



Tratamiento y eliminación de residuos químicos en el trabajo diario del laboratorio

Introducción

¿Qué es un residuo?

Se define residuo en el *Acta de reciclado y Gestión de Residuos (KrW-/AbfG)* como aquellas mercancías móviles de las que sus dueños pretenden deshacerse o las que su eliminación de forma adecuada es imprescindible para salvaguardar el bienestar público y para proteger el medio ambiente.

¿Cómo se generan los residuos en un laboratorio?

El ciclo de la vida de un compuesto químico en una universidad comienza por el suministro de los compuestos necesarios obteniéndolos del almacén o de un compañero o un estudiante en los cursos de laboratorio. Los compuestos se emplean para síntesis o para análisis. Debido a la finalidad de la aplicación, se generan materiales iniciales contaminados, subproductos, disolventes usados, y productos químicos usados, que deben ser descompuestos o eliminados, si no es posible su reciclado. En contraste con los residuos industriales, los residuos químicos de los laboratorios universitarios suelen ser pequeñas cantidades de mezclas muy complejas. En conjunto representan una cantidad significativa de residuos que debe ser eliminada de la universidad a sus expensas.

La eliminación de los residuos de laboratorio, que puede ser diferente en diferentes lugares, de forma adecuada depende del tipo de experimentos llevados a cabo y de los productos químicos usados. Pero algunos tipos de residuos peligrosos producidos no pueden eliminarse en su forma original y deben ser acondicionados primero. Con ayuda de procesos adecuados estos residuos pueden detoxificarse en el lugar de formación. Una ventaja de la detoxificación es que se reduce también el riesgo de contaminación del personal sin experiencia al manejarlo, o de accidentes con dichos residuos y, por tanto, también se evitan riesgos de contaminación medioambiental.



Concepto de Gestión de Residuos:

Prevención, Reducción, y Eliminación de Residuos de Laboratorio

Lo mejor sería, desde luego, evitar la formación de residuos desde el mismo principio. Este es también el propósito primordial de la *Ley Alemana de Reciclado y Gestión de Residuos* (KrW-/AbfG) promulgada en 1996. (Nombre completo: *Ley para promover la gestión de reciclados y asegurar una eliminación de residuos compatible con el medio ambiente.*) Siguiendo estas reglamentaciones, cualquiera que desarrolle, produzca, trate y procese, o distribuya mercancías está obligado a **evitar los residuos**. Si es imposible evitarlos, **debe reducirse la cantidad de residuos** con medidas de recogida selectiva y de reciclado. Finalmente, una vez realizados todos estos esfuerzos, los restos de residuos remanentes deben ser **eliminados “sin riesgos”** para la salud y el medio ambiente.

La reutilización de los residuos de laboratorio puede llevarse a cabo, p.ej., para los productos químicos usados después de un proceso adecuado de reciclado. Por ejemplo, esto es aplicable principalmente en el caso de los disolventes usados. Los disolventes orgánicos como etanol, acetona, cloroformo, y dietil éter se recogen por separado en los laboratorios y se preparan mediante destilación.

Durante todas las operaciones (aquí: experimentos químicos) en los que se formen **grandes cantidades de residuos** debe comprobarse cuidadosamente si no es posible reducir la cantidad de residuos aplicando medidas adecuadas (p.ej., condiciones de reacción alternativas, reducción de la escala de volumen de los experimentos). Solamente en el caso de que no sea posible una mayor **reducción de la cantidad de residuos** con profilaxis y medidas de reciclado, debe llevarse a cabo una **eliminación de residuos** siguiendo las normativas.



Resíduos Peligrosos en el Laboratorio

Un grupo importante de residuos son los restos de productos químicos que se suelen clasificar como residuos peligrosos. Esta prohibido eliminar estas sustancias con los residuos municipales generales o por las alcantarillas.

Los tipos de residuos clasificados como residuos peligrosos deben recogerse por separado y ser entregados por el productor a las compañías de eliminación autorizadas. Los productores de residuos deben entregar también los datos adecuados sobre el tipo de residuo peligroso. Dependiendo del tipo de residuo, deben cumplirse ciertos valores límites para los componentes químicos y sus propiedades. Las sustancias que sólo se pueden eliminar con costes muy elevados deben evitarse y ser sustituidas por otras adecuadas, siempre que sea posible, que puedan ser eliminadas de forma más económica y de forma benigna para el medio ambiente.

