

ALMACENAMIENTO TRANSITORIO DE RESIDUOS CONTENIENDO MERCURIO

28 de junio 2013

San José, Costa Rica

Proyecto “Minimización y Manejo Ambientalmente seguro de desechos conteniendo mercurio en Países de América Latina y el Caribe”

Ing. Quím. Héctor Ventimiglia – Consultor



CONCEPTOS Y PRINCIPIOS

RESIDUOS

- Sustancias u objetos que son dispuestos, se pretende disponer o se está obligado a disponer de acuerdo a la legislación nacional.

Artículo 2, párrafo 1 (“Definitions”) de la Convención de Basilea

RESIDUOS - MERCURIO

1. Residuos **consistentes** en mercurio elemental.
2. Residuos **conteniendo** mercurio:
 1. Residuos de productos con mercurio agregado que liberan mercurio al ambiente fácilmente.
 2. Residuos de productos con mercurio agregado diferentes a 2.1.
 3. Residuos que provienen de la estabilización o solidificación de mercurio elemental.
3. Residuos **contaminados** con mercurio.

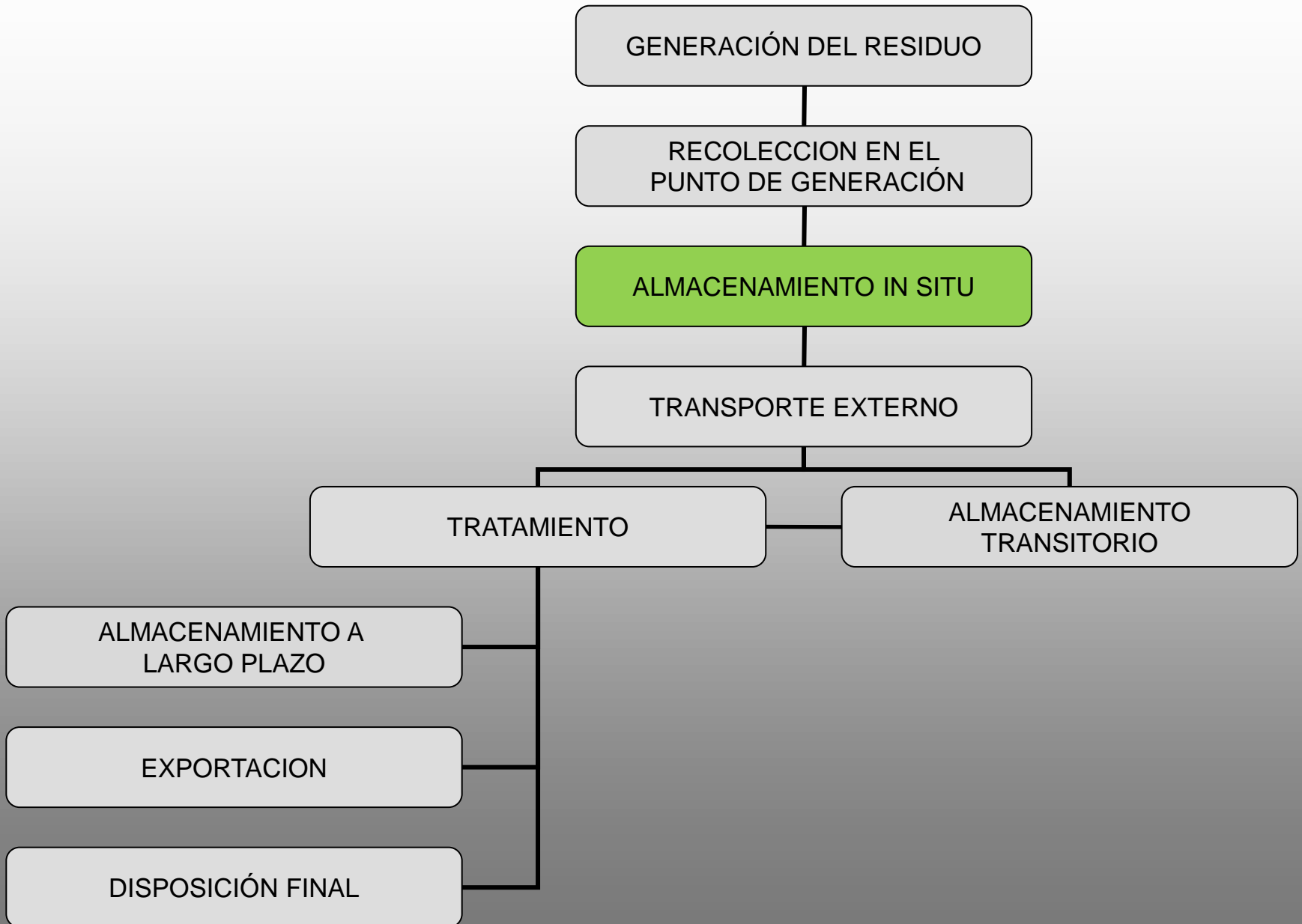
**GESTIÓN
AMBIENTALMENTE
SEGURA**

(ESM)

CONCEPTO

Aplicación de todas los pasos factibles para asegurar que los residuos peligrosos y otros residuos son gestionados de forma tal que se proteja la salud humana y el ambiente contra los efectos adversos que pueda resultar de los mismos.

SECUENCIA DE PROCESOS / OPERACIONES



ALMACENAMIENTO IN SITU

Fuente: Guía para la limpieza, almacenamiento temporal o intermedio y transporte de desechos de mercurio desde las instalaciones de salud. UNEP GEF, 2010,

ALMACENAMIENTO IN SITU

- Implica el almacenamiento por parte del generador, temporariamente, en sus propias instalaciones.
- Estrictamente transitorio.
- Tiempo de permanencia determinado por standards nacionales.

UBICACION

- En una zona segura, de acceso restringido. En edificios de uso múltiple, en salas cerradas bajo llave.
- Salas ventiladas, con salida de aire hacia zonas no pobladas, alejadas de otras tomas de aire.
- Los residuos con mercurio deben almacenarse en forma separada de otros residuos: infecciosos, ordinarios, etc.

DISEÑO

