

Referencias

- “Manejo de sustancias peligrosas”, Mutual de Seguridad C.CH.C., Serie de cursos de capacitación Ocupacional, Departamento de Capacitación Región Metropolitana, 1999, Capitulo 8 Procedimientos de Almacenamiento.
- www.udec.cl/sqrt/cursos/residuos/indiceres.html, Capitulo IX, Efectos en la salud y el ambiente de los residuos peligrosos y productos tóxicos.
- Documentos recibidos de la empresa MERCK.
- www.ccbb.ulpgc.es/residuos/

APÉNDICE III

“Legislación relativa a residuos peligrosos”

Para poder abordar cualquier problema de residuos químicos con cierta propiedad, es absolutamente necesario recurrir e interiorizarse en la legislación vigente relativa al tema. Es por ello que en este apéndice se presenta una breve revisión de las normas citadas durante el presente trabajo:

1-Para los efectos del D.S N°594 se entenderá por residuos peligrosos los señalados a continuación:

Lista de residuos peligrosos D.S N°594

Antimonio, compuestos de antimonio
Arsénico, compuestos de arsénico
Asbesto (polvo y fibras)
Berilio, compuestos de berilio
Bifenilos polibromados
Bifenilos policlorados
Cadmio, compuestos de cadmio
Cianuros inorgánicos
Cianuros orgánicos
Compuestos de cobre
Compuestos de cromo hexavalente
Compuestos de zinc
Compuestos inorgánicos de flúor, con exclusión del fluoruro cálcico
Compuestos orgánicos de fósforo Dibenzoparadioxinas policloradas
Dibenzofuranos policlorados
Desechos clínicos
Eteres
Fenoles, compuestos fenólicos, con inclusión de Clorofenoles
Medicamentos y productos farmacéuticos
Mercurio, compuestos de mercurio
Metales carbonilos
Nitratos y nitritos
Plomo, compuestos de plomo
Productos químicos para el tratamiento de la madera
Selenio, compuestos de selenio
Soluciones ácidas o ácidos en forma sólida
Soluciones básicas o bases en forma sólida
Solventes orgánicos
Sustancias corrosivas
Sustancias explosivas
Sustancias infecciosas
Sustancias inflamables
Talio, compuestos de talio
Telurio, compuestos de telurio

2- Normativa relacionada a las descargas de contaminantes a los sistemas de alcantarillado

En éste ámbito rige la Norma D. S. N° 609/08/98 “Norma de Emisión para las regulaciones de contaminantes asociados a las descargas de residuos industriales líquidos a sistemas de alcantarillado”.

Esta norma de emisión establece la cantidad máxima de contaminante permitida para los residuos industriales líquidos, descargados por los establecimientos industriales en los servicios públicos de recolección de aguas servidas de tipo separado o unitario. Esta norma de emisión se aplica en todo el territorio nacional y hace las siguientes indicaciones:

- Los residuos industriales líquidos no podrán contener sustancias radiactivas, corrosivas, venenosas, infecciosas, explosivas o inflamables, sean estas sólidas, líquidas, gases o vapores, y otras de carácter peligroso en conformidad a la legislación y reglamentación vigente.
- Con el propósito de lograr una efectiva reducción de los contaminantes provenientes de los establecimientos industriales, no se debe usar como procedimiento de tratamiento la dilución de los residuos industriales líquidos con aguas ajenas al proceso industrial, incorporadas sólo con el fin de reducir las concentraciones. Para estos efectos, no se consideran aguas ajenas al proceso industrial las aguas servidas provenientes del establecimiento industrial.
- El volumen de descarga diario no debe afectar a la normal operación del servicio público de recolección y tratamiento de aguas servidas. Su valor máximo respecto al promedio mensual será establecido por el prestador de servicios sanitarios.

3- Normativa relacionada a la descarga de contaminantes a las aguas superficiales

D.S. N° 90 de 2000: “Norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales”

Establece la norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales y tiene como objetivo de protección ambiental prevenir la contaminación de las aguas marinas y continentales superficiales de la República, mediante el control de contaminantes asociados a los residuos líquidos que se descargan a estos cuerpos receptores. Con lo anterior, se logra mejorar sustancialmente la calidad ambiental de las aguas, de manera que éstas mantengan o alcancen la condición de ambientes libres de contaminación, de conformidad con la Constitución y las Leyes de la República.