Recolección de Residuos Peligrosos

Los residuos peligrosos se recogen en contenedores especiales siguiendo las regulaciones legales (p.ej., “Ordenanza sobre Sustancias Peligrosas”; y referirse también a: “Condiciones Legales para el Manejo de Sustancias Peligrosas” y “Guías Técnicas sobre Seguridad en los Cursos de Laboratorio de Química”). No deben mezclarse residuos de tipos diferentes. Deben emplearse diferentes contenedores especiales de residuos proporcionados por la universidad para su recolección. Estos contenedores deben devolverse al repository de residuos, donde no deben llenarse los contenedores por encima del 90% (para evitar derrames durante el transporte). Los contenedores deben estar serrados herméticamente y correctamente etiquetados. En caso contrario las compañías de eliminación no están autorizadas para aceptarlos. Los contenedores dañados, con fugas, o contaminados con sustancias peligrosas en su exterior tampoco pueden ser aceptados.



La regla general para el manejo de residuos peligrosos es evitar cualquier riesgo de poner en peligro al hombre y al medio ambiente durante el almacenamiento, transporte y eliminación de estos materiales.

Residuos acuosos generados en los Laboratorios

Los residuos acuosos de laboratorio son cualquier líquido que llegue al fregadero. En el caso ideal se trata solamente de agua. En la práctica diaria generalmente están formados por disoluciones acuosas que han sido neutralizadas previamente hasta un pH entre 6 y 8 y no contienen metales pesados.

Durante la eliminación de residuos acuosos deben respetarse unos límites dados generalmente por los estatutos municipales sobre aguas residuales. Debe cumplirse que **está prohibido diluir los residuos acuosos** para cumplir dichos límites. En las Tablas 1-3 se recogen los valores límites de los diferentes contaminantes de la Universidad Técnica de Braunschweig a modo de ejemplo de sus extremados resultados a la hora de aumentar las tasas de tratamiento de aguas. Si se doblan los valores permitidos se procesa judicialmente. Solamente se permite la descarga en las aguas residuales de aquellas sustancias que no se encuentran recogidas en las tablas siguientes y que no están catalogadas como sustancias peligrosas, si son benignas para el medio ambiente y para el funcionamiento de las plantas de tratamiento de aguas.

Parámetros básicos importantes para la calidad de las Aguas Residuales

- *Los valores de pH* de los residuos acuosos deben estar en el intervalo entre 6.0 y 10.5.
- *La temperatura* no debe sobrepasar los 35 °C.
- La *toxicidad* de las aguas residuales debe ser inferior a la que pudiera afectar los procesos biológicos de las Plantas de Tratamiento de Aguas (WWTP), la eliminación de lodos, o la utilización de los mismos.
- Las concentraciones de productos de tintorería *Dyestuff* en las aguas residuales debe ser inferior a la que ocasionaría decoloración en las WWTPs públicas.



- Los valores límites para los *fenoles* son bajos (0.025 mg/L agua residual) dado que originan un mal sabor del agua que es muy difícil de eliminar durante la purificación del agua.

Los valores límites para las sustancias consumidoras de oxígeno como el sulfito sódico, las sales de hierro(II), y los tiosulfatos se han fijado en 50 mg/L de agua residual.

Tabla 1: Sustancias inorgánicas – valores límite (TLV) para cationes

Cationes	TLV (mg/L)
Antimonio	0.25
Arseénico	0.05
Bario	1.0
Plomo	0.5
Cadmio	0.05
Cromo, total	0.5
Cromo(VI)	0.1
Cobalto	1.0
Cobrer	0.5
Niquel	0.5
Mercurio	0.025
Plata	0.25
Zinc	2.5
Estaño	0.5

Tabla 2: Sustancias inorgánicas – Valores límite (TLV) para aniones

Aniones	TLV (mg/L)
Cianuro	10
Cianuro, liberado fácilmente	0.5
Fluoruro	25
Sulfato	300
Sulfuro	1.0



