



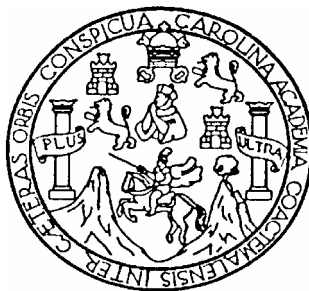
Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

**OPTIMIZACIÓN DEL MANEJO DE RESIDUOS QUÍMICOS DE
LOS LABORATORIOS DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA
QUÍMICA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS**

Francisco Javier Lemus Godoy
Asesorado por Inga. Lisely de León Arana

Guatemala, noviembre de 2003

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**OPTIMIZACIÓN DEL MANEJO DE RESIDUOS QUÍMICOS DE
LOS LABORATORIOS DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA
QUÍMICA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

FRANCISCO JAVIER LEMUS GODOY

ASESORADO POR INGA. LISELY DE LEÓN ARANA

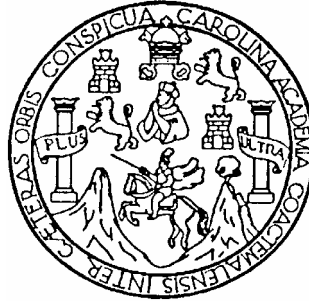
AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2003

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
VOCAL I	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL II	Lic. Amahán Sánchez Álvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. Otto Raúl de León de Paz
EXAMINADOR	Ing. Adolfo Narciso Gramajo Antonio
EXAMINADOR	Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

OPTIMIZACIÓN DEL MANEJO DE RESIDUOS QUÍMICOS DE LOS LABORATORIOS DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química con fecha 29 de octubre de 2002.

Francisco Javier Lemus Godoy

DEDICATORIA:

A DIOS

A MIS PADRES

César Francisco Lemus Archila

Marta Sandra Godoy Helguero

A MIS ABUELOS

José Antonio Godoy

Marta Lilia Helguero

César Augusto Lemus

Ana Jovita Archila

MIS HERMANOS

Celeste Aída Lemus Godoy

Julio César Lemus Godoy

Josué David Lemus Godoy

Juan Israel Lemus Godoy

A TODOS MIS AMIGOS Y CATEDRÁTICOS QUE ME APOYARON

AGRADECIMIENTOS:

A la Inga. Lisely de León Arana por su colaboración incondicional, apoyo y dedicación en la elaboración de este trabajo y durante toda mi carrera.

A mis amigos: Gustavo Recinos, Andrés Castillo, Enrique Juárez, Mario Franco, David Cerezo, Pablo Calderón, Osman Vargas, Jorge Mario Gutiérrez, Luis López, Lenin Velásquez, Patricia Fuentes, Genaro de Paz, Enrique Guevara, Mischael Hernández, Walter Kirste, Daniel Barrios, Guillermo Suárez, Jorge Luis Lee, Fernando Escobio, Guillermo López, Diego Maldonado, Alejandra Lemus, Andrés Castellanos, Oziel Herrera, Juan Carlos Archila, Obed Hidalgo, Mónica Bratti, Karina Méndez, Pamela Marroquín, Helen Sliwinsky, María Isabel Escobedo, Rodrigo Sacahuí, Alexander Pivaral, Xavier Beteta, Marisol Zea, Marlen Villafuerte, Mario Mérida. Por su amistad, colaboración y apoyo durante los buenos y malos momentos de mi vida.

Al Ing. Flavio Mazuera por su apoyo durante la elaboración de mi trabajo de graduación.

A Isidro Carrillo por su apoyo y colaboración incondicional para terminar este documento.

A mis catedráticos: Ing. César García, Ing. Otto Raúl de León, Ing. Julio Rivera, Inga. Hilda Palma, Ing. Eduardo Calderón. Por su calidad como catedráticos y por brindarme todos sus conocimientos para llegar a ser un profesional.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
GLOSARIO	VII
RESUMEN	XI
OBJETIVOS	XIII
INTRODUCCIÓN	XV
1. MARCO TEÓRICO	1
1.1 Definición de residuos peligrosos	1
1.2 Clasificación de los residuos químicos de laboratorio	1
1.3 Criterios para saber si los residuos químicos son peligrosos	5
1.3.1 Inflamabilidad	5
1.3.2 Corrosividad	6
1.3.3 Reactividad	6
1.3.4 Toxicidad	10
1.3.5 Efectos cancerígenos	11
1.3.6 Persistencia medioambiental	13
2. RECOLECCIÓN Y ALMACENAJE DE RESIDUOS QUÍMICOS	15
2.1 Tipos de contenedores para almacenar residuos químicos	15
2.2 Etiquetado e identificación de los envases	18
2.3 Características del almacén de contenedores de residuos químicos	20
2.3.1 Características de espacio	20
2.3.2 Características de la construcción	21
2.3.3 Características de las instalaciones	21
2.4 Responsabilidad de los encargados del laboratorio	22

4.1.4.1	Solventes orgánicos con halógeno	37
4.1.4.2	Solventes orgánicos sin halógeno	38
4.1.4.3	Sólidos orgánicos	38
4.1.4.4	Soluciones acuosas de sales inorgánicas y orgánicas no pesadas	38
4.1.4.5	Soluciones acuosas de sales inorgánicas y orgánicas pesadas	39
4.1.4.6	Metales, compuestos inorgánicos sólidos y sales insolubles en agua	39
4.1.4.7	Ácidos orgánicos e inorgánicos solubles en agua	40
4.1.4.8	Bases orgánicas e inorgánicas solubles en agua	40
4.1.4.9	Halógenos	40
4.1.4.10	Metales alcalinos y alcalinotérreos	41
4.1.5	Evaluación de los métodos para cada tipo de residuos	40
4.1.6	Determinación del mejor método para cada grupo de residuos de laboratorio	42
5.	RESULTADOS	45
5.1	Cuantificación de los residuos químicos de los laboratorios de la Escuela de Ingeniería Química	45
5.2	Peligrosidad de los residuos químicos de la Escuela de Ingeniería Química	52
5.3	Evaluación de los métodos aplicados a cada tipo de residuos químicos	54
5.4	Métodos de eliminación de residuos químicos a implantarse en la Escuela de Ingeniería Química	56
6.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	57

7. MÉTODOS DE TRATAMIENTO Y ELIMINACIÓN DE LOS RESIDUOS QUÍMICOS A IMPLANTAR EN LA ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA	61
7.1 Métodos de tratamiento y eliminación para cada tipo de residuo químico	62
7.1.1 Solventes orgánicos con halógeno	62
7.1.2 Solventes orgánicos sin halógeno	63
7.1.3 Sólidos orgánicos	64
7.1.4 Soluciones acuosas de sales inorgánicas y orgánicas no pesadas	65
7.1.5 Soluciones acuosas de sales inorgánicas y orgánicas pesadas	66
7.1.6 Metales, compuestos inorgánicos sólidos y sales insolubles en agua	67
7.1.7 Ácidos orgánicos e inorgánicos solubles en agua	68
7.1.8 Bases orgánicas e inorgánicas solubles en agua	69
7.1.9 Halógenos	70
7.1.10 Metales alcalinos y alcalinotérreos	71
7.2 Tratamiento de residuos químicos especiales	72
7.2.1 Éteres	73
7.2.2 Cianuros y mercaptanos	73
7.2.3 Aldehídos, peróxidos y algunos oxidantes fuertes	74
7.2.4 Mercurio y compuestos de mercurio	75
7.2.5 Nitrocompuestos	76
CONCLUSIONES	79
RECOMENDACIONES	81
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	83
BIBLIOGRAFÍA	87
APÉNDICES	89
ANEXOS	97

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Diagrama de flujo del procedimiento empleado	35
2	Hoja de control de residuos de laboratorio	89
3	Ficha de evaluación de métodos de eliminación de residuos químicos	90
4	Vista frontal del horno incinerador de residuos de compuestos orgánicos	94
5	Vista isométrica del horno incinerador de residuos de compuestos orgánicos	95
6	Detalle del interior del horno incinerador de residuos de compuestos orgánicos	96
7	Pictogramas de peligrosidad	97

TABLAS

I	Sustancias incompatibles de elevada afinidad	9
II	Reacciones peligrosas de los ácidos	9
III	Categorías tóxicas	10
IV	Límites de tolerancia de algunos metales	11
V	Ejemplos de efectos cancerígenos y no cancerígenos de algunas sustancias	12
VI	Concentraciones mínimas de residuos persistentes	13
VII	Sustitutos de productos químicos	14
VIII	Colores propuestos para etiquetas que identifican contenedores de residuos químicos	19

IX	Distribución de residuos que fueron evaluados por cada grupo de estudiantes de los laboratorios de fisicoquímica	42
X	Cuantificación de residuos de solventes orgánicos con halógeno	45
XI	Cuantificación de residuos de solventes orgánicos sin halógeno	46
XII	Cuantificación de residuos de sólidos orgánicos	47
XIII	Cuantificación de residuos de sales orgánicas e inorgánicas no pesadas	48
XIV	Cuantificación de residuos de sales orgánicas e inorgánicas pesadas	49
XV	Cuantificación de residuos de metales, compuestos inorgánicos y sales insolubles en agua	50
XVI	Cuantificación de residuos de ácidos orgánicos e inorgánicos	50
XVII	Cuantificación de residuos de bases orgánicas e inorgánicas	51
XVIII	Cuantificación de residuos de halógenos	51
XIX	Cuantificación de residuos de metales alcalinos y alcalinotérreos	51
XX	Resumen de cantidades de residuos químicos desechados en la Escuela de Ingeniería Química	52
XXI	Grados de peligrosidad de los diferentes grupos de residuos químicos	53
XXII	Nomenclatura de grados de peligrosidad	53
XXIII	Evaluación de los distintos métodos de eliminación de residuos químicos en los laboratorios de la Escuela de Ingeniería Química	54
XXIV	Métodos de eliminación de residuos químicos a implantarse en los laboratorios de la Escuela de Ingeniería Química	56
XXV	Cotización de materiales y cristalería para métodos de eliminación	91
XXVI	Cotización de reactivos químicos para llevar a cabo los métodos de eliminación	92
XXVII	Cotización de materiales y construcción del horno incinerador	93

GLOSARIO

Almacenamiento	Es el depósito temporal de residuos tóxicos y peligrosos que no suponga ninguna forma de eliminación o aprovechamiento de los mismos.
<i>Beacker</i>	Recipiente cilíndrico volumétrico utilizado para medir volúmenes de líquidos. Tiene una escala dada en mililitros.
Corrosividad	Una de las características de residuo peligroso, se refiere al pH de un ácido o base o su habilidad para corroer acero.
Disposición	Descarga, depósito, o posición de un residuo en el medio ambiente, usualmente por incineración o entierro en confinamiento.
Eliminación	Todo procedimiento que como el vertido controlado, la incineración sin recuperación de energía, la inyección en el subsuelo y el vertido al mar, no implique aprovechamiento alguno de los recursos.
Igniciabilidad	Una de las características de un residuo peligroso, se refiere a la habilidad de un residuo para quemarse.
Neutralización	Método de tratamiento químico para residuos peligrosos corrosivos por la adición de un ácido o base para hacer neutral al residuo.

Precipitación	Método de tratamiento químico de residuos peligrosos en donde una sustancia es separada desde la solución, o suspendida por un cambio químico o físico.
Reciclaje	Término general para la reutilización de residuos, incluye la recuperación.
Residuos químicos	Son aquellos materiales sólidos, pastosos, líquidos, y gaseosos, contenidos en recipientes, que son el resultado de un proceso de producción, transformación, utilización o consumo de compuestos, complejos y elementos químicos.
Residuo sólido	Un residuo químico no peligroso. Un residuo sólido puede ser un líquido, gas o sólido.
Recuperación	Todo proceso industrial cuyo objeto sea el aprovechamiento de los recursos contenidos en los residuos peligrosos, ya sea en forma de materias primas o energía.
Reciclado	Empleo de un material recuperado en otro ciclo de producción distinto al que le dio origen, o como bien de consumo.
Reutilización	Introducción de un material recuperado en el ciclo de producción en que ha sido generado.

Toxicidad

Es el daño directo que se produce en humanos, animales, plantas o microorganismos, como resultado de la acción de una sustancia química. Este efecto adverso puede tomar formas variadas como enfermedad, deformidad, modificaciones de comportamiento, cambios en la reproducción, daño genético o muerte.

RESUMEN

Para llevar a cabo la optimización de los residuos químicos, primero se hizo una clasificación y cuantificación de todos los reactivos que se desechan en cada uno de los laboratorios de la Escuela de Ingeniería Química. Para clasificarlos previo a su eliminación, se hicieron grupos de acuerdo a sus propiedades químicas como lo son acidez, basicidad, reactividad e inflamabilidad; y a sus propiedades físicas, como lo son el estado físico (sólido, líquido o gas), solubilidad y volatilidad.. Al mismo tiempo se recolectaron los residuos de los laboratorios según la naturaleza de los mismos y en los recipientes adecuados.

A los residuos recolectados se les aplicaron 22 métodos de eliminación, de 2 a 3 métodos por grupo de residuo químico, para determinar qué método era el más eficiente. Los métodos se ensayaron cuatro veces cada uno, utilizando 100 g de residuo correspondiente en cada corrida. En cada ensayo se midió el tiempo de eliminación de residuo, el costo de eliminar 100 g de residuo y se observó la eficiencia de cada método, es decir, la conversión de dichos residuos en sustancias que pueden ser desechadas en el drenaje, basura o al medio ambiente sin peligro alguno. Con la recolección y promedios de estos datos se definió cuál era el más adecuado para cada grupo de desecho químico determinado. Ya establecidos y revisados los métodos a utilizar para desechar cada tipo de desecho, se estandarizó el método más adecuado para su eliminación, al igual que los recipientes que contendrán los desechos y cada cuanto tiempo serán tratados los residuos recolectados en cada uno de los laboratorios de la Escuela.

Además de los métodos de tratamiento de residuos químicos se presentan normas de almacenaje, instalaciones y condiciones del laboratorio para efectuar los tratamientos basados en reglamentos internacionales que tratan sobre este tema, tales como: ISO 17025, CONAMA, OMS, REALES DECRETOS, ITC, OSHA/NIOSH y la Oficina de Gestión de Residuos de la U.L.P.G.C. de la Universidad de Concepción de Chile.

OBJETIVOS

Generales

1. Establecer y aplicar una metodología para dar tratamiento y eliminación adecuada de los residuos químicos de los laboratorios de la Escuela de Ingeniería Química.

Específicos

1. Establecer en los laboratorios de la Escuela de Ingeniería Química la forma y los recipientes adecuados para recolectar los residuos químicos según su naturaleza, y definir cada cuánto tiempo se les debe dar tratamiento.
2. Contribuir con la educación ambiental y de seguridad de los futuros ingenieros químicos mediante la aplicación de los métodos de eliminación de residuos químicos por los auxiliares y estudiantes de los respectivos laboratorios.

INTRODUCCIÓN

En los laboratorios de la Escuela de Ingeniería Química se desecha una cantidad considerable y diversa de residuos químicos, debido a que, las actividades que allí se llevan a cabo son demostrativas y de tipo docente, por lo que todo lo que se usa se desecha. En dichos laboratorios la mayoría de los residuos van a los desagües, y otros, como los compuestos orgánicos, son enterrados, mezclados previamente con arena. La forma actual de desecharlos trae algunos problemas pues cuando se desechan en las tuberías éstas se pueden dañar, debido a la corrosión de los ácidos u otros compuestos, y a explosiones que se puedan causar por las reacciones violentas de algunos compuestos con el agua. Cuando se entierran los compuestos mezclados previamente con arena, se corre el peligro de contaminar aguas subterráneas durante las lluvias, también evita el crecimiento de vegetación en esa parte, además se sabe que algunos microorganismos son capaces de metabolizar algunos compuestos químicos lo que significa que pueden reproducirse con más facilidad, y en muchos casos estos microorganismos pueden resultar peligrosos para el ser humano.

Por tal razón, se llevó a cabo una optimización de la eliminación de los residuos, se utilizaron métodos de eliminación de acuerdo a su clasificación química, de modo que se conviertan en sustancias que no dañen las tuberías, o se eliminen con otros métodos que no afecten el medio ambiente, y métodos con los que se pueda recuperar reactivos valiosos, cuando se pueda.

Con este trabajo se pretende que el tratamiento y eliminación adecuada de los residuos sea una norma de los laboratorios de la Escuela de Ingeniería Química. Llevándose a cabo por los auxiliares y/o estudiantes de los respectivos laboratorios. Con esto se evitarán problemas ambientales y problemas en los drenajes.

El manejo adecuado de los residuos químicos de los laboratorios, como se propone en este trabajo, evitará problemas ambientales, de salud y de infraestructura en los laboratorios. Además, contribuirá al desarrollo de la educación ambiental de los estudiantes de Ingeniería Química.