4-Normativa relacionada a las descargas de contaminantes a las aguas subterráneas

El D.S N° 46/Of 03 “Norma de Emisión de residuos líquidos a aguas subterráneas”. Determina las concentraciones máximas de contaminantes permitidas en los residuos líquidos que son descargados por la fuente emisora, a través del suelo, a las zonas saturadas de los acuíferos, mediante obras destinadas a infiltrarlo y tiene como objeto de protección prevenir la contaminación de las aguas subterráneas, mediante el control de la disposición de los residuos líquidos que se infiltran a través del subsuelo al acuífero. Con lo anterior, se contribuye a mantener la calidad ambiental de las aguas subterráneas

Esta norma, se aplicará en todo el territorio nacional con excepción a las labores de riego, a los depósitos de relaves y a la inyección de las aguas de formación a los pozos de producción en los yacimientos de hidrocarburos.

En resumen, las normas técnicas que se deben tener en consideración durante el ciclo de vida de un residuo químico peligroso, en especial en términos de seguridad son:

N.Ch. 382 Of. 89, sobre sustancias peligrosas - terminología y clasificación general; DS. N° 193, del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, D. Oficial de 29/11/89.

N.Ch. 2.120 Of. 89, partes 1 a 9, sobre clasificación de sustancias peligrosas; DS. N° 171, de 1989, Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones, D. Oficial de 07/11/89.

N.Ch. 2.190 Of. 93, sobre marcas para información de riesgos; DS. N° 90, de 1993, Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, D. Oficial 09/06/93.

N. Ch. 389 Of. 74, sobre almacenamiento de sólidos y líquidos; DS. N° 1.164, de 1974, Ministerio de Obras Públicas, D. Oficial de 12/12/74.

N. Ch. 383, Of. 55, sobre almacenamientos de explosivos; DS N° 954, de 1955, Ministerio de Economía, D. Oficial de 17/09/55.

N. Ch 387, Of. 55, sobre Empleo y Manejo de materiales inflamables; DS N° 1.314, de 1955, Ministerio de Economía, D. Oficial de 19/12/55.

APÉNDICE IV

“Hoja de datos de seguridad de materiales (MSDS Material Safety Data Sheet)”

Dado el riesgo que presentan muchos de los reactivos químicos empleados en laboratorios, se necesita de documentos que contengan detalladamente las propiedades de estos reactivos, su peligrosidad, medidas de primeros auxilios en caso de contacto indebido con éste, medidas a determinar en caso de incendio y derrames, control de exposición y protección personal, propiedades del compuesto como lo son estabilidad, reactividad y toxicología entre otras. Estos documentos se denominan Hojas de seguridad y generalmente son entregadas por los mismos proveedores de los reactivos.

Las hojas de dato de seguridad o MSDS se encuentran disponibles en Internet en paginas web de diversas universidades, generalmente en formato ingles. Algunas de las direcciones son : como www.udc.cornell.edu./ISSERCH/MSDSsrch.htm de la Universidad de Cornell ; <http://www.phys.ksu.edu/area/jrm/Safety/msds.html> Universidad de Kentucky ; o simplemente dirigirse al servidor y pedir información sobre MSDS.

APÉNDICE V
“Técnicas de tratamiento de residuos de laboratorio”