Tabla 3: Valores límite para parámetros de grupo y sustancias orgánicas

Parámetros de Grupo	TLV (mg/L)
Compuestos halogenados orgánicos adsorbibles, (AOX)	0.5
Hidrocarburos halogenados volátiles, (VOX)	0.25
Hidrocarburos halogenados volátiles, compuestos individuales	0.05
Compuestos Orgánicos	
Hidrocarburos alifáticos	10
Aceites y grasas, saponificables	125
Hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH)	0.025
Aromáticos, total	0.05
Benceno	0.0025
Etil benceno	0.025
Tolueno	0.025
Xileno	0.03
Estireno	0.03

Nota: Las disoluciones acuosas que quedan después de extracción con diclorometano o cloroformo deben eliminarse como residuos peligrosos (conteniendo hidrocarburos clorados, VOX) o deben ser liberados de dichos VOX por métodos adecuados (p.ej., purgado).

Observaciones Seleccionadas sobre la Eliminación de Residuos Químicos de los Laboratorios

Es recomendable que se lleve a cabo la detoxificación de pequeñas cantidades de residuos químicos peligrosos en pequeñas cantidades por personal cualificado. La información detallada sobre el procedimiento a aplicar se recoge en el modo de operación. Los siguientes tipos de residuos peligrosos se producen rutinariamente durante el trabajo de laboratorio. Por tanto, aquí se dan algunas informaciones sobre como tratarlos y eliminarlos.



Restos Químicos:

Solamente se pueden eliminar como restos químicos aquellos materiales que

- tengan componentes conocidos,
- no estén clasificados como explosivos, y
- no sean radioactivos.

No deben contener componentes muy tóxicos como las dibenzodioxinas y los furanos policlorados, (PCDD/F), bifenilos policlorados (PCB), o agentes de guerra.

Los contenedores de residuos deben estar convenientemente etiquetados, incluso los más pequeños. Los frascos pequeños y los viales de cursos del laboratorio pueden recogerse juntos en contenedores para materiales sólidos y etiquetarlos como, p.ej., “productos de síntesis de un curso de laboratorio de química inorgánica en viales.” En caso de productos químicos desconocidos (p.ej. en frascos sin etiquetar) se recomienda aclarar el tipo de compuesto.

Los productos químicos catalogados en ciertos grupos de residuos deben eliminarse de acuerdo con dichos grupos. El caso del ácido clorhídrico puede tomarse como ejemplo. Está asignado al grupo de residuos “Ácidos Inorgánicos, Mezclas de Ácidos, y Mordientes”. Esto significa que el HCl no debe eliminarse como residuo químico.

Los compuestos químicos viejos en recipientes cerrados apropiadamente pueden ofrecerse a otros grupos o institutos para su uso posterior. Sólomente deben eliminarse si no hay nadie interesado en tener dichas sustancias en un periodo de tiempo razonable.

También existe la posibilidad de devolver los excesos de algún compuesto químico o disolvente al fabricante de dichos compuestos. Por ejemplo, la Compañía Merck ofrece este servicio bajo el nombre de Retrologistics®. Los productos químicos enviados son analizados para ver sus condiciones, tipos y cantidades y se documentan. Los contenidos de contenedores pequeños de compuestos químicos definidos se juntan en cantidades mayores. Después de su análisis y pasar un control de calidad estas sustancias se emplean en producción y en síntesis. Si no es posible su reutilización los productos se eliminan de acuerdo a las normativas.



Ácidos Inorgánicos, Mezclas de Ácidos y Mordientes

Los valores de pH de estas disoluciones son inferiores a 6. Son disoluciones acuosas ácidas que deben estar exentas de

- cianuros (¡en caso contrario se formaría cianuro de hidrógeno!),
- iones amonio (max. permitido 0.1 mol/L), y
- cualquier tipo de sustancia orgánica (p.ej., disolventes, grasas y aceites).

Los ácidos usados que contienen ácido nítrico (p.ej., mezclas nitrantes) deben neutralizarse y después eliminarse como “Aguas de lavado y aclarado”.

Las disoluciones ácidas que no contienen metales pesados ni otras sustancias peligrosas pueden neutralizarse con hidróxido sódico o hidrógenocarbonato sódico en cantidades equimoleculares y luego verterse en las aguas de desecho del laboratorio.