1. MARCO TEÓRICO

1.1 Definición de residuos químicos peligrosos

Son sustancias o productos químicos con características tóxicas, corrosivas, inflamables, explosivas, reactivas, o mutagénicas, tales como: químicos en general, productos sólidos, productos químicos no utilizados, plaguicidas fuera de especificación, solventes, ácidos, mercurio de termómetro, soluciones para revelado de radiografías, baterías usadas, aceites, lubricantes usados, etc. (1)

1.2 Clasificación de los residuos químicos de laboratorio

Para clasificar los residuos químicos del laboratorio, para su eliminación, deben hacerse grupos de acuerdo a sus propiedades químicas como lo son la acidez, basicidad, reactividad e inflamabilidad; y a sus propiedades físicas, como lo son el estado físico (sólido, líquido o gas), solubilidad y volatilidad. (2)

El criterio para hacer estos grupos radica en reunir químicos con propiedades químicas y físicas similares. Bajo este criterio se agruparon los diferentes químicos en las siguientes categorías:

Grupo A: solventes orgánicos con halógeno

Grupo B: solventes orgánicos sin halógeno

Grupo C: sólidos orgánicos

Grupo D: soluciones de sales inorgánicas y orgánicas no pesadas

Grupo E: soluciones de sales inorgánicas y orgánicas pesadas.

Grupo F: metales, compuestos inorgánicos sólidos y sales insolubles en agua

Grupo G: ácidos orgánicos e inorgánicos solubles en agua.

Grupo H: bases orgánicas e inorgánicas solubles en agua.

Grupo I: halógenos

Grupo J: metales alcalinos y alcalinotérreos.

- Grupo A: solventes orgánicos con halógeno

A este grupo pertenecen los productos líquidos orgánicos que tengan un grupo funcional halógeno, tal como flúor, cloro, bromo o yodo; o mezclas de compuestos orgánicos con un contenido superior al 2% de algún halógeno. Estos productos son muy tóxicos, irritantes y en muchos casos cancerígenos. Dentro de este grupo, también se incluyen las mezclas de disolventes halogenados y no halogenados, siempre que el contenido en halógenos de la mezcla sea superior al 2 %. (3)

Algunos ejemplos representativos son los siguientes: diclorometano (cloruro de metilo), triclorometano (cloroformo), tetracloruro de carbono, tetracloroetilo, bromoformo.

- Grupo B: solventes orgánicos no halogenados

A este grupo pertenecen los líquidos orgánicos inflamables que no contienen el grupo funcional halógeno (flúor, cloro, yodo y bromo) o mezclas de compuestos orgánicos con un contenido inferior al 2% de algún halógeno. Estos productos son inflamables y tóxicos (4). Algunos ejemplos representativos son los siguientes.

- Alcoholes: metanol, etanol, isopropanol.
- Aldehídos: formaldehído, acetaldehído.
- Amidas: dimetilformamida.
- Aminas: dimetilamina, anilina, piridina.

- Cetonas: acetona, ciclohexanona.
- Esteres: acetato de etilo, formiato de etilo.
- Glicoles: etilenglicol, monoetilenglicol.
- Hidrocarburos alifáticos: pentano, hexano, ciclohexano.
- Hidrocarburos aromáticos: benceno, xileno y tolueno.
- Nitrilos: acetonitrilo.

Es importante en este grupo evitar mezclas de disolventes que sean inmiscibles ya que, en caso contrario, se producirían fases diferentes que dificultarían su tratamiento posterior. A este grupo pertenecen los ácidos orgánicos insolubles en agua.

- Grupo C: sólidos orgánicos

A este grupo pertenecen todos los compuestos orgánicos en estado sólido a la temperatura ambiente del laboratorio (20°C a 30°C) , ya sea que tengan grupos halógenos o que no los tengan. Algunos ejemplos son: naftaleno, aminas, fenol, nitrocelulosa, etc. A este grupo pertenecen también las sales y ácidos orgánicos sólidos insolubles en agua, tal como el ácido benzoico, tartárico, etc.

- Grupo D: soluciones acuosas de sales orgánicas e inorgánicas no pesadas

A este grupo pertenecen las disoluciones acuosas de productos orgánicos e inorgánicos de metales no pesados, tal como sodio, potasio, etc. Al ser este un grupo muy amplio, es necesario realizar una serie de divisiones y subdivisiones, tal y como se indica a continuación. Estas subdivisiones son necesarias ya sea para evitar reacciones de incompatibilidad, o por requerimiento de su tratamiento posterior.

- Soluciones acuosas inorgánicas de sodio y potasio: sulfatos, fosfatos, cloruros, reveladores.

- Disoluciones acuosas de colorantes: naranja de metilo, fenolftaleína.
- Disoluciones de fijadores orgánicos: glutaraldehído.
- Mezclas de agua / disolvente, eluyentes de cromatografía.

- Grupo E: soluciones acuosas de sales orgánicas e inorgánicas pesadas

A este grupo pertenecen las disoluciones acuosas de sales orgánicas e inorgánicas de metales pesados, tal como plomo, hierro, calcio, magnesio, plata, cromo, zinc etc. Algunos ejemplos son: Sulfato de hierro, cloruro de zinc, acetato de plomo etc.

- Grupo F: metales, compuestos inorgánicos sólidos y sales insolubles en agua

A este grupo pertenecen todos aquellos residuos de metales sólidos, y sales insolubles en agua en estado sólido. Algunos ejemplos de metales son: zinc, hierro, cobre, mercurio, estaño etc.; y de sales insolubles son: carbonato de calcio o magnesio, nitrato de potasio, etc.

- Grupo G: ácidos orgánicos e inorgánicos solubles en agua

Corresponden a este grupo los ácidos (Grupo funcional H^+) orgánicos e inorgánicos y sus soluciones acuosas concentradas o diluidas. Algunos ejemplos son: Ácido clorhídrico, ácido sulfúrico, ácido nítrico, ácido acético etc.

- Grupo H: bases orgánicas e inorgánicas solubles en agua

Corresponden a este grupo las bases (grupo funcional OH^-) orgánicas e inorgánicas y sus soluciones acuosas concentradas o diluidas. Algunos ejemplos son: hidróxido de sodio, hidróxido de potasio, hidróxido de amonio, etóxido de sodio, aminas etc.

- Grupo I: halógenos

Son todas aquellas soluciones de halógenos utilizadas en el laboratorio, tales como soluciones de cloro, yodo y bromo. También incluye el yodo en forma sólida.

- Grupo J: metales alcalinos y alcalinotérreos

A este grupo pertenecen los metales en forma pura de las columnas IA y IIA de la tabla periódica de los elementos, que reaccionan violentamente con el agua. Entre ellos se puede mencionar el sodio, potasio, calcio y litio.

1.3 Criterios para saber si los residuos químicos son residuos peligrosos o no peligrosos

Las regulaciones requieren que una persona que ha generado un residuo químico clasifique el residuo como residuo químico no peligroso o como residuo químico peligroso. La información en esta sección ayudará al generador de residuos químicos en determinar si un residuo es o no peligroso. Se considerará si un residuo es peligroso si presenta cualquiera de las siguientes características. (5)

1.3.1 Inflamabilidad

Un residuo químico exhibe la característica de inflamabilidad si el residuo posee cualquiera de las siguientes propiedades.

- a. Un líquido cuyo punto de flash (punto de ebullición) sea menor que 60 °C.

- b. No es líquido y es capaz, bajo temperaturas y presión estándar, de causar fuego bajo la acción de fricción, absorción de humedad o debido a cambios químicos espontáneos y, cuando igniciona, se quema tan vigorosamente y persistentemente que crea un peligro.
- c. Un sólido, líquido o gas que elimine o libere oxígeno, ya sea a temperatura ambiente o bajo pequeños calentamientos. Esto incluye peróxidos, cloratos, percloratos, nitratos y permanganatos.

1.3.1 Corrosividad

Un residuo químico exhibe la característica de corrosividad si el residuo posee cualquiera de las siguientes propiedades.

- a. Una solución acuosa que posee un pH menor o igual a 2, o mayor o igual que 12.5 es considerado corrosivo.
- b. Sólidos que, cuando son mezclados con una parte igual de agua, forman soluciones con un pH como es descrito en el inciso anterior

1.3.2 Reactividad

Un residuo químico exhibe la característica de reactividad si el residuo posee cualquiera de las siguientes propiedades.

- a. Normalmente es inestable y fácilmente realiza un cambio violento sin detonación.
- b. Cuando se mezcla con agua, reacciona violentamente, forma mezclas potencialmente explosivas, o genera gases tóxicos en cantidades suficientes como para presentar un peligro a la salud humana.

- c. Contiene cianuros o sulfuros que, cuando son expuestos a condiciones de pH entre 2.0 y 12.5, pueden generar gases tóxicos en cantidades suficientes como para presentar un peligro a la salud humana.

Existe reactividad cuando los compuestos son incompatibles. Las 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, peróxido de fósforo y reactivos de Grignard

Compuestos que reaccionan fuertemente con el agua

Ácidos fuertes anhidros

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 inorgánicos

Fosfuros

Siliciuros

Calcio

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

Alquilmetales y metaloides

Arsinas

Boranos

Hidruros

Metales carbonilados

Metales finamente divididos

Nitruros alcalinos

Fosfinas

Fósforo blanco

Fosfuros

Silenos

Siliciuros

Tabla I. Sustancias incompatibles de elevada afinidad

Oxidantes con:	nitratos, halogenatos, óxidos, peróxidos, flúor
Reductores con:	materias inflamables, carburos, nitruros, hidruros, sulfuros, alquimetales, aluminio, magnesio y circonio en polvo.
Ácidos fuertes con:	bases fuertes
Ácido sulfúrico con:	azúcar, celulosa, ácido perclórico, permanganato potásico, cloratos, sulfocianuros.

Tabla II. 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
	Ioduro de hidrógeno	Sulfuro de hidrógeno
	Algunos metales	Dióxido de azufre
	Ácido nítrico	Algunos metales
Ácido clorhídrico	Sulfuros	Sulfuro de hidrógeno
	Hipocloritos	Cloro
	Cianuros	Cianuro de hidrógeno

1.3.3 Toxicidad

En la tabla III se muestran las categorías X, A, B, C o D para niveles de toxicidad particulares. La categoría X es la más tóxica y la categoría D es la menos tóxica. Las sustancias bajo la categoría D son consideradas no tóxicas.

Tabla III. Categorías tóxicas en dosis letales (LD₅₀)

Categoría	Dosis letal oral en una rata LD ₅₀ (mg/l)	Dosis letal por inhalación en un rata LD ₅₀ (mg/l)	Dosis letal dérmica en un conejo LD ₅₀ (mg/l)
X	< 0.5	< 0.02	< 2.0
A	0.5 – 5	0.02 – 0.2	2 – 20
B	5 – 50	0.2 – 2	20 – 200
C	50 – 500	2 – 20	200 – 2,000
D	500 – 5,000	20 - 200	2,000 – 20,000

Una mezcla que contenga residuos tóxicos como se define en la tabla puede o no ser clasificado como tóxico. Para calcular la concentración equivalente (CE) se utiliza la ecuación siguiente para la mezcla. Si la EC de la mezcla es mayor o igual que 0.001%, entonces la mezcla es un residuo tóxico.

$$CE(\%) = \sum X\% + \frac{\sum A\%}{10} + \frac{\sum B\%}{100} + \frac{\sum C\%}{1,000} + \frac{\sum D\%}{10,000}$$

Tabla IV. Límites de tolerancia de algunos metales en el ser humano

Nombre químico	Promedio diario (ppm)	Máximo instantáneo (ppm)	Máximo diario (ppm)
Arsénico	1.0	4.0	4.0
Cadmio	0.5	0.6	0.6
Cromo	2.75	5.0	5.0
Cobre	3.0	8.0	8.0
Plomo	2.0	4.0	4.0
Mercurio	0.1	0.2	0.2
Níquel	2.5	5.0	5.0
Plata	1.0	3.0	3.0
Zinc	5.0	10.0	10.0
Cianuro	2.0	3.0	3.0

1.3.4 Efectos cancerígenos

Un químico que se encuentre en lista de la tabla V, puede ser un residuo carcinógeno.

Una mezcla que contenga un residuo carcinógeno en una concentración que exceda al 0.01% es un residuo carcinógeno.

Tabla V. Ejemplos de efectos cancerígenos y no cancerígenos de algunas sustancias

Sustancia	Efectos cancerígenos	Efectos no cancerígenos
Plomo	Tumores en el riñón (en animales de laboratorio)	Peso de nacimiento reducido, anemia, aumento de la tensión sanguínea, daños en el cerebro y riñones deterioro del coeficiente intelectual, disminución de la capacidad de aprendizaje
Arsénico (por inhalación)	Cáncer del pulmón	Daños en el hígado, fibrosis pulmonar, daños neurológicos
Cadmio (por inhalación)	Cáncer del pulmón (en animales de laboratorio)	Daños en riñones, osteoporosis, anemia
Cromo (por inhalación)	Cáncer de pulmón	Bronquitis, daños en el hígado y riñones
Hidrocarburos aromáticos poli cíclicos	Cáncer de pulmón (por inhalación), estómago (por ingestión) y piel (por contacto epidérmico)	Daños en el hígado, dermatitis
Benceno	Leucemia	Somnolencia, vértigo, dolores de cabeza, anemia, falta de inmunidad, fototoxicidad
Compuestos orgánicos clorados	Cáncer de hígado (en animales de laboratorio)	Daños en el hígado, efectos neurológicos (en animales de laboratorio)

1.3.5 Persistencia medioambiental

Un residuo químico exhibe la característica de persistencia medioambiental si el residuo contiene las siguientes características. (6)

- a. Un hidrocarburo halogenado (los halógenos incluyen F⁻, Cl⁻, I⁻, y Br⁻. Esta categoría no incluye sales).
- b. Un hidrocarburo aromático policíclico con cuatro, cinco o seis anillos.

Una mezcla que contiene un residuo persistente en una concentración total mayor que las mostradas en la tabla VI es un residuo persistente.

Tabla VI. Concentraciones mínimas de residuos persistentes

Categoría persistente	Concentración mínima
Hidrocarburos halogenados	0.01%
Aromáticos policíclicos (4, 5 ó 6)	1.0%

Tabla VII. Sustitutos de productos químicos

Producto	Sustituto
Benceno	Ciclohexano, tolueno
Cloroformo, tetracloruro de carbono, percloroetileno, tricloroetileno	Diclorometano
1,4-Dioxano	Tetrahidrofurano
n-Hexano, n-Pentano	n-Heptano
Acetonitrilo	Acetona
N,N-Dimetilformamida	N-Metilpirrolidona
Etilenglicol	Propilenglicol
Metanol	Etanol

2. RECOLECCIÓN Y ALMACENAJE DE RESIDUOS QUÍMICOS

Una adecuada recolección y almacenamiento de los residuos químicos, tiene como objetivo primordial evitar que se lleguen a mezclar productos químicos incompatibles, ya que de ocurrir, se pueden producir reacciones violentas con la posibilidad de que se generen incendios explosiones y/o emanaciones de gases venenosos o corrosivos, que pueden perjudicar y/o dañar a las personas, instalaciones y/o medio ambiente. (7)

Para cumplir con el propósito planteado, los residuos químicos deben almacenarse en sus respectivos envases, en lugares seguros, considerándose los riesgos inherentes y la incompatibilidad con otros productos químicos y las condiciones del medio, como el calor, fuentes de ignición, luz y humedad. A continuación se darán ciertos parámetros basados en la legislación de los Reales Decretos que corresponden a este tema (ver anexo 2).

2.1 Tipos de contenedores para almacenar cada uno de los tipos de residuos químicos

Los recipientes en donde se deben recolectar los residuos químicos para su posterior eliminación deben cumplir con las siguientes características según el proyecto FONDEF D97F1066 “Infraestructura de gestión integral de sustancias químicas y residuos tóxicos” de la Universidad de Concepción de Chile.

- a. Generadores particulares (laboratorios y almacenes) deben segregar residuos químicos peligrosos en contenedores separados según los tipos de materiales (por

ejemplo, ácidos, inflamables, o bases). La segregación se requiere porque algunos residuos químicos peligrosos pueden ser altamente reactivos si se mezclan con un residuo peligroso incompatible. También, mezclas impropias pueden ser no reciclables, o pueden requerir costosos análisis y procedimientos de disposición.

- b. Los residuos químicos deben ser empacados en compartimientos cerrados y sellados, contenedores compatibles que no muestren señal de daño, deterioro, o goteo. La tapa del contenedor debe tener un cerrado de tornillo.
 - c. Los contenedores de residuo necesitan estar bajo revisión o control de cada generador de residuos, o ubicados en un gabinete apropiado para el almacenamiento de residuos químicos.
 - d. Los contenedores deben estar etiquetados con la etiqueta provista por el programa de residuos.
 - e. La cantidad de residuo que puede ser acumulada por tipo de residuo en un área individual no debe exceder de 204 litros (54 galones) para residuos peligrosos, o 0.9 litros para residuos extremadamente peligrosos. De todas maneras, ningún tipo de residuo puede exceder los límites establecidos.
 - f. El almacenamiento de residuos peligrosos en el lugar de trabajo no puede exceder un año desde la fecha de generación.
- Solventes orgánicos con halógeno

Se deben utilizar recipientes de polietileno de alta densidad (HDPE) de cuello ancho de 30 litros, con su respectiva tapadera. También se pueden utilizar frascos de vidrio de color ámbar de 4 litros con su respectiva tapadera.

- Solventes orgánicos sin halógeno

Se deben utilizar recipientes de polietileno de alta densidad (HDPE) de cuello ancho de 30 litros, con su respectiva tapadera. También se pueden utilizar frascos de vidrio de color ámbar de 4 litros con su respectiva tapadera.