GRUPO QUÍMICO	EJEMPLOS	MÉTODO DE ELIMINACIÓN
ACIDOS INORGÁNICOS	Ac. Nítrico 70%, Ac. Sulfúrico 95-98%, Ac. Clorhídrico 37%, Ac. Fosfórico 85%,	<ul style="list-style-type: none"> • Diluir con Agua aproximadamente en una proporción 1:5 y después neutralizar hasta pH 6-8, adicionando una solución de Hidróxido de sodio al 30% o escamas del mismo producto. La solución salina resultante, se diluye luego con más agua en una proporción 1:10 u otra que sea necesaria y posteriormente se elimina en las Aguas residuales o por el desagüe. • En particular, los ácidos de bajo riesgo, se pueden diluir en Agua en una proporción mínima de 1:20 u otra que sea necesaria, para luego eliminar en las aguas residuales o por el desagüe.
ACIDOS ORGÁNICOS Y HALOGENUROS DEL ACIDO	Ac. Tricloroacético, Ac. Acético glacial, Ac. Ascórbico, Ac. Maleico	<ul style="list-style-type: none"> • Diluir con Agua aproximadamente en una proporción 1:5 y después neutralizar hasta pH 6-8, adicionando una solución de Hidróxido de sodio al 30% o escamas del mismo producto. La solución salina resultante, se diluye luego con más agua en una proporción 1:10 u otra que sea necesaria y posteriormente se elimina en las Aguas residuales o por el desagüe. • Otra posibilidad para ácidos líquidos, es evaporarlos en pequeñas cantidades bajo campanas de laboratorio o tratarlos en una planta incineradora autorizada. • En particular, los ácidos de bajo riesgo, se pueden diluir en Agua en una proporción mínima de 1:20 u otra que sea necesaria, para luego eliminar en las aguas residuales o por el desagüe.
ACIDOS INORGÁNICOS Y ORGANICOS Soluciones	Ac. Nítrico 0.1N, 1 N, 2N, Ac. Perclórico 0.1N, Ac. Sulfúrico 0.002N, 0.01N, 0.05N, 0.1N, 0.5N, 1N, Ac. Acético 0.1N.	<ul style="list-style-type: none"> • Diluir con Agua y después neutralizar hasta pH 6-8, adicionando Hidróxido de sodio diluido. La solución salina resultante, se diluye si es necesario con más agua y luego se elimina en las Aguas residuales o por el desagüe. • En particular, los compuestos de bajo riesgo, se pueden diluir en Agua en una proporción mínima de 1:20 u otra que sea necesaria, para luego eliminar en las aguas residuales o por el desagüe.
ALDEHÍDOS	Acetaldehído, Benzaldehído	<ul style="list-style-type: none"> • Mezclar con precaución y en pequeñas dosis con Sulfito de Sodio sólido, después de lo cual y agitando simultáneamente se añade un poco de agua. En caso necesario, la reacción se acelera agregando con cuidado ácido sulfúrico diluido. La solución resultante se neutraliza, diluye con agua y se elimina en las aguas residuales o por el desagüe. • También, se pueden evaporar en pequeñas cantidades y con precaución bajo campanas de laboratorio o tratar en una planta incineradora autorizada.
ALCOHOLES	Alcohol Etilico, Alcohol Propílico, Alcohol n-Butílico	<ul style="list-style-type: none"> • Ver la posibilidad de recuperar el Alcohol por medio del proceso de destilación o otra alternativa segura. • También se pueden evaporar en pequeñas cantidades y con precaución bajo campana de laboratorio o tratar en una planta incineradora autorizada. • En caso de ser autorizado, disolver en agua en una proporción de 1:20 u otra que sea necesaria y luego eliminar en las aguas residuales o por desagüe. Evitar concentraciones inflamables por riesgo de incendio.
AMINAS	Acetanilina, Anilina, Difenilamina, piridina	<ul style="list-style-type: none"> • Diluir con agua en una proporción 1:5 y luego neutralizar con ácido sulfúrico diluido hasta pH 6-8. La solución resultante, se disuelve en agua y se elimina en las aguas residuales o por el desagüe. • Ver la posibilidad de recuperar la amina por medio del proceso de destilación u otra alternativa segura.