Bases, Mezclas alcalinas, y Mordientes

Esta categoría de residuos comprende los residuos líquidos con un pH superior a 8. Son disoluciones de hidróxidos alcalinos que deben estar libres de

- cianuros,
- iones amonio (max. 0.1 mol/L, ¡en caso contrario se emitiría amoníaco!), y
- cualquier tipo de sustancia orgánica (p.ej., disolventes, grasas y aceites).

Las disoluciones alcalinas que no contienen metales pesados ni otras sustancias peligrosas pueden neutralizarse con cantidades equimoleculares de ácido clorhídrico y luego verterse en las aguas de desecho del laboratorio.

Aguas de lavado y aclarado, conteniendo sales metálicas

Esta categoría de residuos comprende las disoluciones acuosas de sales metálicas que deben estar libres de

- cianuros,
- iones amonio (¡max. permitido 0.1 mol/L!), y
- cualquier tipo de sustancia orgánica (p.ej., disolventes, grasas y aceites).



En el caso de estas disoluciones acuosas es posible alcanzar reducciones significativas de volumen aplicando medidas de concentración.

Restos de Metales Alcalinos

Durante el secado de disolventes orgánicos se generan restos de metales alcalinos. Estos restos de sodio o potasio se hacen reaccionar con etanol o iso-propanol, añadidos gota a gota. Finalmente, se neutralizan las disoluciones y se eliminan como disolventes no halogenados.

Metales Pesados

Los metales pesados de las disoluciones acuosas pueden precipitarse como sulfuros o carbonatos. Los precipitados se filtran, se secan y se eliminan como residuos sólidos.

Residuos conteniendo Mercurio (Hg elemental)

Esta categoría de residuos comprende el mercurio elemental (p.ej., termómetros y manómetros rotos, módulos interruptores conteniendo mercurio, lámparas UV de vapor de mercurio, mercurio de bombas difusoras) que deben recogerse por separado. El mercurio usado recogido debe ser elaborado y recuperado en una factoría especial. Los derivados de mercurio no pertenecen a esta categoría, sino que deben eliminarse como “compuestos de química fina”.

Disoluciones y Residuos conteniendo Plata

Para estas sustancias se recomienda recolectarlas por separado para proceder a su tratamiento

Acido Cianhídrico y Cianuros

Los compuestos químicos muy tóxicos como el ácido cianhídrico y sus sales (cianuros) no deben verterse en las aguas de desecho. Deben detoxificarse por oxidación. La oxidación a escala de laboratorio de estas sustancias puede hacerse con disoluciones de hipoclorito sódico como método adecuado. Solamente se forman sustancias inocuas como nitrógeno, dióxido de carbono, y iones cloruro vía el cianato intermedio. Un método alternativo es la oxidación del cianuro en condiciones básicas (pH 10-11) a nitrógeno y dióxido de carbono. Se puede comprobar si la oxidación ha sido completa con el ‘Merckoquant Cyanide Testkit’.



Nota: La eliminación de los cianuros no debe ser llevada a cabo por los propios estudiantes del curso básico de laboratorio por su cuenta. Deben ser supervisados por un experto (p.ej., un profesor ayudante). Es posible la formación de cianuro de hidrógeno y diciano si la operación no se hace adecuadamente.

Disolventes, no halogenados

Todos los compuestos orgánicos pueden eliminarse como disolventes no halogenados si cumplen las siguientes condiciones:

- Pueden contener los elementos C, H, N, Na, O, P, y S.
- No debe haber halógenos, (ni siquiera compuestos halogenados inorgánicos como sales).
- Las disoluciones deben ser líquidas a temperatura ambiente.
- Si son sólidos deben estar disueltos en un disolvente apropiado.

Debe ajustarse el valor del pH a 6-9 por neutralización si es necesario. Los disolventes orgánicos no halogenados deben reciclarse lo máximo posible.

Disolventes, conteniendo halógenos

Los disolventes halogenados deben recogerse por separado y ser tratados o enviados a compañías especializadas. Esta prohibido mezclar estos disolventes con otros.

Pueden eliminarse como disolventes halogenados los compuestos orgánicos que

- Pueden contener los elementos C, H, N, O, P, S, F, Cl, Br, y I,
- Son líquidos a temperatura ambiente,
- Están disueltos en un disolvente adecuado si son sólidos.