- Techos y paredes que lo protejan de la acción de la intemperie, animales, etc.
- Piso liso e impermeable.
- Sistemas de drenaje con “trampas” para capturar derrames.
- Ventilación suficiente con sistemas de control de flujo inverso.
- Se debe contar con bandejas de contención para el material almacenado. Volumen de la bandeja: 125 % del volumen de mercurio líquido almacenado.
- EPP y kits de derrames próximos al sitio.
- Temperatura controlada ($< 25^{\circ}\text{C}$) y humedad relativa menor al 40 %.

ETIQUETADO

- Puertas de entrada y salida, rotuladas con símbolo de peligro y descripción:

**PELIGRO: DESECHOS
PELIGROSOS DE MERCURIO**



ETIQUETADO

- Los recipientes deben estar etiquetados:
 - “Desechos de Mercurio: Peligrosos”
 - Descripción del contenido.
 - Fecha de almacenamiento.

RECIPIENTES

- Fácil de abrir y sellar nuevamente.
- Hermético y a prueba de fugas.
- Material inerte y no amalgamable.
- Material no frágil.
- Material resistente a la corrosión.
- Recipientes pequeños: ergonómicos y resistentes al propio peso del mercurio.
- Agente supresor de vapores o agua dentro del envase.

ALMACENAMIENTO Hg ELEMENTAL

- Criterios específicos:
 - Recipiente secundario como medida redundante de protección.
 - Etiquetas en ambos envases (primario y secundario).
 - Llenado de envases primarios: sobre bandejas capaces de contener el total del volumen.

ALMACENAMIENTO DE DISPOSITIVOS

- Almacenados de forma de evitar roturas.
- En lo posible, almacenados en sus estuches originales y en recipientes resistentes a la punción y herméticos.
- Recipientes primarios etiquetados con:
 - Tipo de dispositivos
 - Cantidad
 - Fecha inicial.
 - Comentarios relevantes.
- Recipiente secundario como medida redundante con etiqueta propia.

ALMACENAMIENTO DE DESECHOS CONTAMINADOS

- Desechos punzantes deben ser almacenados en recipientes primarios resistentes a la punción y con envase secundario.
- Otros desechos pueden almacenarse en recipientes sellados, con envase secundario.
- Etiquetado: ídem anterior.