		<ul style="list-style-type: none"> • También se pueden evaporar en pequeñas cantidades y con precaución bajo campanas de laboratorio o tratar en una planta incineradora autorizada.
ARSENICO Compuestos	Arsénico III óxido	<ul style="list-style-type: none"> • Estos productos pueden transformarse en sales insolubles, por ejemplo disolviendo en ácido clorhídrico. Luego la solución resultante se diluye y satura con ácido sulfúrico en una campana de laboratorio. El precipitado de sulfuro formado, se lava y desecha en un vertedero especial autorizado para contener sustancias tóxicas. • Aquellos compuestos de alta toxicidad, complicados de tratar, deben transportarse a un vertedero autorizado para contener desechos tóxicos.
BASES ORGÁNICAS E INORGÁNICAS Compuestos y Soluciones	Aluminio hidróxido, Amoniaco, Calcio óxido, Litio hidróxido, Sodio hidróxido	<ul style="list-style-type: none"> • Diluir con agua en una proporción aproximada de 1:5 u otra que sea necesaria y luego neutralizar con ácido sulfúrico diluido hasta pH 6-8. La solución salina resultante, se disuelve con más agua si procede y se elimina en las aguas residuales o por el desagüe.
CETONAS	Acetona	<ul style="list-style-type: none"> • Ver la posibilidad de recuperar la Cetona por medio del proceso de destilación u otra alternativa segura. • También, se puede evaporar en pequeñas cantidades y con precaución bajo campana de laboratorio o tratar en una planta incineradora autorizada. • En caso de ser autorizado, disolver en agua en una proporción de 1:20 u otra que sea necesaria y luego eliminar en las aguas residuales o por desagüe. Evitar concentraciones inflamables por riesgo de incendio.
CIANUROS	Sodio cianuro	<ul style="list-style-type: none"> • Mezclar bien con soluciones de hidróxido de sodio e hipoclorito de sodio, agitando de vez en cuando. Dejando en contacto 24 horas como mínimo, para después diluir con agua y eliminar en las aguas residuales o por el desagüe. • Los cianuros inorgánicos, se pueden tratar también con una solución de hidróxido de sodio al 32% y cloruro de cal en solución. Después de un prolongado tiempo de reacción de estos productos, la solución resultante se diluye con abundante agua y se vierte en las aguas residuales o por el desagüe.
ESTERES	Cadmio carbonato, Cadmio óxido	<ul style="list-style-type: none"> • Ver la posibilidad de recuperar los Esteres por medio del proceso de destilación u otra alternativa segura. • También se puede evaporar en pequeñas cantidades y con precaución bajo campana de laboratorio o tratar en una planta incineradora autorizada. • En caso de ser autorizado, disolver en agua en una proporción de 1:20 u otra que sea necesaria y luego eliminar en las aguas residuales o por desagüe. Evitar concentraciones inflamables por riesgo de incendio.
ETERES	Eter etílico	<ul style="list-style-type: none"> • Evaporar en pequeñas dosis bajo campana de laboratorio, añadiendo aproximadamente 1% de Hierro II Sulfato 7-hidrato, evitando la formación de mezclas combustibles vapor/aire y manteniéndolos alejados de cualquier fuente iniciadora de incendio o tratar en una planta incineradora autorizada.
FLUORUROS INORGÁNICOS	Amonio fluoruro	<ul style="list-style-type: none"> • - Mezclar con solución de hidróxido de calcio y agitar para favorecer la formación del precipitado de fluoruro de calcio insoluble. El precipitado resultante se lava, seca y desecha en un vertedero autorizado para contenerlo.
FÓSFOROS Y FOSFUROS METÁLICOS		<ul style="list-style-type: none"> • Alternativa: • - Preparar soluciones frías de hipoclorito de calcio e hidróxido de sodio y luego mezclarlas. Posterior a esto y bajo campana de laboratorio en ambiente de nitrógeno, se agrega el producto en pequeñas dosis en la mezcla fría para proceder a la oxidación, agitando continuamente y con precaución por emanaciones de vapores tóxicos. La solución resultante, se diluye en agua y se elimina en las aguas residuales o por el desagüe. En caso de quedar residuos sólidos, se puede tratar en una incineradora