- Sólidos orgánicos

Se deben almacenar en frascos pequeños de vidrio de color ámbar (1 ó 2 litros) puesto que pueden existir compuestos halogenados.

- Soluciones acuosas de sales inorgánicas y orgánicas no pesadas

Se pueden almacenar en contenedores de polietileno de alta densidad (HDPE) de 30 litros o en frascos grandes de vidrio transparente, que sean de cuello ancho con su respectiva tapadera.

- Soluciones acuosas de sales inorgánicas y orgánicas pesadas

Se deben utilizar frascos de vidrio de 4 litros, preferiblemente que sean de cuello ancho con su respectiva tapadera.

- Metales, compuestos inorgánicos sólidos y sales insolubles en agua

Como estos compuestos se desechan en forma sólida deben almacenar en frascos de vidrio de 2 ó 4 litros según la cantidad de desechos. En caso que se trate de metales recuperables tal como zinc, hierro, plata, se deben almacenar en frascos separados.

- Ácidos orgánicos e inorgánicos solubles en agua

Para estos residuos se deben utilizar recipientes de polietileno de alta densidad (HDPE) de cuello ancho de 30 litros, con su respectiva tapadera. También se pueden utilizar frascos de vidrio de color ámbar de 4 litros con su respectiva tapadera.

- Bases orgánicas e inorgánicas solubles en agua

Para estos residuos se deben utilizar recipientes de polietileno de alta densidad (HDPE) de cuello ancho de 30 litros, con su respectiva tapadera. También se pueden utilizar frascos de vidrio de color ámbar de 4 litros con su respectiva tapadera.

- Halógenos

Se deben utilizar frascos de vidrio de color ámbar de 4 litros, preferiblemente que sean de cuello ancho con su respectiva tapadera. También se pueden utilizar recipientes de polietileno de alta densidad.

- Metales alcalinos y alcalinotérreos

Se deben utilizar frascos de vidrio de color ámbar pequeños, preferiblemente que sean de cuello ancho para fácil manejo del metal con su respectiva tapadera. A éstos frascos se les debe agregar gasolina para evitar que los metales reaccionen con la humedad del mismo.

2.1 Etiquetado e identificación de los envases

Todo envase de residuos químicos debe estar correctamente etiquetado (indicación del contenido) e identificado (indicación del productor).

La función del etiquetado es permitir una identificación rápida del residuo así como informar del riesgo asociado al mismo, tanto al usuario como al gestor. El contenido de las etiquetas debe ser el siguiente:

- Tipo de residuo, indicando al grupo que pertenece. Por ejemplo, si se trata del recipiente de residuos de solventes orgánicos halogenados el envase debe tener escrito una letra B, según la clasificación que se dio en el capítulo 1.
- Pictograma e indicación de peligro, (ver anexo 1).
- Fecha de inicio de llenado.
- De preferencia cada etiqueta debe ser de un color diferente para identificar el envase con mayor facilidad. Se proponen los colores que indica la tabla VIII.

Tabla VIII. Colores propuestos para etiquetas que identifican contenedores de residuos químicos

Tipo de residuo	Grupo	Color de etiqueta
Solventes orgánicos con halógeno	A	Naranja
Solventes orgánicos sin halógeno	B	Verde
Sólidos orgánicos	C	Azul
Soluciones de sales no pesadas	D	Rojo
Soluciones de sales pesadas.	E	Gris
Metales, compuestos inorgánicos sólidos y sales insolubles en agua	F	Amarillo
Ácidos orgánicos e inorgánicos solubles en agua	G	Blanco
Bases orgánicas e inorgánicas solubles en agua	H	Lila
Metales alcalinos y alcalinotérreos	I	Marrón

2.3 Características del almacén de contenedores de residuos químicos

Se pueden mencionar ciertas normas y características para el almacén y contenedores de residuos tóxicos dictadas por la legislación de los Reales Decretos respectivos (ver anexo 2). (8)

2.3.1 Características de espacio

- a. Es necesario un almacén de 30 m², procurando que esté dividido en cuatro zonas destinadas a productos inflamables, es decir solventes orgánicos (6 m²), otros productos (9 m²), residuos corrosivos (6m²) y otros residuos sólidos y líquidos (9 m²). El espacio destinado a productos inflamables estará provisto de una cubeta impermeabilizada para recoger los posibles derrames.

- b. Debe estar ubicado sobre el nivel del suelo, nunca en partes altas del laboratorio.

- c. Para la ubicación de estos búnkeres hay que buscar lugares que reúnan las siguientes condiciones en la medida de lo posible: proximidad a los principales usuarios, de fácil acceso tanto desde el exterior (vehículos) como desde el interior (usuarios), fácilmente convertible en zona de acceso restringido, impacto ambiental y visual casi nulos.

2.1.2 Características de la construcción

- a. Todos los materiales empleados en la construcción deberán ser incombustibles.
- b. Las paredes deben tener una resistencia al fuego mínima de 120 minutos , mientras que las puertas serán metálicas con una resistencia equivalente al 50% de las paredes.
- c. Los suelos, de superficie antideslizante y resistentes a corrosivos.
- d. Se debe fijar el tejado como zona blanda o área de expansión en caso de una hipotética explosión. Esta hipótesis difícilmente podría materializarse debido al sistema de ventilación alta y baja que impediría la formación de atmósferas explosivas.
- e. Las puertas laterales deberían tener una anchura de 100 cm., mientras que las frontales y la de acceso frontal tendrían 200 cm. En el diseño, se incluirán dos arquetas exteriores para la recogida de posibles derrames de líquidos con una capacidad mínima de 100 l.

2.1.3 Características de las instalaciones

- a. El depósito dispondrá de instalaciones de agua y electricidad.
- b. La instalación eléctrica debería ser antideflagrante en el área de inflamables y estanca en el resto con todos los interruptores en la parte exterior de la obra.
- c. Se deben colocar dos extintores de tipo polivalentes, a ubicar en la pared exterior.

2.4 Responsabilidad de los encargados del laboratorio

Los instructores del laboratorio dentro de su unidad o departamento tienen las siguientes funciones.

- a. La vigilancia del cumplimiento de verter los residuos en los contenedores indicados.
- b. La disposición de los envases que se vayan a utilizar, su etiquetado, marcado de la fecha de inicio de llenado y su colocación en el laboratorio correspondiente.
- c. Cuando un envase está lleno en su 90%, marcar la fecha final de llenado, trasladarlo al lugar del almacenaje temporal y anotarlo en la correspondiente ficha de control de residuos.
- d. Garantizar lotes (*stocks*) suficientes de contenedores vacíos.
- e. Mantener en orden el lugar donde se almacenen los contenedores de residuos químicos.

2.5 Seguridad en el traslado y manipulación de los residuos del laboratorio

La seguridad del personal en contacto con los residuos, tanto en la generación (alumnos de la Escuela de Ingeniería Química) como en la desactivación y eliminación (personal encargado del laboratorio), ha de ser algo prioritario en el sistema de recogida de residuos químicos del laboratorio. (9)

A continuación se dan unas recomendaciones básicas sobre seguridad, para que la recogida selectiva se realice sin prejuicios para la salud humana y el medio ambiente.

- a. Evitar el contacto directo con los productos químicos, utilizando los equipos de protección adecuados al tipo de producto (guantes, mascarillas, etc.).

- b. Al manipular productos considerados peligrosos, se aplicará el máximo nivel de protección en caso de desconocer exactamente las propiedades y características del producto a trasladar. Si se tienen dudas acerca de la naturaleza del producto o la utilización de los equipos de seguridad, habrá que consultar al responsable que corresponda.
- c. Cuando sea posible, se utilizará material de un solo uso que permita ser eliminado después del contacto con el producto, o material que pueda ser perfectamente descontaminado.
- d. Nunca se han de manipular productos químicos si no hay otras personas en el laboratorio.
- e. Para los residuos líquidos no se emplean envases mayores de 30 litros para facilitar su manipulación y evitar riesgos innecesarios.
- f. El vertido de los residuos a los envases correspondientes se ha de efectuar de una forma lenta y controlada. Esta operación será interrumpida si se observa cualquier fenómeno anormal como la producción de gases o el incremento excesivo de la temperatura.
- g. Una vez acabada la operación de vaciado se cerrará el envase hasta su próxima utilización. De esta forma se reducirá la exposición del personal a los productos implicados.

- h. Los envases no se han de llenar más allá del 90% de su capacidad con la finalidad de evitar salpicaduras, derrames y sobrepresión.
- i. El transporte de envases grandes de 30 litros hasta el lugar de almacenaje temporal o hasta el lugar de recogida se realizará en carretones para evitar riesgos.
- j. Siempre que sea posible, los envases se depositarán en el suelo para prevenir posibles caídas.
- k. Dentro del laboratorio los envases no se dejarán en zonas de paso o lugares que puedan dar lugar a tropiezos.
- l. No se almacenarán residuos a más de 170 cm de altura.

3. SEGURIDAD, ORGANIZACIÓN, INSTALACIONES Y EQUIPOS EN EL LABORATORIO

3.1 Diseño del laboratorio

Entre los aspectos que se deben tener en cuenta a la hora de proyectar un laboratorio o de reformar uno existente destacan.

- a. Número de laboratorios necesarios y su ubicación.
- b. Número de personas que van a trabajar en cada laboratorio.
- c. Tipo de trabajos que se van a realizar en el laboratorio
- d. Necesidades del laboratorio en cuanto a servicios: ventilación, iluminación, electricidad, agua, gases, vacío, aire comprimido, etc.; e instalaciones: almacén de productos, cuarto de balanzas, cuarto de muflas y estufas, almacén de equipos, archivos, despachos, vestuarios, etc.
- e. Cantidades de productos que se van a utilizar o almacenar, características y riesgos de estas sustancias, incompatibilidades entre ellas.

El diseño de un laboratorio sin considerar las necesidades específicas del mismo, no sólo lleva a una falta de funcionalidad, sino que puede llevar a asumir riesgos que podrían haberse eliminado en la fase del proyecto. (10)

La diferenciación entre el laboratorio y las áreas accesorias permite.

- Separar las áreas de riesgo elevado de otras de riesgo inferior
- Controlar el acceso a las áreas de riesgo

- Centralizar el agua, gas, electricidad, al objeto de favorecer la actuación en caso de emergencia.
- Diseñar sistemas de acondicionamiento de aire y ventilación adecuados.
- Facilitar la eliminación de residuos y drenajes.
- Facilitar la evacuación en caso de emergencia.
- Dificultar la propagación de un posible incendio (compartimentación frente al fuego).

Se debe poner especial atención en la distribución del laboratorio y en la selección de los materiales, para eliminar peligros o para minimizar las consecuencias de un posible accidente.

3.2 Equipos del laboratorio

3.2.1 Mesas o bancos de trabajo y mobiliario

El mobiliario son los diferentes elementos que permiten acomodar los equipos y materiales de trabajo. Deben ser sólidos y convenientemente fijados. Las instalaciones de agua, gases y electricidad deben estar integradas de forma segura en el mobiliario.

Las superficies de trabajo tienen que ser impermeables, resistentes a ácidos, álcalis, disolventes orgánicos y al calor moderado, fáciles de limpiar y con un acabado que impida reflejos molestos. (11)

Las estanterías deben ser fácilmente accesibles y proporcionadas a los materiales que se depositarán en ella.

3.2.2 Artículos de vidrio

El material de vidrio es un elemento fundamental en el trabajo en laboratorios, pues tiene una serie de ventajas como son su transparencia, su manejabilidad, facilidad de obtener todo tipo de elementos para la preparación de montajes, aunque presenta el grave inconveniente de su fragilidad tanto mecánica como térmica. (12)

Los riesgos asociados a la utilización de material de vidrio en el laboratorio son:

- a. Cortes o heridas producidas por rotura del material
- b. Cortes o heridas debidas a la apertura de ampollas selladas, frascos con tapón esmerilado o aperturas de llaves de paso o contenedores que se hayan obturado, etc.
- c. Explosión, implosión e incendio por rotura del material de vidrio en operaciones realizadas a presión o al vacío.

De lo anterior se desprende la importancia de examinar el estado de las piezas antes de utilizarlas y desechar las que presenten el más mínimo defecto. También debe desecharse el material que haya sufrido algún golpe, aunque no se observen grietas o fracturas y nunca debe calentarse un recipiente de vidrio que presente grietas, pues puede estallar.

En todos los laboratorios debe haber un recipiente para el material de vidrio roto. Es importante señalar que éste no debe mezclarse nunca con la basura común del laboratorio.

No debe calentarse el vidrio directamente a la llama, debe interponerse un material que difunda el calor, por ejemplo una rejilla metálica, para evitar la concentración de calor en un punto, así se alarga la vida del recipiente de vidrio.

Las manos se protegerán con guantes cuando se introduzca en un tubo de vidrio un tapón o se haga fuerza de presión en un material de vidrio.

3.2.3 Montajes

Al efectuar los montajes para las diferentes operaciones: reflujos, destilaciones (al vacío o a presión atmosférica), reacciones con adición y agitación, se debe prestar especial cuidado, evitando que el material de vidrio pueda quedar tensionado. Para ello se emplearán soportes y abrazaderas adecuadas.

Las diferentes piezas de vidrio se unen mediante tubos de goma y tapones perforados. Éstas pueden quedar encajadas por la rugosidad de la superficie de contacto, no debiendo intentar separarlas por la fuerza, debe calentarse la unión por su parte externa esperando que se dilaten y separen.

El uso de bocas esmeriladas permite realizar estas uniones de forma fácil y cómoda. Los esmerilados deben ser ligeramente lubricados con grasas inertes, como por ejemplo las de silicona.

Es importante establecer un procedimiento de comprobación de la solidez y estanqueidad de las conexiones de cualquier montaje. Hay que vigilar que los tubos flexibles no queden aplastados por los soportes.

Si se utiliza una corriente refrigerante también es importante controlar que no se produzcan obturaciones del circuito y comprobar las conexiones. A la hora de retirar los tubos flexibles es mejor cortarlos que intentar arrancarlos estirando, pues es fácil romper la espiga de vidrio.

3.2.3.1 Operaciones a presión

Las operaciones a presión superior a la atmosférica presentan además del riesgo de los productos que se utilizan, peligro de fugas por sobrepresión y estallido, por lo que los montajes deben estar diseñados para ello. Estas operaciones no deben ser realizadas nunca por una sola persona.

Debe emplearse una pantalla de protección, además de colocar alrededor de los elementos de vidrio rejillas o cajas metálicas protectoras. Tiene que prestarse especial atención durante las operaciones de calentamiento o enfriamiento.

3.2.3.2 Operaciones al vacío

Las operaciones al vacío presentan además del riesgo de los productos que se utilizan, el riesgo de implosión. Este riesgo puede deberse a un choque mecánico o

térmico, o una entrada rápida de aire en un aparato al vacío, como por ejemplo evaporaciones al vacío, destilaciones al vacío, filtraciones al vacío, etc.

3.2.4 Pipetas

El riesgo mayor de una pipeta es el contacto o la ingestión de un líquido tóxico o corrosivo, por ello es fundamental que esté prohibido pipetear con la boca. Se deben utilizar bombas de aspiración manual de caucho o cremallera que se adapten bien a la pipeta, y en el caso de determinadas aplicaciones o reactivos sería recomendable utilizar un dispensador automático de manea permanente. También presentan riesgo de corte o de contacto con productos tóxicos o corrosivos debido a su rotura, por ello es importante utilizar guantes impermeables al producto manipulado.

3.2.5 Equipos calefactores

En los laboratorios se utilizan frecuentemente equipos calefactores para elevar la temperatura, facilitar y acelerar reacciones químicas.

Generalmente son utensilios de calentamiento eléctrico o de gas. Son mecheros de gas, baños calientes (aceite, arena, agua), mantas o placas calefactoras, microondas y estufas.

Es imprescindible realizar un mantenimiento preventivo de todos estos dispositivos, prestando especial atención a las conexiones eléctricas y de gas.

Hay que seleccionar el método de calefacción más adecuado que proporcione mejor control de los riesgos potenciales. Así, por ejemplo, es recomendable el uso de mantas calefactoras para calentar líquidos inflamables.

3.2.6 Instrumental analítico

3.3.6.1 Cromatógrafo de gases

Los principales riesgos son los siguientes.

- a. Molestias por el calor desprendido por el aparato
- b. Quemaduras térmicas al realizar alguna operación en el detector, la columna o el inyector
- c. Pinchazos en la manipulación de jeringas
- d. Fugas de gases inflamables (por ejemplo hidrógeno)
- e. Contactos eléctricos indirectos

Es necesario disponer de un sistema de ventilación, para disipar el calor generado por el cromatógrafo. Cuando se realicen operaciones en zonas calientes se deben utilizar guantes. Se debe conectar la salida del divisor de flujo del inyector de capilares y de los detectores no destructivos al exterior. Es fundamental realizar un buen mantenimiento preventivo del cromatógrafo.

3.2.6.2 Cromatógrafo de líquidos de alta resolución (HPLC)

Los principales riesgos son:

- a. Vertidos y contactos dérmicos en la preparación del eluyente.
- b. Contaminación ambiental si se emplean eluyentes volátiles.

Los eluyentes se han de manipular empleando guantes y se debe utilizar material de vidrio resistente en el tratamiento previo del eluyente, sobre todo en las operaciones al vacío.