Debe ajustarse el valor del pH a 6-9 por neutralización si es necesario. Los disolventes orgánicos no halogenados deben reciclarse lo máximo posible..

Balas de gases

Las balas de gases a presión deben controlarse en periodos de tiempo prefijados de acuerdo con el tipo de gas que contienen. Cualquier bala que no se use debe enviarse a una compañía



especializada (normalmente el proveedor) 6 semanas antes de la fecha de control (impresa en la parte superior de la bala). Si se ha pasado la fecha de control y en la bala todavía existe presión deben seguirse normas especiales de transporte. Dichas balas son eliminadas o utilizadas únicamente por compañías especializadas a un coste elevado.

Las latas de sprays pueden eliminarse en un contenedor especial de reciclados si se han vaciado totalmente.

Limpieza del Equipo de Laboratorio

La limpieza del equipo de laboratorio después de su uso en experimentos químicos también puede ser una fuente de residuos peligrosos que deben eliminarse de acuerdo con las normativas.

Está prohibido el uso para limpieza de productos químicos extremadamente inflamables, muy tóxicos, tóxicos, carcinógenos, teratógenos o mutágenos.

Por tanto, son inadecuados para la limpieza el dietileter (extremadamente inflamable), el benceno (tóxico, carcinógeno), y el tetracloro metano (tóxico, carcinógeno).

Los resíduos orgánicos del laboratorio pueden disolverse en un disolvente adecuado (p.ej., acetona, 2-propanol, ligroina). Se recogen las disoluciones y se reciclan los disolventes por destilación. Los restos de la destilación se pueden eliminar como “disolventes sin halógenos” (contenido en halógenos < 2%) o “disolventes conteniendo halógenos” (> 2%). ¡Estas sustancias no deben verterse en el agua de desecho!

Las manchas resistentes pueden tratarse en muchos casos con disoluciones saturadas de permanganato potásico, que debe añadirse al recipiente para limpiar junto a un volumen igual de disolución de hidróxido sódico (20% en peso). En la actualidad está prohibido el uso de la mezcla crómica para este propósito, ¡ya que es carcinógena! (Prohibición de usar sustancias carcinógenas si es posible su sustitución.)



Existen otros agentes de limpieza (básicos) como jabones, etanol o 2-propanol conteniendo disoluciones de KOH (¡recuerde las instrucciones de prevención de incendios!), y agentes de limpieza disponibles comercialmente como el Extrane (Merck), que a menudo degradan con facilidad residuos orgánicos en presencia de aire. Cuando se usan baños de limpieza fuertemente básicos deben llevarse gafas de seguridad y guantes. Debe evitarse cualquier contacto de estos agentes con la piel o los ojos, para proteger las uñas, callus y córnea. Las disoluciones usadas de Extant Laboratory Cleaner suelen ser biodegradables. Pero si se han contaminado con productos químicos peligrosos para el medio ambiente durante el proceso de limpieza deben neutralizarse y eliminarse como “disoluciones conteniendo sales”.

Los Residuos inorgánicos (p.ej., sales) se disuelven si es necesario en ácidos o bases diluidos. Los agentes de limpieza fuertemente oxidantes, como el ácido sulfúrico concentrado, el ácido nítrico concentrado, y el peróxido de hidrógeno se pueden emplear únicamente cuando se ha comprobado que resultan inútiles otros medios de limpieza.

¿Cómo se lleva a cabo en la Práctica la Eliminación de los Residuos de Laboratorio?

A continuación se presenta un experimento de NOP como ejemplo, para señalar las fracciones de residuos que se generan en la realidad y como deben eliminarse de forma adecuada.

Ejemplo:

NOP-No. 1001

Nitración de Tolueno a 4-nitrotolueno, 2-nitrotolueno y 2,4-dinitrotolueno

Tratamiento de Residuos

Durante la elaboración de los productos se obtienen las siguientes fracciones, que deben tratarse como residuos de laboratorio.