		autorizada.
HALOGENADOS ORGÁNICOS	Carbono tetracloruro, Clorobenceno, Cloroformo, Tricloroetileno	<ul style="list-style-type: none"> • Los compuestos incombustibles deben recuperarse por destilación. • En caso de no poder recuperarse por destilación o ser compuestos inflamables/combustibles, se deben mezclar con carbonato de sodio y/o hidróxido de calcio y luego incinerar bajo campana de laboratorio o tratar en una planta incineradora autorizada.
HALOGENUROS INORGÁNICOS Líquidos	Yodo	<ul style="list-style-type: none"> • - Adicionar con precaución a una mezcla de carbonato de sodio y hidróxido de calcio bajo campana de laboratorio. Una vez finalizada la reacción, se agrega cuidadosamente y agitando abundante agua, después de lo cual se elimina en las aguas residuales o por el desagüe.
MERCURIO Y SUS COMPUESTOS	Mercurio I cloruro, Mercurio II nitrato	<ul style="list-style-type: none"> • El mercurio se trata con hidróxido de calcio, azufre y un poco de agua. Las sales de mercurio se tratan con una solución de cloruro de sodio, en exceso. Los precipitados formados, se lavan y se desechan en un vertedero autorizado especial para contener sustancias tóxicas. • Otra posibilidad: El metal de estos compuestos debe recuperarse o transformarse en productos insolubles en agua, por ejemplo disolviéndolos en un ácido, neutralizando con precaución con hidróxido de amonio y precipitando luego el metal por adición de carbonato de sodio. El precipitado de carbonato formado, se lava y desecha en un vertedero especial autorizado para contener sustancias tóxicas. • Los compuestos orgánicos de mercurio, se pueden oxidar vía húmeda con ácido nítrico y de la solución resultante se precipitan los metales como sulfuros, los cuales posteriormente se disponen en un vertedero especial autorizado para contenerlo. • Cuando son muy peligrosos o difíciles de transformar, deben eliminarse en un vertedero especial autorizado para contener sustancias tóxicas.
METALES ALCALINOS Y ALCALINOS TERREOS	Sodio borohidruro	<ul style="list-style-type: none"> • Cubrir en primer lugar y en seco bajo campana de laboratorio con carbonato de sodio anhidro. Seguidamente, se adiciona lentamente alcohol n-butílico, agitando hasta la disolución completa y evitando fuentes de calor. Dejar en contacto hasta el día siguiente cuando concluya la reacción y luego diluir cuidadosamente con abundante agua en una proporción 1:20 u otra que sea necesaria y eliminar en las aguas residuales o por el desagüe.
METALES Compuestos Bario Cadmio Cobalto Cobre Litio Molibdeno Plata Vanadio	Sodio molibdato, Litio carbonato, Litio cloruro	<ul style="list-style-type: none"> • El metal de estos compuestos debe recuperarse o transformarse en productos insolubles en agua, por ejemplo disolviéndolos en un ácido, neutralizando con precaución con hidróxido de amonio y precipitando luego el metal por adición de carbonato de sodio. El precipitado de carbonato formado, se lava y desecha en un vertedero especial autorizado para contener sustancias tóxicas. • Para recuperar el metal, la sal se diluye en una solución de ácido clorhídrico al 25% y la solución resultante se diluye y neutraliza. En caso necesario, se satura con ácido sulfúrico. El precipitado, lavado y secado, se recupera y se desecha en un vertedero especial autorizado. • Cuando son muy peligrosos o difíciles de transformar, deben eliminarse en un vertedero especial autorizado para contener sustancias tóxicas.
NITRO COMPUESTOS		<ul style="list-style-type: none"> • Ver la posibilidad de separar o recuperar. • Los nitrocompuestos líquidos se evaporan bajo campana de laboratorio tomándose las precauciones del caso o se incineran en un horno de combustión autorizado.