3.2.6.3 Espectrofotómetro de absorción atómica

Los principales riesgos son los siguientes.

- a. Quemaduras químicas en la manipulación de ácidos concentrados que se emplean en el tratamiento previo (digestión) de las muestras para analizar
- b. Desprendimiento de vapores irritantes y corrosivos
- c. Quemaduras térmicas con la llama, horno de grafito y zonas calientes en general
- d. Fugas de gases, como por ejemplo acetileno
- e. Posible formación de hidrógeno cuando se utiliza el sistema de generación de hidruros

La digestión ácida debe realizarse en vitrina, utilizando guantes, gafas u otros equipos de protección.

3.2.6.4 Espectrofotómetro UV- visible e infrarrojo, fluorímetro, balanza polarógrafo y otros aparatos de electroanálisis

Los principales riesgos asociados a este tipo de equipos son.

- a. Contacto eléctrico indirecto
- b. Quemaduras térmicas si hay contactos con zonas calientes
- c. Formación de ozono cuando se utilizan lámparas o radiaciones a determinadas longitudes de onda

En todo este tipo de instrumentación es imprescindible realizar mantenimiento preventivo, realizar una adecuada instalación de los equipos, y establecer procedimientos normalizados de trabajo que contemplen las medidas de seguridad que deben observarse en cada técnica.

3.3 Actuación en caso de vertidos o derrames

El plan de actuación estará en función de la cantidad derramada, de las características del producto y del lugar donde se haya producido. Es decir, son casos

totalmente diferentes, por ejemplo, un pequeño derrame en la mesa de trabajo de un gran derrame cuyas consecuencias pueden afectar a todo el personal del laboratorio. (13)

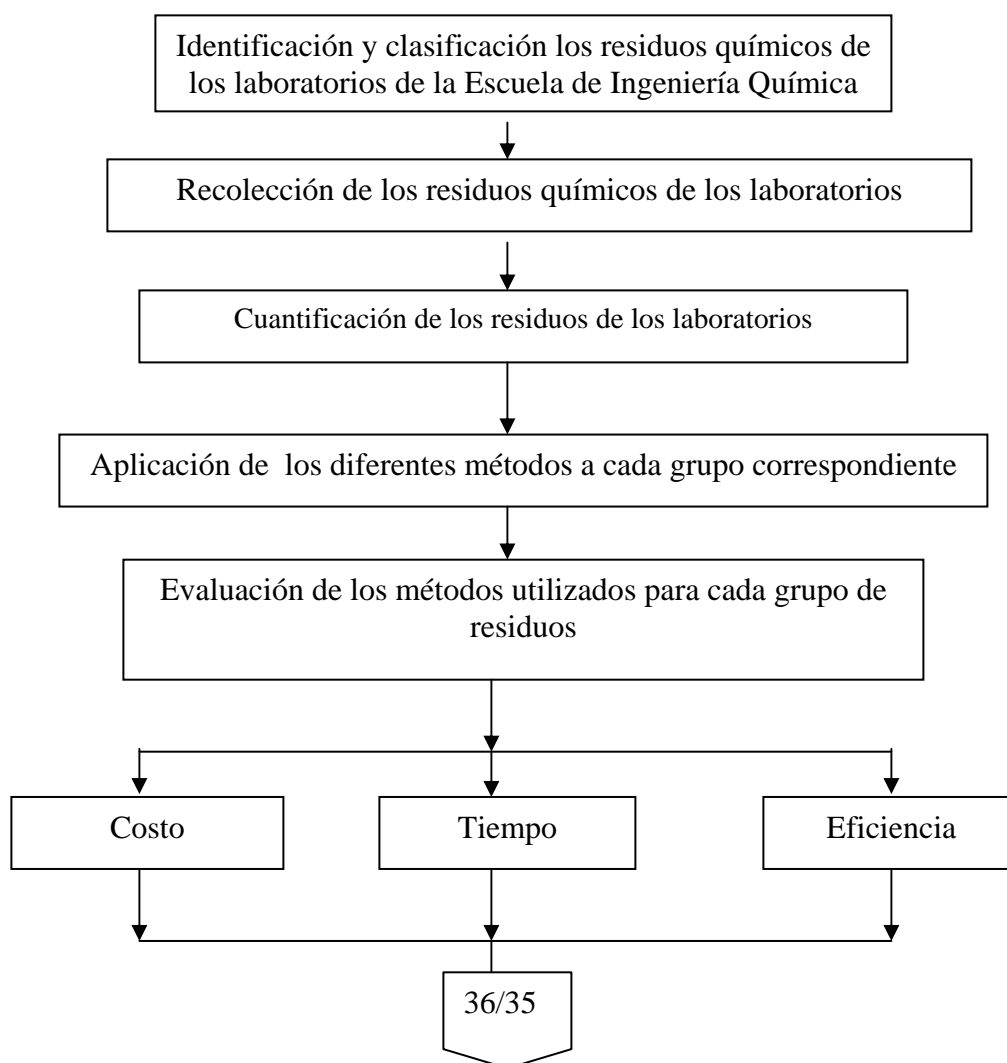
Cuando se produce algún derrame o vertido de productos líquidos en el laboratorio debe actuarse con rapidez para su neutralización, absorción y eliminación. La utilización de equipos de protección individual y los distintos métodos de tratamiento se llevarán a cabo en función de las características de peligrosidad del producto vertido. Es necesario tener a mano las fichas de datos de seguridad de todos los productos que se manejan en el laboratorio, de forma que sea fácil su consulta.

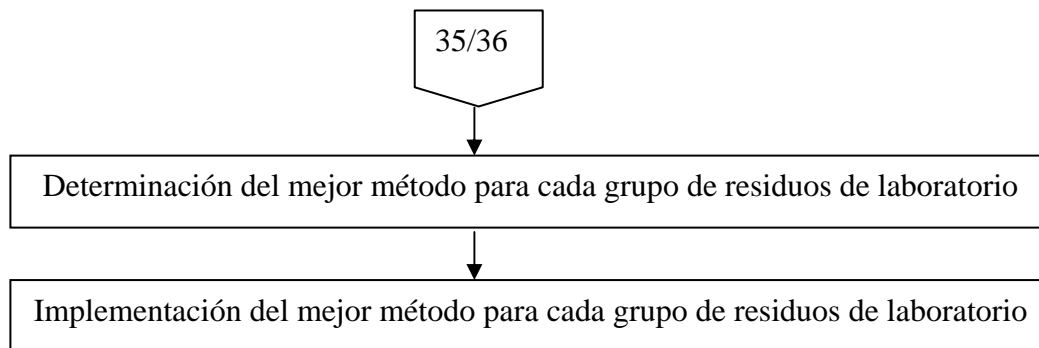
Las instrucciones de actuación en caso de derrames o salpicaduras se darán con detalle para cada tipo de residuo en el capítulo 7 de este documento.

4. METODOLOGÍA

Antes de describir los métodos con detalle, se mostrará un diagrama de flujo que resume toda la metodología del procedimiento empleado, con el fin de crear una idea general del trabajo realizado.

Figura 1. Diagrama de flujo del procedimiento empleado





4.1 Descripción del procedimiento empleado

4.1.1 Identificación y clasificación de los residuos de los diferentes laboratorios

Se hizo una revisión de los instructivos de los diferentes laboratorios de la escuela de Ingeniería Química, y también se obtuvo información de los catedráticos y auxiliares de los respectivos laboratorios para conocer los tipos de residuos que se generan en cada uno de ellos y así clasificarlos dentro de las siguientes categorías, de acuerdo a la sección 1.1 de este documento.

Grupo A: solventes orgánicos con halógeno

Grupo B: solventes orgánicos sin halógeno

Grupo C: sólidos orgánicos

Grupo D: soluciones de sales inorgánicas y orgánicas no pesadas

Grupo E: soluciones de sales inorgánicas y orgánicas pesadas.

Grupo F: metales, compuestos inorgánicos sólidos y sales insolubles en agua

Grupo G: ácidos orgánicos e inorgánicos solubles en agua.

Grupo H: bases orgánicas e inorgánicas solubles en agua.

Grupo I: halógenos

Grupo J: metales alcalinos y alcalinotérreos.

4.1.2 Recolección de residuos de laboratorio

Se recolectaron los residuos colocando en cada uno de los laboratorios recipientes adecuados, clasificándolos en las 10 categorías del inciso anterior. Los recipientes utilizados fueron de los materiales indicados en la sección 2.1 de este documento, de acuerdo al tipo de residuo que iban a contener.

4.1.3 Cuantificación de los residuos químicos de los diferentes laboratorios

Se cuantificaron los desechos de los tres laboratorios de la Escuela de Ingeniería Química: laboratorio del Área de Química, laboratorio de Físicoquímica y el de Microbiología. Se utilizaron boletas, las cuales cada estudiante llenó al momento de desechar un compuesto puro o una solución de él, especificando el nombre del compuesto, su concentración (si es solución) y la cantidad que se desecha (ver apéndice 1). Este proceso se llevó a cabo durante un semestre en los tres laboratorios indicados. Con los datos obtenidos se hicieron los cálculos de la cantidad de cada reactivo que se desechó durante dicho semestre en los laboratorios de la Escuela de Ingeniería Química.

4.1.4 Métodos utilizados

Se hicieron pruebas con diferentes métodos para cada grupo de residuos indicados en la sección 4.2.1, los cuales se describen a continuación:

4.1.4.1 Solventes orgánicos con halógeno

Incineración con arena: se vertieron los residuos en una bandeja metálica con arena, tratando que ésta no se sobresaturara, luego se incineró en la bandeja metálica al aire libre.

Incineración con arena agregando $\text{Ca}(\text{OH})_2$: se vertieron los residuos en recipientes metálicos planos con arena, agregando solución de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ al 2%, tratando que ésta no se sobresaturara, luego se incineraron en una bandeja metálica al aire libre. (14)

4.1.4.2 Solventes orgánicos sin halógeno

Incineración con arena: se vertieron los residuos en una bandeja metálica con arena, tratando que ésta no se sobresaturara, luego se incineró al aire libre.

Evaporación bajo campana: se vertieron los residuos en un *beacker* grande, y se evaporó bajo campana a temperatura entre 120°C , con observación continua.

Evaporación bajo campana con solución al 1% de FeSO_4 : se vertieron los residuos en un *beacker* grande, agregando una solución de sulfato de hierro al 1%, y se evaporó bajo campana a temperatura 130°C , con observación continua. (15)

4.1.4.3 Sólidos orgánicos

Incineración con arena: se pulverizaron los residuos y se mezclaron con arena, se les agregó un poco de líquido del grupo B, y se incineraron en un recipiente metálico, al aire libre.

Incineración directa: se pulverizaron los residuos y se incineraron directamente en un recipiente metálico al aire libre.

4.1.4.4 Soluciones de sales inorgánicas y orgánicas no pesadas

Tratamiento previo con bicarbonato de sodio: se agregaron a los residuos solución de bicarbonato de sodio al 10% para ajustar el pH a 7, luego se descargaron en el drenaje.

Neutralización con HCl o NaOH: se midió el pH del volumen total del residuo recolectado y como el pH fue ácido se neutralizó con escamas de NaOH hasta un pH

igual a 7. En otro ensayo donde el pH fue básico se neutralizó con unas gotas de HCl, hasta un pH igual a 7, luego se descargó en el drenaje.

4.1.4.5 Soluciones de sales inorgánicas y orgánicas pesadas

Precipitación con Ca(OH)_2 : los residuos fueron tratados con una libra de sal común por cada 5 litros de aguas de desecho. Se agitó fuertemente durante 15 minutos y luego se dejó reposar durante un día. Se separó por decantación el precipitado, el cual se guardó para ser reciclado posteriormente. Se mezclaron lentamente los residuos. Todo esto debe de hacerse dentro de una campana de extracción de gases. Luego se le agregaron 40 g de hidróxido de calcio y se esperó que se precipitaran los sólidos. Se filtró el sólido y se secó y se fundió dentro de un cuadro de concreto. (16)

Tratamiento con HCl y H_2SO_4 : las soluciones de estos residuos se disolvieron en ácido clorhídrico 3M. Luego la solución se diluyó y saturó con ácido sulfúrico en una campana de laboratorio. El precipitado se lavó y se coloca en una bandeja plástica y se deja secar al sol, el sólido seco, después se fundió dentro de un cuadro de concreto. (17)

4.1.4.6 Metales, compuestos inorgánicos sólidos y sales insolubles en agua

Tratamiento con HCl: Se agregaron 10 ml ácido clorhídrico grado reactivo por cada 40 g de residuo. Luego se diluyó la solución con una cantidad moderada de agua y las sales de cloruro formadas se trataron como soluciones acuosas de metales pesados (grupo E). (18)

Tratamiento con H_2SO_4 : se disolvieron los sólidos con unos 12 ml de ácido sulfúrico por cada 40 g de residuo. Luego se diluyó con agua y se midió el pH de la solución, y como resultó ser ácido se trató como solución de ácidos (grupo G). (19)

4.1.4.7 Ácidos orgánicos e inorgánicos solubles en agua

Neutralización con hidróxido de sodio: Se mezcló con los residuos de bases existentes, como el pH resultó ser ácido se neutralizó la solución con escamas de NaOH hasta un pH igual a 7. La solución salina resultante se descargó en el drenaje.

Neutralización con hidróxido de calcio: Se diluyó el residuo con agua aproximadamente en una proporción 1:5 y después se neutralizó adicionando una solución de hidróxido de calcio al 32% . La solución salina resultante se diluyó en agua en una proporción 1:10 y luego se eliminó por el drenaje. (20)

4.1.4.8 Bases orgánicas e inorgánicas solubles en agua

Neutralización con HCl: se mezclaron los residuos con los residuos de bases existentes, como el pH resultante fue básico se neutralizó la solución con gotas de HCl grado reactivo hasta un pH igual a 7. La solución salina resultante se descargó en el drenaje.

Neutralización con H₂SO₄: se diluyeron los residuos con agua en una proporción aproximada de 1:5 y luego neutralizó con ácido sulfúrico diluido hasta pH igual a 7. La solución salina resultante se disolvió en agua y se eliminó por el drenaje. (21)

4.1.4.9 Halógenos

Tratamiento con bicarbonato de sodio e hidróxido de calcio: a los residuos se adicionaron con precaución una mezcla de bicarbonato de sodio e hidróxido de calcio bajo la campana de laboratorio. Una vez finalizada la reacción, se agregó, cuidadosamente y agitando, abundante agua, después de lo cual se eliminó por el drenaje.

Tratamiento con tiosulfato de sodio: se mezclaron los residuos con precaución y en pequeñas dosis con tiosulfato de sodio sólido, después de lo cual y agitando simultáneamente se añadió un poco de agua hasta que desapareció el color característico de los halógenos (café), a una solución incolora. Se eliminó por el drenaje. (22)

4.1.4.10 Metales alcalinos y alcalinotérreos

Tratamiento con etanol: se añadió cuidadosamente el metal (sodio) sobre etanol frío, de manera que la reacción no fuera violenta. Cuando todo el metal fue añadido, se agitó la mezcla hasta que la reacción se paró. Se comprobó que todo el metal había reaccionado tomando una pequeña cantidad y añadiéndola sobre agua en un *beacker*. Cuando se comprobó que todo el metal había reaccionado, se diluyó la mezcla con agua, neutralizando con H_2SO_4 6 N y se eliminó por el drenaje con exceso de agua. (23)

Tratamiento con alcohol n-butílico: se cubrió bajo la campana de laboratorio el metal con carbonato de sodio anhidro. Seguidamente, se adicionó lentamente alcohol n-butílico. Se dejó en contacto hasta el día siguiente hasta que concluyó la reacción y luego se diluyó cuidadosamente con abundante agua en una proporción 1:20 y se eliminó por el drenaje. (24)

Tratamiento con alcohol tert-amílico: se añadió un pedazo de sodio a alcohol tert-amílico. Cuando todo el metal fue añadido, se agitó la mezcla hasta que la reacción se paró. Cuando se comprobó que todo el metal había reaccionado, se diluyó la mezcla con agua, neutralizando con H_2SO_4 6 N y se eliminó por el drenaje con exceso de agua. (25)

4.1.5 Evaluación de los métodos utilizados para cada grupo de residuos

Cada método de los diferentes grupos de residuos descritos en el inciso anterior fue evaluado por grupos de alumnos y por el auxiliar del laboratorio de Fisicoquímica 1, con el fin de obtener observaciones y comentarios de diferentes personas.

Para llevar a cabo esto cada grupo de estudiantes del laboratorio de Fisicoquímica evaluó los diferentes métodos para cada grupo de residuos, llenando la ficha de evaluación que se presenta en el apéndice 2 de este documento . La distribución de residuos que fueron evaluados por cada grupo de estudiantes se llevó a cabo de la siguiente manera.