A. Mezcla nitrante & Agua con hielo

Después de la extracción del producto y de la separación de la fase orgánica, se obtiene una disolución acuosa fuertemente ácida (pH 1) debido a su contenido en ácidos minerales (ácido nítrico, ácido sulfúrico). Estos residuos conteniendo ácido nítrico deben ser neutralizados y eliminados como residuos peligrosos pertenecientes a la categoría “Aguas de lavado y aclarado”. Puede llevarse a cabo la neutralización añadiendo cantidades equimolares de hidróxido sódico o de hidrógeno carbonato sódico (tenga cuidado: se forman espumas debidas al dióxido de carbono).

B. Disolución de hidrógeno carbonato de sodio & Agua del lavado neutro

Esta fase alcalina puede usarse para neutralizar las disoluciones ácidas mencionadas antes y luego eliminarse como residuos peligrosos pertenecientes a la categoría “Aguas de lavado y aclarado”.

C. Desecante usado (sulfato sódico)

El sulfato sódico usado para secar la fase orgánica se recoge en un recipiente para agentes desecantes usados después de filtrado y eliminado el disolvente orgánico (p.ej., por evaporación). Posteriormente puede eliminarse como sólido inorgánico.

D. Ciclohexano recogido por destilación en el rotavapor

Los disolventes usados recogidos por separado pueden tratarse por destilación de vez en cuando.

E. Aguas madres de la recristalización

Los residuos de las aguas madres conteniendo metanol o etanol pueden eliminarse como disolventes orgánicos libres de halógenos. Si se recoge una gran cantidad de aguas madres, pueden destilarse a fin de recuperar el metanol o etanol.

F. Residuos en los matraces de destilación

Los residuos de la destilación en matraces y otros residuos orgánicos pueden disolverse en acetona, por ejemplo. Estas disoluciones pueden eliminarse como disolventes orgánicos usados libres de halógenos.



Rutas de Eliminación: ¿Qué ocurre con los residuos recogidos?

A continuación se presenta, como ejemplo, una posible ruta de eliminación de residuos de laboratorio.

Después de recoger los residuos de laboratorio en varios institutos y laboratorios de una universidad la colección de contenedores y frascos originales (para productos de química fina) sirven como recipientes para el transporte hasta el lugar de almacenamiento cercano. Se recomienda transportar los contenedores de residuos en periodos regulares hasta este almacén temporal para reducir las cantidades de residuos almacenadas en los laboratorios

Si el almacén temporal no está cerca (en el propio sitio) los residuos peligrosos deben transportarse por carretera en vehículos especialmente autorizados (según la “Ordenanza sobre Transporte por Carretera y Ferrocarril de Mercancías Peligrosas” – GGVS/E). Si se eliminan los residuos por medio de una compañía especializada el lugar de transferencia de estos residuos es el propio vehículo recolector.

No se debe proceder a rellenar recipientes en el almacén temporal a fin de aumentar el volumen por tipo de residuo (excepto en caso de accidentes). Siempre existe un riesgo de reacciones exotérmicas o de emisión de compuestos volátiles (p.ej., disolventes usados) que pueden suponer la necesidad de aumentar las medidas de seguridad en los almacenes temporales.



Fig. 1: Imagen de un almacén temporal. En primer término, los bidones de disolventes vacíos se encuentran separados de los residuos químicos almacenados (al fondo).

Los residuos deben almacenarse separados de los materiales de partida, por ejemplo, con una distancia de seguridad entre ambos (Fig. 1). En caso de fugas, el contenido de los contenedores no debe alcanzar otras áreas del almacén temporal. Para esto, deben tomarse medidas técnicas acordes con el estado y constituyentes de los residuos almacenados.

Todos los contenedores llevados al almacén temporal son comprobados primero y se someten a una inspección visual. El productor del residuo debe rellenar un documento de eliminación que recoja una declaración legal vinculante de los residuos. Los residuos se pesaran al recogerlos. Las cantidades pequeñas de residuos pueden clasificarse por categorías de peligrosidad y empaquetarse. Seguidamente, se guardarán en un determinado lugar con residuos de tipos similares.

El contenido de las unidades empaquetadas será registrado en una lista que recoja los nombres de los residuos, los códigos UN (número de código con cuatro dígitos para las mercancías peligrosas, que se encuentra visible en las placas color naranja de los camiones de transporte



de mercancías peligrosas), el tamaño de los paquetes, y sus orígenes. El original de esta lista se unirá al diario de trabajo del almacén temporal. Una copia se dará a la compañía eliminadora para solicitar el certificado de aceptación, y otra copia se unirá a la unidad de empaquetamiento del residuo.