		<ul style="list-style-type: none"> • Los productos sólidos se mezclan bien con arena y luego se procede a incinerar con precaución en pequeñas dosis en una campana de laboratorio. También se puede optar por un horno de combustión autorizado. Si los líquidos se absorben en papeles filtro, se tratan luego como a los sólidos.
OXIDANTES Compuestos	Cromo III óxido, Amino dicromato	<ul style="list-style-type: none"> • Mezclar con precaución y en pequeñas dosis con sulfito de sodio o tiosulfato de sodio sólido, después de lo cual y agitando simultáneamente se añade un poco de agua. En caso necesario, la reacción se acelera agregando con cuidado ácido sulfúrico diluido. La solución resultante se neutraliza, diluye con agua y se elimina en las aguas residuales o por el desagüe.
PLOMO Compuestos	Plomo II cloruro, Plomo II carbonato básico	<ul style="list-style-type: none"> • El metal de estos compuestos debe recuperarse o transformarse en productos insolubles en agua, por ejemplo disolviéndolos en un ácido, neutralizando con precaución con hidróxido de amonio y precipitando luego el metal por adición de carbonato de sodio. El precipitado, lavado y secado, se recupera y se desecha en un vertedero especial autorizado para contener sustancias tóxicas. • Para recuperar el metal, la sal se diluye en una solución de ácido clorhídrico al 25% y la solución resultante se diluye y neutraliza. En caso necesario, se satura con ácido sulfúrico. El precipitado, lavado y secado, se recupera y se desecha en un vertedero especial autorizado. • Los compuestos orgánicos de plomo, se pueden oxidar vía húmeda con ácido nítrico y de la solución resultante se precipitan los metales como sulfuros, los cuales posteriormente se disponen en un vertedero especial autorizado para contenerlo.
PRODUCTOS Riesgo Bajo y Moderado	Calcio carbonato, Calcio hidróxido	<ul style="list-style-type: none"> • Ver la posibilidad de recuperar, en especial para los productos de riesgo moderado. • Diluir o mezclar con agua en una proporción mínima de 1:20 u otra dilución que sea necesaria y eliminar en las aguas residuales o por el desagüe. • Otra posibilidad para productos sólidos, es disponerlos directamente en un vertedero autorizado para contenerlos.
PRODUCTOS ORGÁNICOS Volátiles	Ciclohexanona, Ciclohexano, Metil etil cetona, Hierro III sulfato	<ul style="list-style-type: none"> • Los productos con riesgo de incendio, se deben evaporar en pequeñas dosis bajo campana de laboratorio o incinerar en un horno de combustión autorizado. Evitar la formación de mezclas combustibles de vapor/aire y fuentes iniciadoras de incendio. • Los productos solubles en agua sin compromiso de riesgo de incendio, se pueden diluir con agua en una proporción mínima de 1:20 u otra cantidad que sea necesaria y eliminar en las aguas residuales o por el desagüe. Eliminación a pH 6-8.
SALES	Potasio sulfato, Cobre II sulfato anhidro, Calcio cloruro 2-hid	<ul style="list-style-type: none"> • Para sales ácidas: como soluciones acuosas se mezclan inicialmente con carbonato de sodio o bicarbonato de sodio en polvo, después de lo cual se diluyen con abundante agua y se vierten neutralizadas en las aguas residuales o por el desagüe. • Para sales básicas: se mezclan con sulfato ácido de sodio sólido y se disuelve en agua, eliminando luego en las aguas residuales o por el desagüe en forma de soluciones diluidas neutralizadas (pH 6-8). • En caso de sales de bajo riesgo, se puede diluir o mezclar con agua en una proporción mínima de 1:20 u otra que sea necesaria y eliminar en las aguas residuales o por el desagüe.
SUSTANCIAS INFLAMABLES	Carbono disulfuro, Metil iso butil cetona	<ul style="list-style-type: none"> • Para líquidos: ver la posibilidad de recuperar por medio del proceso de destilación u otra alternativa segura. También, se pueden evaporar en pequeñas cantidades y con precaución bajo campana de laboratorio o tratar en una planta incineradora autorizada. • Para sólidos: Contener adecuadamente, evitar fuentes iniciadoras de incendio y disponer de acuerdo a como disponga la autoridad competente. • Además, cuando exista compromiso de corrosividad, se debe neutralizar antes de evacuar a pH 6-8.
SUSTANCIAS CORROSIVAS	Cerio IV sulfato	<ul style="list-style-type: none"> • Buscar la alternativa correcta de neutralización de la sustancia corrosiva y luego eliminar en un vertedero autorizado.

SUSTANCIAS RADIATIVAS		<ul style="list-style-type: none"> • Separar cuidadosamente de otros residuos y contactarse con la Unidad de Gestión de Residuos Radiactivos.
SUSTANCIAS TÓXICAS CORROSIVAS	Amonio oxalato 1-hid, Anhidro bórico	<ul style="list-style-type: none"> • Estas sustancias, se deben tratar de recuperar por destilación u otro medio seguro o incinerar en una planta autorizada. Los residuos resultantes, deben trasladar a un vertedero especial autorizado para contener sustancias tóxicas. • En caso de mayor peligrosidad, se deben disponer directamente en un vertedero especial autorizado para contener sustancias tóxicas.

Fuente: Manual W & Z Winkler Ltda.