Tabla IX. Distribución de los residuos que fueron evaluados por cada grupo de estudiantes del Laboratorio de Fisicoquímica 1

Sección	Número de grupo de estudiantes	Tipo de residuos	Método a evaluar	
A	1	Orgánicos con halógeno (A)	Incineración con arena	
			Incinerar agregando Ca(OH)_2	
			Evaporar bajo campana	
	2	Orgánicos sin halógeno (B)	Incineración con arena	
			Evaporar bajo campana	
			Evaporar bajo campana con 1% $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	
	3	Sólidos orgánicos (C)	Incineración con mezcla de arena	
			Incinerar directamente	
	4	Sales inorgánicas no pesadas (D)	Tratamiento con bicarbonato de sodio	
			Neutralización con NaOH/HCl	
	B	1	Sales inorgánicas pesadas (E)	Precipitación con Ca(OH)_2
				Tratamiento con HCl y H_2SO_4
2		Ácidos orgánicos e inorgánicos (G)	Mezclar con grupo G y tratar con NaOH	
			Mezclar con grupo G y tratar con Ca(OH)_2	

B	3	Bases orgánicas e inorgánicas (H)	Mezclar con grupo F y tratar con HCl
			Mezclar con grupo F y tratar con H ₂ SO ₄
	4	Metales alcalinos y alcalinotérreos (I)	Tratamiento con etanol
			Tratamiento con alcohol n-butílico
			Tratamiento con alcohol tert-amílico
C	1	Metales, compuestos inorgánicos y sales insolubles (G)	Tratamiento con HCl
			Tratamiento con H ₂ SO ₄
	2	Orgánicos sin halógeno (B)	Incineración con arena
			Evaporar bajo campana
			Evaporar bajo campana con 1% FeSO ₄ *7H ₂ O
	3	Sólidos orgánicos (C)	Incineración con mezcla de arena
			Incinerar directamente
	4	Halógenos (I)	Tratamiento con bicarbonato de sodio e hidróxido de calcio
Tratamiento con tiosulfato de sodio			
D	1	Sales inorgánicas pesadas (E)	Precipitación con Ca(OH) ₂
			Tratamiento con HCl y H ₂ SO ₄
	2	Metales alcalinos y alcalinotérreos (H)	Tratamiento con etanol
			Tratamiento con alcohol n-butílico
			Tratamiento con alcohol tert-amílico

4.1.6 Determinación del mejor método para cada grupo de residuos de laboratorio

Con los datos obtenidos de las fichas de evaluación de los diferentes métodos de eliminación de residuos químicos se determinó el método a utilizar en los laboratorios para cada grupo de residuos, tomando en cuenta los siguientes aspectos.

Costo

El método implementado no implicó un alto costo de reactivos y materiales. Dicho costo se midió cuantificando la cantidad de reactivos que se utilizaron para eliminar aproximadamente 100 g de cada residuo.

Tiempo

El método implementado se llevó a cabo en un tiempo relativamente corto. Dicho tiempo se midió cada vez que se ensayaba un método y se sacó un tiempo de eliminación promedio por cada 100 gramos de residuo.

Eficiencia

El método implementado cumplió con los objetivos, eliminando la mayor parte del residuo respectivo, con un tiempo y costo determinados; es decir tuvo un alto porcentaje de eficiencia.

5. RESULTADOS

5.1 Cuantificación de los residuos químicos de los laboratorios de la Escuela de Ingeniería Química

Se hizo un estudio en los laboratorios de química y fisicoquímica de la Escuela de Ingeniería Química de los tipos de residuos químicos que se generan y se cuantificaron por medio de hojas de control de residuos, cuyo formato se muestran en el anexo 1.

A continuación se muestran los tipos y cantidades de sustancias químicas que se desechan cada semestre en la Escuela de Ingeniería Química, de acuerdo a la clasificación que se les dio según el capítulo 1 de este documento.

Tabla X. Cantidad de residuos de solventes orgánicos con halógeno por semestre en la Escuela de Ingeniería Química

Compuesto	Cantidad (mL)
Cloroformo	1,846.00
Bromuro de etilo	652.00
Yodoformo	202.00
Yoduro de etilo	105.00
Tetracloruro de carbono	166.00

Tabla XI. Cantidad de residuos de solventes orgánicos sin halógeno por semestre en la Escuela de Ingeniería Química

Compuesto	Cantidad (mL)
Acetato de etilo	2,706.00
Ciclohexanol	1,147.00
Tolueno	1,635.00
Metil isobutil cetona	1,353.00
Metanol	1,610.00
Alcohol amílico	188.00
Alcohol ter-butílico	110.00
Xileno	841.00
Benceno	1,705.00
Butanol	1,152.00
Propanol	105.00
Isobutanol	1,295.00
2-pentanol	21.00
2-butanol	1,112.00
Acetona	3,055.00
Amileno	102.00
Ciclohexano	1,260.00
Etanol	4,442.00
Glicerol	335.00
Hexano	1,224.00

Tabla XII. Cantidad de residuos de sólidos orgánicos por semestre en la Escuela de Ingeniería Química

Compuesto	Cantidad (g)
Naftaleno	128.00
Difenilamina	138.00
Sacarosa	496.00
Celulosa	90.00
Glucosa	56.00
Nitrobenceno	112.30
Nitrotolueno	88.20
Ácido benzoico	108.90
Ácido salicílico	157.30
Ácido acetil salicílico	160.20
Ácido cítrico	116.00
Fenol	256.00
Ácido tartárico	58.00
Almidón	38.00

Tabla XIII. Cuantificación de residuos de sales inorgánicas y orgánicas acuosas no pesadas por semestre en la Escuela de Ingeniería Química

Compuesto	Cantidad (g)
Cloruro de sodio	1,192.80
Cloruro de bario	310.20
Cloruro de potasio	182.50
Yoduro de potasio	543.20
Acetato de sodio	397.40
Azul de timol	1.20
Naranja de metilo	2.33
Fenolftaleína	10.80
Azul de metileno	3.80
Fosfato de sodio	54.60
Bromuro de sodio	33.20
EDTA	192.00
Nitrato de potasio	555.01
Sulfato de calcio	88.70
Tiosulfato de sodio	689.20
Persulfato de potasio	495.50
Bicarbonato de sodio	856.30
Fosfato ácido de sodio	38.90
Fosfato diácido de sodio	23.40
Dicromato de sodio	330.40
Permanganato de potasio	496.70
Fluoruro de sodio	24.00

Tabla XIV. Cuantificación de residuos de sales inorgánicas y orgánicas acuosas pesadas por semestre en la Escuela de Ingeniería Química

Compuesto	Cantidad (g)
Nitrato de cobre	598.30
Nitrato de zinc	470.20
Nitrato de plomo	355.70
Nitrato de plata	430.58
Sulfato de zinc anhidro	345.60
Sulfato de zinc heptahidratado	258.70
Sulfato de plomo	123.40
Sulfato de hierro (II)	257.80
Sulfato de cobre pentahidratado	202.20
Cloruro de estaño	56.80
Cloruro férrico	16.81
Cloruro ferroso	15.70
Cloruro de plata	4.50
Dicromato de plata	5.37
Acetato de plomo	88.90

Tabla XV. Cantidad de residuos de metales, compuestos inorgánicos sólidos y sales insolubles en agua por semestre en la Escuela de Ingeniería Química

Compuesto	Cantidad (g)
Zinc	97.40
Hierro	108.90
Plomo	203.40
Estaño	144.50
Cobre	167.80
Carbonato de calcio	56.70
Carbonato de magnesio	45.70
Cloruro de calcio	78.90
Sulfato de calcio	65.40

Tabla XVI. Cantidad de residuos de ácidos inorgánicos y orgánicos solubles en agua por semestre en la Escuela de Ingeniería Química

Compuesto	Cantidad (g)
Ácido clorhídrico	4,612.00
Ácido nítrico	2,520.00
Ácido sulfúrico	4,723.00
Ácido fosfórico	978.00
Ácido acético	6,058.00
Ácido ascórbico	15.92
Ácido perclórico	12.30

Tabla XVII. Cantidad de residuos de bases inorgánicas y orgánicas solubles en agua por semestre en la Escuela de Ingeniería Química

Compuesto	Cantidad (g)
Hidróxido de sodio	1,966.80
Hidróxido de potasio	122.00
Hidróxido de calcio	102.30
Hidróxido de amonio	78.90
Hidróxido de Bario	32.50

Tabla XVIII. Cantidad de residuos de halógenos por semestre en la Escuela de Ingeniería Química

Compuesto	Cantidad (mL)
Yodo (solución 0.1 N)	250.00
Bromo (solución 0.1 N)	96.00

Tabla XIX. Cantidad de residuos de metales alcalinos y alcalinotérreos por semestre en la Escuela de Ingeniería Química

Compuesto	Cantidad (g)
Sodio metálico	102.80

Tabla XX. Resumen de cantidades de residuos químicos por grupo desechados en la Escuela de Ingeniería Química

Tipo de residuo	Grupo	Cantidad
Solventes orgánicos con halógeno	A	2971.00 mL
Solventes orgánicos sin halógeno	B	25,418.00 mL
Sólidos orgánicos	C	2,002.90 g
Soluciones acuosas de sales inorgánicas y orgánicas no pesadas	D	6,619.34 g
Soluciones acuosas de sales inorgánicas y orgánicas pesadas	E	3,230.56 g
Metales, compuestos inorgánicos sólidos y sales insolubles en agua	F	968.70 g
Ácidos inorgánicos y orgánicos solubles en agua	G	18,919.22 g
Bases inorgánicas y orgánicas solubles en agua	H	2,302.50 g
Metales alcalinos y alcalinotérreos	I	102.80 g
Halógenos	J	346.00 mL

5.2 Peligrosidad de los residuos químicos de la Escuela de Ingeniería Química

Los diferentes grupos de residuos químicos de los laboratorios de la Escuela de Ingeniería Química definidos en la tabla XX, muestran diferentes tipos de peligrosidad durante su almacenamiento y manipulación. Los peligros observados en dichos residuos son de acuerdo a su naturaleza química, los cuales se muestran en la siguiente tabla, y se deben de tomar en cuenta para su almacenamiento, manipulación y eliminación.

Tabla XXI. Grados de peligrosidad de los diferentes grupos de residuos químicos

Grupo de residuo*	Grado de peligrosidad **				
	Toxicidad	Inflamabilidad	Corrosividad	Reactividad	Efecto cancerígeno
A	4	4	1	3	3
B	2	4	2	2	2
C	3	4	0	2	3
D	2	0	1	2	0
E	3	0	1	2	2
F	2	0	0	3	3
G	2	0	4	4	2
H	2	0	4	4	3
I	1	0	2	4	1
J	3	0	1	2	2

* De acuerdo a la clasificación del inciso 1.2 de este documento, ver también tabla XX

** Ver nomenclatura en la tabla XXII

Tabla XXII. Nomenclatura de grados de peligrosidad

Número de grado	Definición de la clasificación
4	Alto grado de peligrosidad
3	Fuerte riesgo de peligrosidad
2	Moderado peligro
1	Poco peligro
0	No hay peligro, sustancia no peligrosa en esa clasificación

5.3 Evaluación de los métodos aplicados a cada tipo de residuos químicos

Tabla XXIII. Evaluación de los distintos métodos de eliminación de residuos químicos de los laboratorios de la Escuela de Ingeniería Química

Tipo de residuo	Método de eliminación	Tiempo promedio de eliminación de 100 g (min.)	Costo aproximado de eliminación por 100 g de residuo (Q)	Porcentaje de eliminación del residuo
Solventes orgánicos con halógeno	Incineración con arena	7	0.70	95%
	Incineración con arena agregando Ca(OH)_2	18	1.95	85%
Solventes orgánicos sin halógeno	Incineración con arena	5	0.70	100%
	Evaporación bajo campana con solución FeSO_4 al 1%	80	3.20	100%
Sólidos orgánicos	Incineración con arena	16	0.70	85%
	Incineración directa	14	0.00	85%
Soluciones de sales orgánicas e inorgánicas no pesadas	Tratamiento previo con bicarbonato de sodio	35	0.55 *	90%
	Neutralización con HCl ó NaOH	26	1.10 *	100%
Soluciones de sales orgánicas e inorgánicas pesadas	Tratamiento con Ca(OH)_2	180	5.60 *	100%
	Tratamiento con HCl y H_2SO_4	55	2.30*	100%
Metales, compuestos	Tratamiento con HCl	45	1.95 **	100%

inorgánicos sólidos y sales insolubles en agua	Tratamiento con H_2SO_4	50	2.05 **	100%
Ácidos orgánicos e inorgánicos solubles en agua	Neutralización con NaOH	35	1.98 *	100%
	Neutralización con $Ca(OH)_2$	57	0.75 *	95%
Bases orgánicas e inorgánicas solubles en agua	Neutralización con HCl	25	1.20 *	100%
	Neutralización con H_2SO_4	32	1.25 *	100%
Halógenos	Tratamiento con $NaHCO_3$ y $Ca(OH)_2$	50	1.08 *	95%
	Tratamiento con Tiosulfato de sodio	10	2.15 *	100%
Metales alcalinos y alcalinotérreos	Tratamiento con etanol	20	2.95 **	100%
	Tratamiento con alcohol n-butílico	98	1.96 **	100%
	Tratamiento con alcohol tert-amílico	180	3.50 **	100%

* Costo por cada 100 g de solución acuosa del residuo respectivo

** Costo por cada 10 g de residuo respectivo

5.4 Métodos de eliminación de residuos químicos a implementarse en la Escuela de Ingeniería Química

Tabla XXIV. Métodos de eliminación de residuos químicos a implementar en los laboratorios de la Escuela de Ingeniería Química

Tipo de residuo	Método de eliminación más efectivo y eficiente
Solventes orgánicos con halógeno	Incineración con arena
Solventes orgánicos sin halógeno	Incineración con arena
Sólidos orgánicos	Incineración con arena
Soluciones de sales orgánicas e inorgánicas no pesadas	Neutralización con HCl o NaOH
Soluciones de sales orgánicas e inorgánicas pesadas	Tratamiento con HCl y H ₂ SO ₄
Metales, compuestos inorgánicos sólidos y sales insolubles en agua	Tratamiento con HCl
Ácidos orgánicos e inorgánicos solubles en agua	Neutralización con NaOH
Bases orgánicas e inorgánicas solubles en agua	Neutralización con HCl
Halógenos	Tratamiento con tiosulfato de sodio
Metales alcalinos y alcalinotérreos	Tratamiento con etanol

6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Las tablas de la X a la XIX muestran las cantidades de residuos que se generan de cada reactivo utilizado en los laboratorios de la Escuela de Ingeniería Química. La tabla XX muestra de forma más general los residuos que se generan por grupo de desecho químico. Como se observa se desechan en mayor cantidad solventes orgánicos no halogenados, sales no pesadas, sales pesadas y ácidos orgánicos e inorgánicos; y en menor cantidad metales y halógenos. Esto es debido a las actividades que allí se realizan son de tipo docente, por lo que se utilizan más solventes orgánicos y soluciones de compuestos iónicos.

La tabla XXI muestra los grados de peligrosidad de cada tipo de residuo químico, las cuales hay que tomar en cuenta durante el almacenaje, manipulación y eliminación de dichos residuos. En la tabla se puede observar que los residuos que más peligrosidad presentan son los solventes orgánicos halogenados, los ácidos, las bases y los metales alcalinos y alcalinotérreos; debido a su alta toxicidad, reactividad y efectos cancerígenos; por lo que al momento de manipularlos y eliminarlos se debe tener mucha precaución, utilizando equipo de protección y materiales que se describen el inciso 7.1 de este documento. Esta tabla también muestra que las soluciones acuosas de sales no pesadas presentan poca peligrosidad, por lo que pueden manipularse fácilmente.

Todos los residuos recolectados se almacenaron en los recipientes adecuados, de acuerdo con el inciso 2.1 de este documento y con las precauciones necesarias, según el inciso 2.5, por lo que no hubo ningún accidente u otro peligro durante los ensayos de almacenamiento y eliminación.

La tabla XXIII muestra los resultados de los métodos ensayados para la eliminación de residuos químicos. Como se observa, se determinó el tiempo, el costo y el porcentaje de eliminación por cada 100 gramos de residuo. Los parámetros que se tomaron en cuenta para determinar qué método se debía implementar en los laboratorios de la Escuela de Ingeniería Química fue básicamente el porcentaje de eliminación y el tiempo promedio de eliminación, puesto que los costos son bastante similares entre método y método. En algunos métodos donde los reactivos son muy caros se descartaron y por lo general este tipo de métodos no fue eficiente, como se observa en la tabla XXIII. Del análisis de la tabla XXIV se puede concluir entonces que los métodos que se implementarán en los laboratorios para cada grupo de residuo químico, por ser más eficientes, se llevan a cabo rápidamente y presentan un costo razonable.

De la tabla XXIII se puede observar también que la suma del costo para los métodos que se implementarán es de Q 15.73 por cada 1000 gramos totales de residuos químicos. Por ejemplo, si en un laboratorio se desechan unos 30 kg (30,000 g) de residuos por semestre, se gastaría aproximadamente Q 472.00 en tratar los residuos. Esto es sin incluir la cristalería, puesto que se supone que los laboratorios tienen la cristalería necesaria para este fin. Los apéndices 3 y 4 muestran cotizaciones de cristalería y reactivos químicos para llevar a cabo los métodos de eliminación de residuos químicos aquí analizados, el cual se puede agregar al costo de tratamiento de los residuos.

La eliminación de los compuestos orgánicos por incineración se llevó a cabo en bandejas metálicas y al aire libre. Los resultados fueron satisfactorios, pero serían aún más eficientes si se utilizara un horno incinerador de compuestos orgánicos, pues la combustión es más completa y se controlan los gases de combustión al medio ambiente. En el anexo 4 de este documento se muestra un diseño de horno incinerador para una capacidad de aproximadamente 60 litros de compuestos orgánicos, el cual puede ser construido en un lugar al aire libre, fuera del laboratorio.