Los residuos que se reciben en el almacén temporal se registrarán en un programa de gestión de residuos en un ordenador. Estos archivos de datos sirven como registro de trabajo y almacenamiento y para los correspondientes certificados. Ellos llevan el balance del stock de almacenamiento y de las pruebas de eliminación y sus correspondientes documentaciones.

Para el trabajo del almacén temporal es necesario una unidad de laboratorio para controlar muestras de los residuos aleatoriamente y verificar las declaraciones de los productores de los residuos.



Fig. 2: Imagen de contenedores ASP cerrados para almacenar y transportar residuos.



El contenedor será recogido por las compañías de eliminación autorizadas en periodos regulares de tiempo. Las unidades pequeñas de empaquetamiento se empaquetan juntas en grandes unidades de transporte, si es necesario, se cargan en camiones especiales y se transportan a las plantas de eliminación. Deben cumplirse las directrices especiales de la “Ordenanza sobre Transporte por Carretera y Ferrocarril de Mercancías Peligrosas” (GGVS/E).

El transporte puede simplificarse si se emplea para el mismo el propio espacio de almacén del almacén temporal. Esto puede conseguirse utilizando contenedores ASP que están autorizados para el almacenamiento y para el transporte de residuos. Los residuos entregados al almacén temporal son controlados e inmediatamente se guardan en estos contenedores (Fig. 2 y 3).

ASP significa Recipiente recolector para residuos pastosos, que puede contener materiales pastosos y/o sólidos, y también está autorizado para pequeños recipientes de recolección, que pueden contener también residuos líquidos. Estos contenedores son, por tanto, sistemas de transporte intrínsecamente seguros debido a su diseño y a las medidas técnicas de seguridad utilizadas al construirlos para el almacenamiento y transporte de residuos.



Fig. 3: Contenedor ASP abierto con una colección de botes



Existen cuatro contenedores ASP para almacenar por separado los residuos de tipos diferentes de acuerdo con sus categorías de peligrosidad (líquidos inflamables, restos químicos de laboratorios de orgánica, restos químicos de laboratorios de inorgánica, ácidos, bases). Se guarda un quinto contenedor ASP como reserva. Una vez lleno un contenedor ASP se carga en un vehículo de transporte especial y se lleva a la planta de eliminación.

Tratamiento de residuos peligrosos mediante compañías de eliminación especializadas

Los residuos líquidos se incineran en una planta de incineración de residuos a temperatura elevada. Los sistemas de tratamiento de los gases generados en estas plantas evitan la emisión de contaminantes nocivos al medio ambiente.

Los residuos inorgánicos bombeables se tratan en un tanque reactor con agitación con reactivos adecuados en varios pasos. Algunos de los componentes nocivos (p.ej., metales pesados) son precipitados como sólidos y separados de la fase líquida por una cámara de filtrado a presión. El lodo obtenido se elimina en un vertedero para residuos peligrosos o en lugar de eliminación subterráneo. El filtrado de la cámara de filtración a presión se neutraliza y se envía a una zona de tratamiento de aguas residuales. Con el propósito de asegurar la calidad y controlar que se cumplen los valores límite es necesario efectuar una monitorización analítica.

A continuación se recogen como ejemplo algunas medidas de tratamiento de residuos inorgánicos bombeables:

- El cianuro se oxida en medio fuertemente alcalino ($\text{pH} > 12$) con hipoclorito sódico a través de cianato a dióxido de carbono y nitrógeno. También es posible oxidar cianuros con ozono a escala técnica.
- Los nitritos se oxidan con peróxido de hidrógeno en medio débilmente ácido a nitratos ($\text{pH} 3.5-4.5$).



- El cromo(VI) (cromato) se reduce a cromo(III) con disulfito sódico en medio fuertemente ácido (pH 2).
- El fluoruro se precipita como fluoruro cálcico, muy poco soluble, por adición de lechada de cal.
- Los metales pesados se precipitan como hidróxidos en medio alcalino o como sulfuros en medio ácido.