La cotización del material de construcción el horno incinerador de compuestos orgánicos se puede observar en el apéndice 5 de este documento.

En el capítulo 7 se describirán con detalle cada uno de los métodos para eliminación de desechos químicos a implementar en los laboratorios, que se muestran en la tabla XXIV. Allí se darán otras especificaciones y recomendaciones, así como material y equipo para que se lleven a cabo.

7. MÉTODOS DE TRATAMIENTO Y ELIMINACIÓN DE LOS RESIDUOS QUÍMICOS A IMPLEMENTAR EN LA ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

Los métodos a implementar en los laboratorios de la Escuela de Ingeniería Química, analizados en el capítulo 6, se caracterizaron por los siguientes parámetros.

- a. Tiempo relativamente corto de eliminación.
- b. No implican un alto costo de reactivos y materiales.
- c. Son eficientes, es decir, que cumplen con el objetivo de convertir la mayor parte del residuo químico en una sustancia que se pueda eliminar sin peligro alguno para la salud humana y el medio ambiente.

Estos métodos, aunque ya se describieron, conllevan otras características, precauciones y observaciones que hay que tomar en cuenta. Por tal razón en este capítulo se analizarán con detalle, describiendo varios pasos anteriores y posteriores a la eliminación en sí, para que el método funcione satisfactoriamente y sin peligro alguno.

Un punto importante de resaltar en la eliminación de los residuos químicos es determinar el tiempo que se pueden almacenarse los residuos antes de ser eliminados, pues una variedad de químicos pueden formar compuestos peroxidados altamente explosivos como impurezas al exponerse al aire durante un determinado período de tiempo. Este problema ocurre mayoritariamente en éteres, pero también ocurre en una variedad de otros compuestos orgánicos como también en algunos metales alcalinos y amidas.

Un número de explosiones severas de laboratorios han ocurrido como resultado del manejo de recipientes antiguos de dietil éter y diisopropil éter. Para evitar esto se deben eliminar los residuos químicos peroxidables en un determinado tiempo, como se verá a continuación en la descripción de los métodos de eliminación de los residuos químicos.

Para la eliminación de compuestos orgánicos se ha propuesto el diseño de un horno incinerador que debe estar situado al aire libre lejos de las instalaciones de cualquier facultad de la Universidad. Las medidas y modelo de dicho horno se muestran en el apéndice 6, y la cotización de materiales y construcción se muestra en el apéndice 5 .

Hay que recordar que no se debe desechar al vertedero habitual de basuras, papeles de filtro, trapos, aserrín u otras materias impregnadas de productos químicos, sin haber efectuado previamente una destrucción o neutralización de los mismos. De cada uno de los grupos de productos cuya desactivación se describe, se indican algunos productos tipo para facilitar la adopción del método apropiado así como las incompatibilidades químicas más sobresalientes de cada uno de ellos.

7.1 Métodos de tratamiento y eliminación para cada tipo de residuo químico

7.1.1 Solventes orgánicos con halógeno (grupo A)

- Definición: todos aquellos solventes orgánicos puros (no soluciones acuosas) que tengan un grupo halógeno, tal como flúor, cloro, bromo o yodo.
- Compuestos tipo: cloroformo, diclorometano, tetracloruro de carbono, bromuro de etilo etc.
- Tiempo de almacenaje: máximo de seis meses, algunos de estos compuestos pueden ser moderadamente peroxidables.

- Ropa y equipo de protección personal: guantes de protección, protector facial, bata de laboratorio. Máscara con filtro para todos los usos.
- Equipo y material: bandeja de aluminio de 1x 0.7 m, varilla de hierro de 1m, horno incinerador (ver apéndice 6)
- Eliminación: se vierten los residuos en una bandeja metálica con arena, tratando que ésta no se sobrecaliente, luego debe incinerarse al aire libre o en el horno incinerador de compuestos orgánicos (ver apéndice 6).
- Derrames y salpicaduras: primero se deben eliminar las fuentes de ignición y los productos inflamables. Adsorber el líquido derramado sobre papel mayordomo, evaporar dentro de una bandeja de hierro en una campana y quemar el papel. Lavar el lugar de la salpicadura con agua jabonosa.
- Observaciones e incompatibilidades: la arena se puede mezclar antes con los residuos de sólidos orgánicos para una mejor combustión. No mezclar con compuestos orgánicos no halogenados ni con bases, pues se pueden dar reacciones violentas.

7.1.2 Solventes orgánicos no halogenados (grupo B)

- Definición: todos aquellos solventes orgánicos puros inflamables (no soluciones acuosas) que no tengan un grupo halógeno, tal como flúor, cloro, bromo o yodo.
- Compuestos tipo: alcoholes, tolueno, benceno, acetona, xileno, ciclohexano, hexano, acetato de etilo, metil isobutil cetona etc.
- Tiempo de almacenaje: máximo de seis meses, algunos de estos compuestos tal como el ciclohexano y la metil isobutil cetona son moderadamente peroxidables.
- Ropa y equipo de protección personal: guantes de protección, protector facial, bata de laboratorio. Máscara con filtro para todos los usos.
- Equipo y material: bandeja de aluminio de 1x 0.7 m, varilla de hierro de 1m, horno incinerador (ver apéndice 6)

- **Eliminación:** se vierten los residuos en una bandeja metálica con arena, tratando que ésta no se sobrecaliente, luego debe incinerarse en el horno incinerador de compuestos orgánicos (ver apéndice 6).
- **Derrames y salpicaduras:** primero se deben eliminar las fuentes de ignición y los productos inflamables. Adsorber el líquido derramado sobre papel mayordomo, evaporar dentro de una bandeja de hierro en una campana y quemar el papel.
- **Observaciones e incompatibilidades:** la arena se puede mezclar antes con los residuos de sólidos orgánicos (grupo C) para una mejor combustión. No mezclar con solventes orgánicos halogenados, pues se pueden dar reacciones violentas. Las soluciones acuosas de estos solventes no deben mezclarse en este grupo, se les debe medir el pH y tratarlos como ácidos o bases. Los aldehídos se deben tratar por un método distinto, pues son oxidantes muy fuertes (ver sección 1.3.2).

7.1.3 Sólidos orgánicos (grupo C)

- **Definición:** todos los compuestos orgánicos en estado sólido a la temperatura ambiente del laboratorio (20°C a 30°C) , ya sea que tengan grupos halógeno o que no los tengan.
- **Compuestos tipo:** naftaleno, fenol, difenilamina, celulosa, sacarosa, nitrocelulosa, ácido benzoico, ácido tartárico etc.
- **Tiempo de almacenaje:** máximo de seis meses.
- **Ropa y equipo de protección personal:** guantes de protección, protector facial, bata de laboratorio. Máscara con filtro para todos los usos.
- **Equipo y material:** bandeja de aluminio de 1 x 0.7 m, varilla de hierro de 1m, horno incinerador (ver apéndice 6).
- **Eliminación:** se pulverizan los residuos y se mezclan con arena, se le agrega un poco de líquido del grupo B y se incinera la bandeja de aluminio en el horno incinerador.

- Derrames y salpicaduras: se debe mezclar el sólido con arena y recoger sobre papel e incinerarlo bajo campana o en horno incinerador.
- Observaciones e incompatibilidades: en caso que el sólido orgánico sea un nitrocompuesto (nitrobenzeno, nitrofenol, etc), debe almacenarse en un contenedor diferente e incinerarse con arena lo más inmediato posible.

7.1.4 Soluciones acuosas de sales inorgánicas y orgánicas no pesadas (grupo D)

- Definición: soluciones acuosas de productos orgánicos e inorgánicos de metales no pesados, tal como sodio, potasio, etc.
- Compuestos tipo: cloruro de sodio, sulfato de sodio, nitrato de potasio, cloruro de potasio etc.
- Tiempo de almacenaje: máximo de un año, siempre y cuando se mantengan bien tapados los contenedores.
- Ropa y equipo de protección personal: guantes de protección, lentes de seguridad, bata de laboratorio.
- Equipo y material: contenedor de polietileno de alta densidad o un *beacker* grande (2000 mL), varilla de hierro, papel pH.
- Eliminación: se mide el pH del volumen total del residuo recolectado y si el pH es ácido se neutraliza con escamas de NaOH hasta que el pH sea 7; y si el pH es básico se neutraliza con unas gotas de HCl, hasta que el pH es 7, luego se descarga en el drenaje. Si el pH resultante del residuo es de 6.5 a 7.5 se descarga directamente al drenaje.
- Derrames y salpicaduras: cubrir la superficie contaminada con bicarbonato sódico o una mezcla de carbonato sódico y cal apagada (50-50). Mezclar y adicionar agua si fuere necesario para formar una suspensión. Recoger la suspensión y verter por el drenaje con exceso de agua. Lavando el lugar del derrame con disolución bicarbonato de sodio al 20%.

- Observaciones e incompatibilidades: en caso de residuos de sales parcialmente solubles en agua se debe filtrar la solución y mezclar las aguas madres a este grupo y el sólido debe secarse y tratarse como un sólido insoluble en agua (grupo F). Los cloritos, persulfatos y permanganatos se deben tratar por otro método pues son oxidantes muy fuertes (ver sección 1.3.2).

7.1.5 Soluciones acuosas de sales inorgánicas y orgánicas pesadas (grupo E)

- Definición: soluciones acuosas de productos orgánicos e inorgánicos de metales pesados, tal como plomo, hierro, calcio, magnesio, plata, cromo, zinc etc.
- Compuestos tipo: sulfato de hierro, cloruro de zinc, cloruro de hierro, acetato de plomo etc.
- Tiempo de almacenaje: máximo de un año, siempre y cuando se mantengan bien tapados los contenedores.
- Ropa y equipo de protección personal: guantes de protección, lentes de seguridad, bata de laboratorio.
- Equipo y material: contenedor de polietileno de alta densidad o un *beacker* grande (2000 mL), varilla de hierro, papel pH, pipeta, llenador de pipeta.
- Eliminación: las soluciones de estos productos se transforman en sales insolubles, disolviendo en ácido clorhídrico 3M. Luego la solución se diluye y satura con unos 5 ml de ácido sulfúrico grado reactivo en una campana de laboratorio. El precipitado de sulfuro se lava y se coloca en una bandeja plástica o de Duralita y se deja secar al sol, el sólido seco, después se funde dentro de un cuadro de concreto, el cual puede ser enterrado en un sitio destinado para este fin; o también, puede elaborarse de un grueso suficiente para usarse como un adoquín de patio.

- Derrames y salpicaduras: cubrir la superficie contaminada con bicarbonato sódico. Mezclar y adicionar agua si fuere necesario para formar una suspensión. Recoger la suspensión y verter por el desagüe con exceso de agua. Lavando el lugar del derrame con disolución bicarbonato de sodio al 20%.
- Observaciones e incompatibilidades: ninguna.

7.1.6 Metales, compuestos inorgánicos sólidos y sales insolubles en agua (Grupo F)

- Definición: residuos de metales inorgánicos sólidos, y sales insolubles inorgánicas y orgánicas insolubles en agua en estado sólido.
- Compuestos tipo: metales: zinc, hierro, cobre, estaño etc. Sales: carbonato de calcio, carbonato de magnesio, cloruro de calcio, sulfato de calcio etc.
- Tiempo de almacenaje: Máximo de un año, siempre y cuando se mantengan bien tapados los contenedores.
- Ropa y equipo de protección personal: guantes de protección, lentes de seguridad, bata de laboratorio, protector para la cara o mascarilla con filtro.
- Equipo y material: *beacker* de vidrio de 1000 mL, varilla de agitación, equipo para recuperación de H₂ en agua (*beackers*, codo de vidrio, pinzas), vidrio de reloj, papel parafinado papel pH, pipeta, llenador de pipeta, campana de laboratorio
- Eliminación: estos productos se transforman en sales insolubles disolviendo en unos 10 mL ácido clorhídrico grado reactivo por cada 40 g de residuo, esta operación se debe hacer con equipo para recuperar el H₂ que se desprende en agua, para que no se disperse en el medio ambiente. Luego diluir la solución con una cantidad moderada de agua y las sales de cloruro formadas se tratan como soluciones acuosas de metales pesados (grupo E).
- Derrames y salpicaduras: recoger el polvo o granos con una escobilla a un recipiente de vidrio adecuado.

- Observaciones e incompatibilidades: en caso que el metal sea plomo o mercurio o sus sales deben tratarse con un método específico para estos metales (ver sección 7.2). Si el metal es plata debe guardarse en un frasco separado y guardar para recuperar o purificar.

7.1.7 Ácidos orgánicos e inorgánicos solubles en agua

- Definición: corresponden a este grupo los ácidos (grupo funcional H^+) orgánicos e inorgánicos y sus soluciones acuosas concentradas o diluidas.
- Compuestos tipo: ácido clorhídrico, ácido sulfúrico, ácido nítrico, ácido fosfórico, ácido acético, ácido hipocloroso, etc.
- Tiempo de almacenaje: los residuos de ácidos deben neutralizarse inmediatamente con los residuos de bases existentes, y luego medir el pH, para ser tratada la mezcla como ácido o base respectivamente. Si no hay bases existentes se pueden almacenar hasta seis meses en los contenedores.
- Ropa y equipo de protección personal: guantes de protección, lentes de seguridad, bata de laboratorio, protector para la cara y mascarilla con filtro.
- Equipo y material: cubeta de polietileno de alta densidad (para grandes cantidades) o *beacker* de vidrio (para pequeñas cantidades), varilla de hierro, papel pH, espátulas.
- Eliminación: mezclar con los residuos de bases existentes, si el pH resultante es ácido se debe neutralizar la solución con escamas de NaOH hasta un pH igual a 7. La solución salina resultante se descarga en el drenaje.
- Derrames y salpicaduras: cubrir la superficie contaminada con bicarbonato sódico o una mezcla de carbonato sódico y cal apagada (50-50). Mezclar y adicionar agua si fuere necesario para formar una suspensión. Recoger la suspensión y verter por el desagüe con exceso de agua lavando el lugar del derrame con disolución al 20% de bicarbonato de sodio.

- Observaciones e incompatibilidades: cuando se mezclan los residuos de ácidos con bases se debe hacer muy lentamente, pues la reacción es exotérmica. En caso que los residuos de ácido o base estén muy concentrados, se debe diluir primero con agua en proporción 1:5 y luego neutralizar. Los residuos de ácidos perclórico, fórmico y oxálico deben recolectarse en envases separados y ser tratados por separados como ácidos, pues reaccionan violentamente con el ácido sulfúrico.

7.1.8 Bases orgánicas e inorgánicas solubles en agua

- Definición: corresponden a este grupo las bases (grupo funcional OH⁻) orgánicas e inorgánicas y sus soluciones acuosas concentradas o diluidas.
- Compuestos tipo: hidróxido de sodio, hidróxido de potasio, hidróxido de amonio, etóxido de sodio, aminas etc.
- Tiempo de almacenaje: los residuos de bases deben neutralizarse inmediatamente con los residuos de ácidos existentes, y luego medir el pH, para ser tratada la mezcla como ácido o base respectivamente. Si no hay ácidos existentes se pueden almacenar hasta seis meses en los contenedores.
- Ropa y equipo de protección personal: guantes de protección, lentes de seguridad, bata de laboratorio, protector para la cara y mascarilla con filtro.
- Equipo y material: cubeta de polietileno de alta densidad (para grandes cantidades) o *beacker* de vidrio (para pequeñas cantidades), varilla de hierro, papel pH, espátulas, pipeta, llenador de pipeta.
- Eliminación: mezclar con los residuos de ácidos existentes, si el pH resultante es básico se debe neutralizar la solución con HCl grado reactivo con una pipeta, hasta un pH igual a 7. La solución salina resultante se descarga en el drenaje.

- Derrames y salpicaduras: cubrir la superficie contaminada con bicarbonato sódico o una mezcla de carbonato sódico y cal apagada (50-50). Mezclar y adicionar agua si fuere necesario para formar una suspensión. Recoger la suspensión y verter por el desagüe con exceso de agua. Lavando el lugar del derrame con disolución al 20% de bicarbonato de sodio.
- Observaciones e incompatibilidades: cuando se mezclan los residuos de bases con ácidos se debe hacer muy lentamente, pues la reacción es exotérmica. En caso que los residuos de base o ácido estén muy concentrados, se debe diluir primero con agua en proporción 1:5 y luego neutralizar. Nunca mezclar los residuos de bases con derivados halogenados y metales en general, pues se producen reacciones violentas.

7.1.9 Halógenos

- Definición: todas aquellas soluciones acuosas de halógenos utilizadas en el laboratorio. Incluyen los halógenos en estado sólido.
- Compuestos tipo: soluciones acuosas de cloro, yodo y bromo. También incluye el yodo en forma sólida.
- Tiempo de almacenaje: hasta 3 meses, puesto que los halógenos pueden formar reacciones en cadena con la luz.
- Ropa y equipo de protección personal: guantes de protección, lentes de seguridad, bata de laboratorio, mascarilla con filtro.
- Equipo y material: frasco grande de vidrio (2 a 4 litros) o *beacker* de vidrio de unos 2000 mL , varilla de hierro, papel pH, espátulas, pipeta, llenador de pipeta.

- **Eliminación:** mezclar con precaución y en pequeñas dosis con tiosulfato de sodio sólido (NaHSO_3), después de lo cual y agitando simultáneamente se añade un poco de agua hasta que desaparezca el color púrpura-café característico de los halógenos, a un solución incolora. En caso necesario, la reacción se acelera agregando con cuidado ácido sulfúrico diluido (2%). La solución resultante se neutraliza con escamas de NaOH hasta un pH igual a 7, luego se diluye con agua y se elimina en las aguas residuales o por el drenaje.
- **Derrames y salpicaduras:** cubrir la superficie contaminada con tiosulfato de sodio. Mezclar y adicionar agua y verter por el desagüe con exceso de agua. Lavando el lugar del derrame con disolución al 20% de bicarbonato de sodio.
- **Observaciones e incompatibilidades:** en el caso que se tenga yodo en estado sólido, se debe mezclar con suficiente agua caliente y agitar para formar una solución acuosa y eliminar como se especificó en esta sección.

7.1.10 Metales alcalinos y alcalinotérreos

- **Definición:** los metales en forma pura de las columnas IA y IIA de la tabla periódica de los elementos, que reaccionan violentamente con el agua liberando hidrógeno inflamable.
- **Compuestos tipo:** sodio, potasio, litio, calcio y magnesio.
- **Tiempo de almacenaje:** deben eliminarse lo más inmediatamente posible. En caso sea imposible la eliminación inmediata se deben almacenar en frascos de vidrio o polietileno de alta densidad sumergidos en gasolina, hasta un tiempo máximo de 3 meses, pues pueden ser moderadamente peroxidables.
- **Ropa y equipo de protección personal:** guantes de hule, lentes de seguridad, bata de laboratorio, mascarilla con filtro.
- **Equipo y material:** *beacker* de vidrio de unos 500 mL , varilla de agitación, papel pH, pinzas, espátulas, pipeta, llenador de pipeta.

- **Eliminación:** se debe añadir cuidadosamente el metal (cortado en pequeñas piezas mientras está mojado con gasolina) sobre etanol frío (a unos 15°C) en el *beacker* de 500 mL, de manera que la reacción no sea violenta pero tampoco se detenga (toma apariencia viscosa). Cuando todo el metal haya sido añadido, agitar la mezcla hasta que la reacción termine, es decir, hasta que el metal desaparezca en la solución. Cuando se ha comprobado que todo el metal ha reaccionado, diluir la mezcla con agua, neutralizar con HCl 6 N o gotas de HCl grado reactivo hasta que la solución tenga un pH igual a 7 y verterla al drenaje con exceso de agua.
- **Derrames y salpicaduras:** cubrir el metal con abundante gasolina u otro hidrocarburo y tomarlo con una pinza para depositarlo en un frasco de vidrio que contenga gasolina para almacenarlo.
- **Observaciones e incompatibilidades:** todos los recipientes y equipos con que se ha de realizar este método debe estar exento de agua o humedad para evitar reacciones violetas. Se recomienda secar en una estufa el equipo y utensilios para llevar a cabo este método.

7.2 Tratamiento de residuos químicos especiales

Existen algunos residuos químicos en los laboratorios de la Escuela de Ingeniería Química que, aunque se pueden clasificar dentro de alguno de los grupos establecidos, no se pueden eliminar junto con los demás reactivos del grupo, pues son incompatibles con ellos, como se mencionaron casos especiales en el inciso anterior y como se describe en la sección 1.3.2 y en las tablas I y II de este documento; o son altamente reactivos o peligros.

Estos residuos químicos se deben tratar de forma diferente, como se describirá a continuación.

7.2.1 Éteres

- Definición: cualquiera de los éteres simples o sustituidos son muy inflamables y altamente peroxidables, formando reacciones muy violentas con el aire.
- Compuestos tipo: eter etílico, diisopropil éter, dioxano, furano tetrahidrofurano, etilenglicol éteres, etc.
- Tiempo de almacenaje: deben eliminarse lo más inmediatamente posible. En caso sea imposible, se deben almacenar en recipientes de aluminio o polietileno de alta densidad, hasta un tiempo máximo de 3 meses, debido a que son altamente peroxidables.
- Ropa y equipo de protección personal: guantes de hule, lentes de seguridad, bata de laboratorio, mascarilla con filtro, protector para la cara.
- Equipo y material: *beacker* de vidrio de 100 mL , varilla de agitación, espátulas, pipeta, llenador de pipeta.
- Eliminación: evaporar en pequeñas dosis de residuo en el *beacker* de 100 mL bajo campana de laboratorio, añadiendo aproximadamente 1% de sulfato de hierro II 7-hidrato, evitando la formación de mezclas combustibles vapor/aire y manteniéndolos alejados de cualquier fuente iniciadora de incendio.
- Derrames y salpicaduras: adsorber sobre el papel mayordomo o adsorbente, evaporar dentro de una bandeja de metal en una campana y quemar el papel.
- Observaciones e incompatibilidades: evitar mezclas con compuestos oxidantes. Evitar fuentes de calor o zonas calientes.

7.2.2 Cianuros y mercaptanos

- Definición: los cianuros y mercaptanos se oxidan rápidamente, produciendo reacciones violentas con el aire.
- Compuestos tipo: cianuros varios, mercaptobenzotiazol

- Tiempo de almacenaje: deben eliminarse lo más inmediatamente posible. En caso sea imposible, se deben almacenar en frascos de vidrio de color ámbar, hasta un tiempo máximo de 3 meses
- Ropa y equipo de protección personal: guantes de hule, lentes de seguridad, bata de laboratorio, mascarilla con filtro.
- Equipo y material: 2 balones de 50 ml, *beacker* de vidrio de 100 mL, varilla de agitación, espátulas, pipeta, llenador de pipeta, papel pH.
- Eliminación: mezclar bien con una solución de hidróxido de sodio e hipoclorito de sodio al 10%, agitando de vez en cuando. Dejar en contacto 24 horas como mínimo. Diluir con agua, medir el pH y neutralizar si es necesario, eliminar por el drenaje.
- Derrames y salpicaduras: eliminar todas las fuentes de ignición. Cubrir con disolución acuosa de hipoclorito cálcico (se puede emplear también cloro comercial: hipoclorito sódico, 5%) y mezclar. Verter en un vaso de precipitados grande. Después de 12 horas, neutralizar (con HCl 6M o NH₄OH 6M cuando fuere necesario). Verter al drenaje con exceso de agua. Lavar el lugar del vertido con disolución concentrada de jabón a la que se ha adicionado una pequeña cantidad de hipoclorito.
- Observaciones e incompatibilidades: evitar mezclas con compuestos oxidantes fuertes y ácidos.

7.2.3 Aldehídos, peróxidos y algunos compuestos oxidantes fuertes

- Definición: los aldehídos y oxidantes fuertes deben tratarse por separado, pues producen reacciones muy fuertes con la mayoría de los compuestos.
- Compuestos tipo: acetaldehído, formaldehído, benzaldehído, cloritos, peróxidos, permanganatos, persulfatos, etc.

- Tiempo de almacenaje: deben eliminarse lo más inmediatamente posible. En caso sea imposible, se deben almacenar en frascos de vidrio de color ámbar, hasta un tiempo máximo de 3 meses.
- Ropa y equipo de protección personal: guantes de caucho, protección facial, bata de laboratorio, protección corporal para los agentes más activos. Sustitución de la protección facial por aparatos respiratorios autosuficientes para agentes tales como el cloro y el bromo.
- Equipo y material: *beacker* de vidrio de 500 mL, varilla de agitación, espátulas, pipeta, llenador de pipeta, papel pH.
- Eliminación: mezclar con precaución y en pequeñas dosis con sulfito de sodio sólido 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 (5%). La solución resultante se neutraliza con escamas de NaOH, se diluye con agua y se elimina por el drenaje.
- Derrames y salpicaduras: cubrir con tiosulfato de sodio (NaHSO_3), adicionar una pequeña cantidad de agua y mezclar. Colocarlo en un vaso de precipitados grande y después de una hora verter en el drenaje con exceso de agua. Lavar el lugar de la salpicadura con agua jabonosa.
- Observaciones e incompatibilidades: evitar mezclas con sustancias reductoras, materias primas orgánicas como madera o papel.

7.2.4 Mercurio y compuestos de mercurio

- Definición: el mercurio y sus sales reaccionan fuertemente con algunos metales y se adsorbe fácilmente en la piel.
- Compuestos tipo: mercurio metal y sales de mercurio.
- Tiempo de almacenaje: debe almacenarse en frascos de vidrio color ámbar por tiempo indefinido.

- Ropa y equipo de protección personal: guantes de hule, lentes de seguridad, bata de laboratorio, mascarilla con filtro.
- Equipo y material: *beacker* de vidrio de 500 mL, varilla de agitación, espátulas, pipeta, llenador de pipeta, papel pH.
- Eliminación: mezclar con precaución y en pequeñas dosis con sulfito de sodio sólido 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 (5%). La solución resultante se neutraliza con escamas de NaOH, se diluye con agua y se elimina por el drenaje.
- Derrames y salpicaduras: recoger todas las gotitas y lagunas mediante un tubo capilar largo. Cubrir las gotitas muy finas en grietas inaccesibles con polisulfuro cálcico y exceso de azufre. Reunir todo el mercurio en una botella que cierre herméticamente. Guardarlo para purificación o venta.
- Observaciones e incompatibilidades: evitar contacto de mercurio y sus sales con oro, plata, cobre, acetilenos y gases amoniacales.

7.2.5 Nitrocompuestos

- Definición: los nitrocompuestos son anillos aromáticos sustituidos generalmente explosivos, por lo que deben tratarse por separado.
- Compuestos tipo: nitrobenzeno, ácido pícrico (2,4,6 trinitrofenol), nitrofenol, nitroanilina, nitrometano.
- Tiempo de almacenaje: deben eliminarse lo más inmediatamente posible. En caso sea imposible, se deben almacenar en frascos de vidrio de color ámbar, herméticamente sellados, hasta un tiempo máximo de 2 meses.
- Ropa y equipo de protección personal: guantes de hule, bata de laboratorio plástica y aparatos respiratorios autosuficientes como mascarilla con filtro.

- Equipo y material: bandeja de aluminio de 1 x 0.7 m, varilla de hierro, arena, campana de laboratorio, papel adsorbente, papel nitro.
- Eliminación: se mezclan bien los productos sólidos con arena y luego proceder a incinerar con precaución en pequeñas dosis en una campana de laboratorio. También se puede optar por un horno incinerador. Si se trata de productos líquidos o soluciones, se absorben con papel nitro y luego se incinera en la campana del laboratorio.
- Derrames y salpicaduras: absorber el líquido sobre toallas de papel y las partículas sólidas barrerlas sobre papel. Colocarlos sobre una bandeja de metal y dejar que se evapore en la campana del laboratorio. Adicionar papel arrugado y quemarlo. Lavar el lugar del vertido con disolución concentrada de jabón
- Observaciones e incompatibilidades: no mezclar con ácidos fuertes, álcalis, aminas, oxidantes fuertes y materias combustibles.

CONCLUSIONES

2. En los laboratorios de la Escuela de Ingeniería Química se desechan en mayor cantidad solventes orgánicos no halogenados, sales no pesadas, y ácidos orgánicos e inorgánicos y en menor cantidad metales y halógenos.
3. Los residuos químicos de los laboratorios de la Escuela de Ingeniería Química que más peligrosidad presentan son los solventes orgánicos halogenados, los ácidos, las bases y los metales alcalinos; por su alta toxicidad, reactividad y efectos cancerígenos, deben ser almacenados, manipulados y eliminados con mucha precaución.
4. Todos los desechos generados por los laboratorios de la Escuela de Ingeniería Química se pueden clasificar en diez grupos determinados, para los cuales existen recipientes adecuados para almacenarlos, y se usa un método eficiente para la eliminación de cada uno de ellos.
5. Los métodos de eliminación que se pretenden implementar en los laboratorios de la Escuela de Ingeniería Química, justificados con este documento, se pueden hacer en un tiempo relativamente corto, a un costo moderado de reactivos y materiales y cumplen con el objetivo de convertir la mayor parte del residuo químico en una sustancia que se pueda eliminar sin peligro alguno para la salud humana y el medio ambiente.

RECOMENDACIONES

1. Para la incineración de compuestos orgánicos se debe usar un horno para ese fin, que tenga una campana extractora de gases de combustión, para no contaminar el ambiente. El apéndice 6 muestra un diseño de horno incinerador con una capacidad de aproximadamente 60 litros de solventes orgánicos para incinerar. La cotización de materiales y mano de obra se muestra en el apéndice 5 de este documento.
2. Recuperar algunos compuestos valiosos, por ejemplo, sales de metales preciosos, se pueden recuperar los metales; o algunos otros reactivos de elevado costo. El anexo 3 muestra algunos métodos de recuperación para algunos reactivos valiosos usados en el laboratorio.
3. Tener en el laboratorio cristalería y reactivos que sean de uso exclusivo para los métodos de tratamiento, pues la eliminación de algunos residuos pueden manchar la cristalería. En los apéndices 3 y 4 se muestran las cotizaciones de reactivos, equipo y cristalería para este fin.
4. Utilizar durante el proceso de eliminación de residuos químicos el equipo de seguridad tal como batas, guantes y lentes de seguridad.
5. Evitar desechar al vertedero habitual de basuras, papeles de filtro, trapos, aserrín u otras materias impregnadas de productos químicos, sin haber efectuado previamente una destrucción o neutralización de los mismos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1

G. Tchobanoglous, G. Theisen. **Gestión integral de residuos sólidos.** (México: Editorial McGraw-Hill, 1994) p. 122.

2

Dante Bernabei. **Seguridad, manual para el laboratorio.** (Almenania: Editorial Merck, 1994) p. 173

3

Ibid., p. 175

4

Loc. Cit.

5

Manejo de residuos peligrosos

<http://www.cccb.ulpgc.es/externos/gesres/RP1.htm#intro>

6

Loc. Cit

7

Hedí Metcalf. **Ingeniería de aguas residuales, tratamiento, vertido y reutilización.**

(México: Editorial McGraw-Hill, 1994) pp. 134-135.

8

Loc. Cit

9

Dante Bernabei, Op. Cit. p. 176

10

G. Lunn; E. Sansone. ***The use of reductive and oxidative methods to degrade hazardous waste en academic laboratories.*** (E.E.U.U: Lewis Publishers, 1990) pp. 131-142

11

Ibid., p. 133

12

Ibid., p. 137

13

Eliminación de residuos de laboratorio.

www.lauca.usach.cl/ima/buenambiente/REALINVENT6.htm

14

G. Lunn; E. Sansone, Op. Cit. p. 139

15

Residuos de laboratorio. www.compuhesca.com

16

G. Lunn; E. Sansone, Op. Cit. p. 140

17

Ibid., p. 141

18

G. Tchobanoglous, G. Theisen, Op. Cit. p. 128

19

Loc. Cit

20

G. Lunn; E. Sansone, Op. Cit. p. 141

21

Loc. Cit

22

Michael Lagraga. **Gestión de residuos tóxicos, tratamiento, eliminación y recuperación de suelos.** (México: Editorial McGraw-Hill, 1996). p. 185

23

N. de Castro Acuña, “Gestión actual de residuos sanitarios en España”, **Revista Residuos** (49): 21. 1999

24

G. Tchobanoglous, G. Theisen, Op. Cit. p. 130

25

Ibid., p. 131

BIBLIOGRAFÍA

1. Bernabei, Dante. **Seguridad, manual para el laboratorio.** Editorial Merck, Alemania 1994. 233 pp.
2. Kiely, Gerard., **Ingeniería ambiental.** Editorial McGraw-Hill, México 1999. 542 pp.
3. Lagraga, Michael D. **Gestión de residuos tóxicos. Tratamiento, eliminación y recuperación de suelos.** Editorial McGraw-Hill, México 1996. 302 pp.
4. Levin, Morris. Gealth, Michael A. **Biotratamiento de residuos tóxicos y peligrosos.** Ed. McGraw-Hill. 1997. 224 pp.
5. Lund, Herbert F. **Manual McGraw-Hill de reciclaje.** Editorial McGraw Hill, México 1996. 380 pp.
6. Lunn, G; E. Sansone. *The use of reductive and oxidative methods to degrade hazardous waste en academic laboratories.* Lewis Publishers, E.E.U.U 1990. 432 pp.
7. Metcalf, Eddy. **Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización.** Editorial McGraw-Hill, México 1995. 196 pp.
8. Tchobanoglous, G. Theisen, H. Vigil, S. **Gestión integral de residuos sólidos.** Editorial McGraw-Hill, México 1994. 474 pp.

APÉNDICE 3

Tabla XXV. Cotización de materiales y cristalería para métodos de eliminación

Cantidad	Material o equipo	Presentación	Costo por unidad (Q)	Costo total (Q)	Lugar de compra
2	Frascos Chemizorb granulado	Frasco 100 g	198.00	396.00	MERCK
4	Metros cúbicos de arena de río	Metro cúbico	106.00	424.00	Ferretería ARENAL
3	Cajas de varillas de pH universales de 0-14	100 unidades cada caja	91.40	274.20	MERK
2	Juego de 4 recipientes HDPE (polietileno de alta densidad) cuello ancho	30 litros cada recipiente	366.12	732.24	Lacoplast
10	Varillas de agitación		8.00	80.00	KRON
5	Balones aforados de 50 mL		61.00	305.00	KRON
5	Balones aforados de 100 mL		70.00	350.00	KRON
2	Balón aforado de 500 mL		123.00	246.00	KRON
5	<i>Beackers</i> 100 mL		16.50	82.50	KRON
5	<i>Beackers</i> 600 mL		19.50	97.50	KRON
2	<i>Beackers</i> 1000 mL		38.00	76.00	KRON
2	<i>Beackers</i> 2000 mL		54.75	109.50	KRON
4	Vidrios de reloj		6.75	27.00	KRON
5	Pinzas para crisol		132.25	661.25	KRON
5	Pipetas serológicas de 10 ml		15.25	76.25	KRON
2	Llenadores de pipeta		62.00	124.00	KRON
1	Caja de papel nitro		114.13	114.13	
3	Espátulas		38.00	114.00	KRON
2	Galones de gasolina		15.95	31.90	SHELL

APÉNDICE 4

Tabla XXVI. Cotización de reactivos químicos para llevar a cabo los métodos de eliminación

Cantidad	Reactivo	Presentación	Costo unidad (Q)	Costo total (Q)	Lugar de compra
1	Hidróxido de sodio	Frasco 500 g	198.00	198.00	MERCK
2	Ácido clorhídrico	Frasco 2.5 litros	179.60	359.20	MERCK
2	Ácido sulfúrico	Frasco 2.5 litros	259.70	519.40	MERCK
1	Etanol	Frasco 2.5 litros	264.85	529.70	MERCK
6	Bicarbonato de sodio	Bolsa de 1 libra	03.00	18.00	Farmacia USAC
1	Cal hidratada	Saco de 25 Kg	19.15	19.15	Distribuidora ARENAL
1	Tiosulfato de sodio	Frasco 100 gramos	308.90	308.90	MERCK
1	Sulfato de hierro heptahidratado	Frasco 50 g	209.00	209.00	MERCK
1	Cloro comercial (Hipoclorito sódico al 5%)	1 galón	51.00	51.00	

APÉNDICE 5

Tabla XXVII. Cotización de materiales y construcción del horno incinerador

Material o servicio	Cantidad	Unidad	Precio por unidad (Q)	Precio total	Lugar de compra
Block	100	unidad	2.15	215.00	Ferretería ARENAL
Cemento	4	saco	34.15	136.6	Ferretería ARENAL
Cal	3	saco	19.15	57.45	Ferretería ARENAL
Arena de río	2	metros	106.00	212.00	Ferretería ARENAL
Campana de extracción de gases	1	unidad	250.00	250.00	Talleres Hojalatería Pérez *
Bandeja de aluminio de 100 X 70 cm	1	unidad	57.00	57.00	Talleres Hojalatería Pérez *
Mano de obra	1		750.00	750.00	

TOTAL = Q 1,678.05

* 11 Av. 27 – 79, zona 12 final, Anillo Periférico.

APÉNDICE 6

Figura 4. Vista frontal del horno incinerador de residuos de compuestos orgánicos

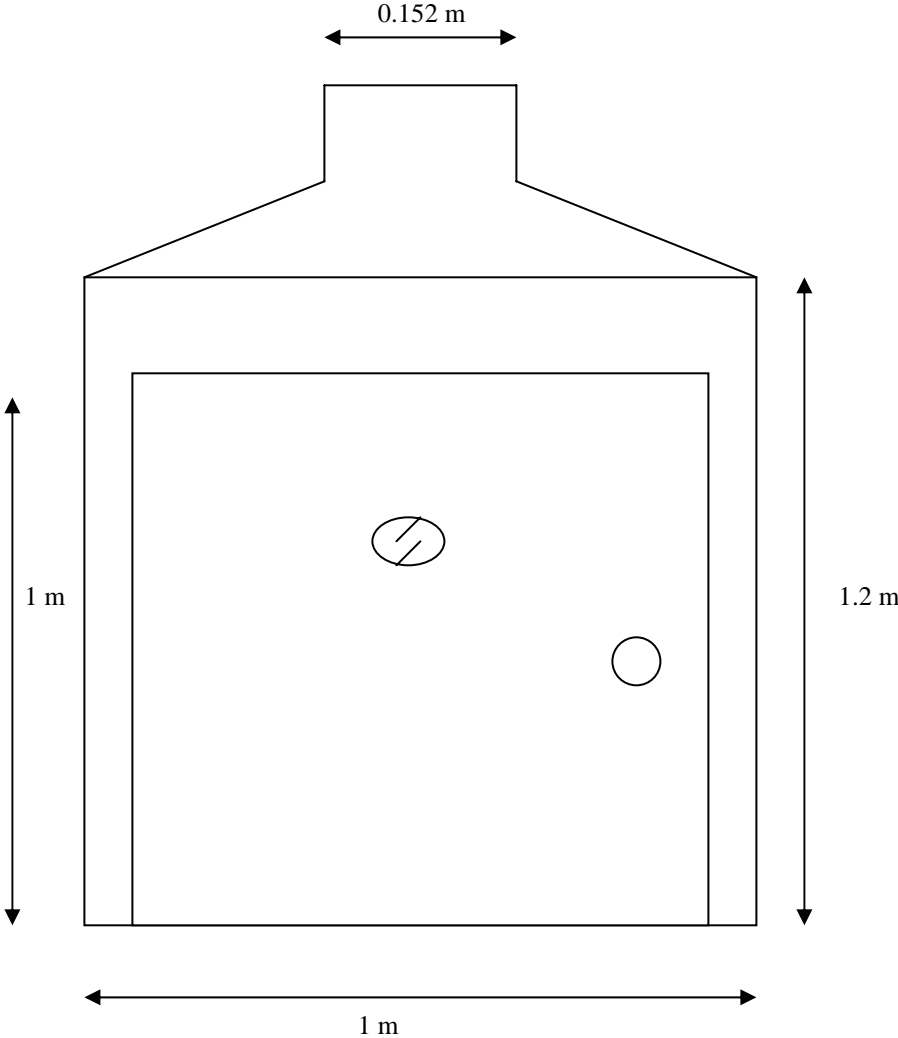


Figura 5. Vista isométrica del horno incinerador de residuos de compuestos orgánicos

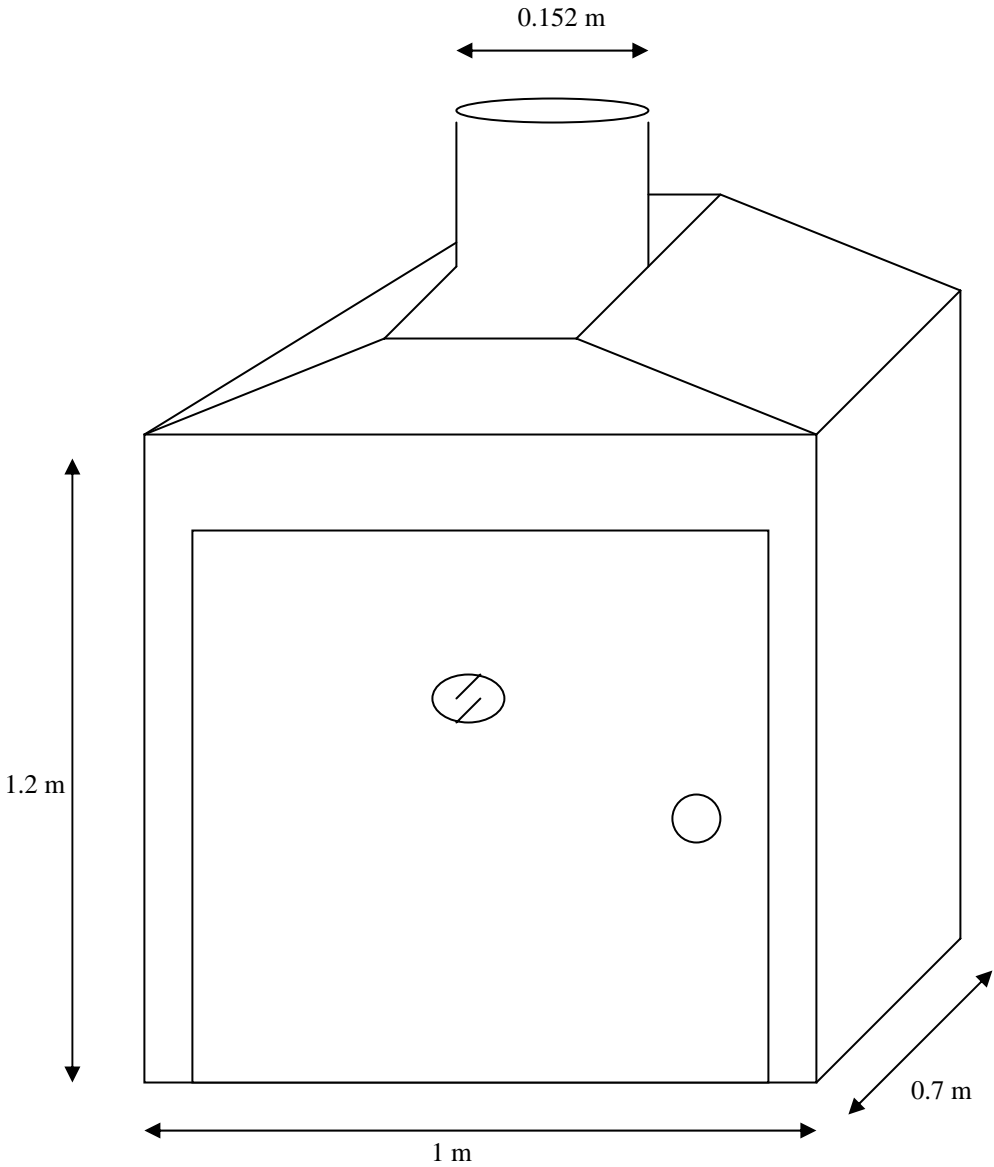
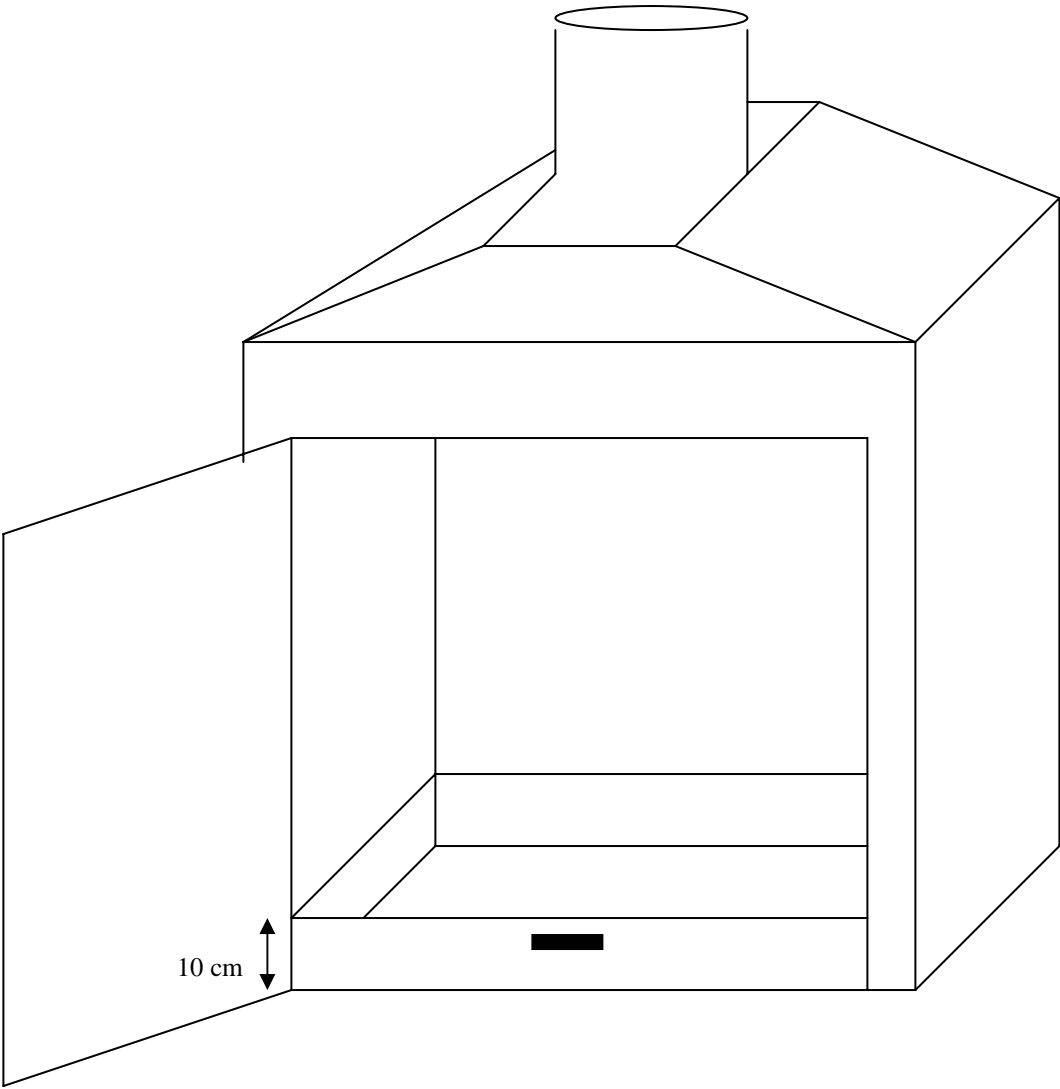


Figura 6. Detalle del interior del horno incinerador de residuos de compuestos orgánicos



ANEXOS

ANEXO 1

Figura 7. Pictogramas de peligrosidad

ANEXO 2

Legislación sobre almacenajes, clasificación, envasado y etiquetado de residuos químicos y sustancias peligrosas

Reales decretos

1. Ley 31/1995, de 8 de noviembre, sobre prevención de riesgos laborales.
2. R.D. 1830/1995 del 10 de noviembre por el que se aprueba la ITC-MIE-APQ-006: Almacenamiento de líquidos corrosivos.
3. R.D. 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el reglamento de los servicios de prevención.
4. R.D. 485/1997, de 14 de abril, sobre señalización de seguridad y salud en el trabajo.
5. R.D. 486/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud en el trabajo.
6. R.D. 487/1997, de 14 de abril, sobre manipulación de cargas.
7. R.D. 668/1980, del 8 de febrero, sobre almacenamiento de productos químicos.
8. R.D. 773/1997, de 30 de mayo, sobre equipos de protección individual.
9. Orden del 9 de marzo de 1982 por la que se aprueba la ITC-MIE-APQ-001: Almacenamiento de líquidos inflamables y combustibles.

Reales decretos y modificaciones instrucciones técnicas complementarias (I.T.C)

El Real Decreto 668/1980 del Ministerio de Industria y Energía, sobre Almacenamiento de Productos Químicos, publicado en el Boletín Oficial del Estado de 20/5/82, desarrolla las bases para las Instrucciones Técnicas Complementarias, publicadas con posterioridad. Hasta el presente se han dictado las siguientes Instrucciones Técnicas Complementarias (ITC):

- MIE - APQ - 001 Almacenamiento de líquidos inflamables y combustibles, BOE de 20/5/82 y correcciones posteriores.

- MIE - APQ - 002 Almacenamiento de oxido de etileno, BOE de 30/3/82 y corrección posterior.

- MIE - APQ - 003 Almacenamiento de cloro, BOE de 9/3/84 y correcciones posteriores.

- MIE - APQ - 004 Almacenamiento de amoniaco anhidro, BOE de 10/7/87 y diversas correcciones posteriores.

- MIE - APQ - 005 Almacenamiento de botellas y botellones de gases comprimidos, licuados y disueltos a presión, BOE de 14/8/92 y corrección posterior.

ANEXO 3

Recuperación de residuos químicos en el laboratorio según la Oficina de Gestión de Residuos de la U.L.G.P.G.C

1. **Desechos metálicos:** recuperar y almacenar (según costes).
2. **Mercurio metal:** aspirar, cubrir con polisulfuro cálcico y recuperar.
3. **Mercurio compuestos:** disolver y convertirlos en nitratos solubles. Precipitarlos como sulfuros. Recuperar.
4. **Arsénico, bismuto, antimonio:** disolver en HCl y diluir hasta aparición de un precipitado blanco (SbOCl y BiOCl). Añadir HCl 6M hasta redisolución. Saturar con sulfhídrico. Filtrar, lavar y secar.
5. **Selenio, telurio:** disolver en HCl. Adicionar sulfito sódico para producir SO₂ (reductor). Calentar. (Se forma selenio gris y telurio negro). Dejar en reposo 12 horas. Filtrar y secar.
6. **Plomo, cadmio:** añadir HNO₃ (se producen nitratos). Evaporar, añadir agua y saturar con H₂S. Filtrar y secar.
7. **Berilio:** disolver en HCl 6M, filtrar. Neutralizar (NH₄OH 6M). Filtrar y secar.
8. **Estroncio, bario:** disolver en HCl 6M, filtrar. Neutralizar (NH₄OH 6M). Precipitar (Na₂CO₃). Filtrar, lavar y secar.
9. **Vanadio:** añadir a Na₂CO₃ (capa) en una placa de evaporación. Añadir NH₄OH 6M (pulverizar). Añadir hielo (agitar). Reposar 12 horas. Filtrar (vanadato amónico) y secar.
10. **Disolventes halogenados:** Destilar y almacenar.