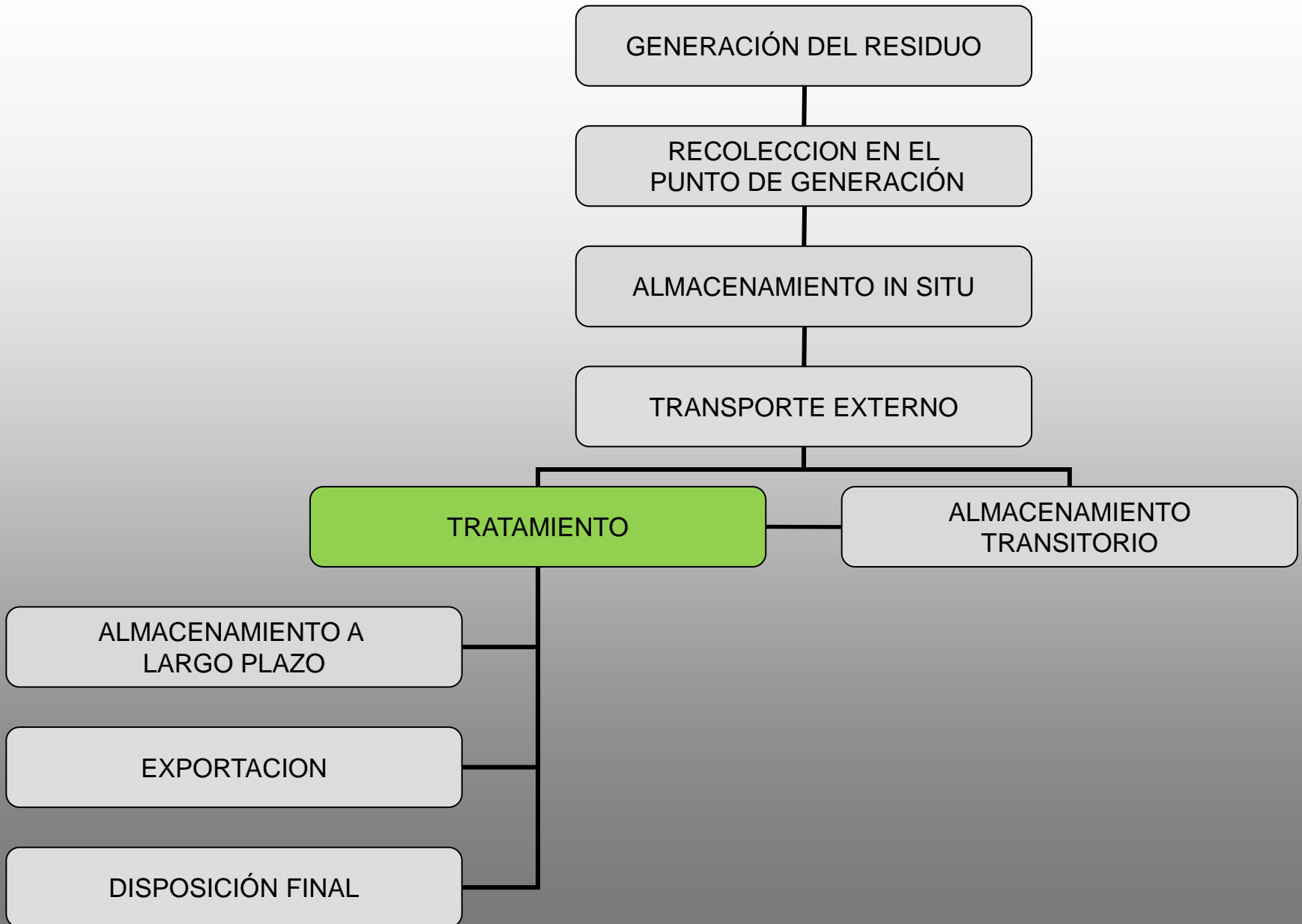
LÁMPARAS FLUORESCENTES

- Lámparas intactas:
 - En su envase original.
 - Un envase secundario como medida redundante.
- Lámparas quebradas:
 - Se manejan como residuos contaminados con mercurio.

PROCEDIMIENTOS GENERALES

- El personal involucrado en la gestión de residuos con mercurio debe recibir entrenamiento específico.
- Acceso de todo el personal a MSDS y ICSC.
- Inspecciones mensuales a efectos de verificar integridad de envases, ventilación, EPP, etc.
- Prohibición de fumar o comer.
- Registros de entrada y salida de materiales.
Control de inventario.

SECUENCIA DE PROCESOS / OPERACIONES

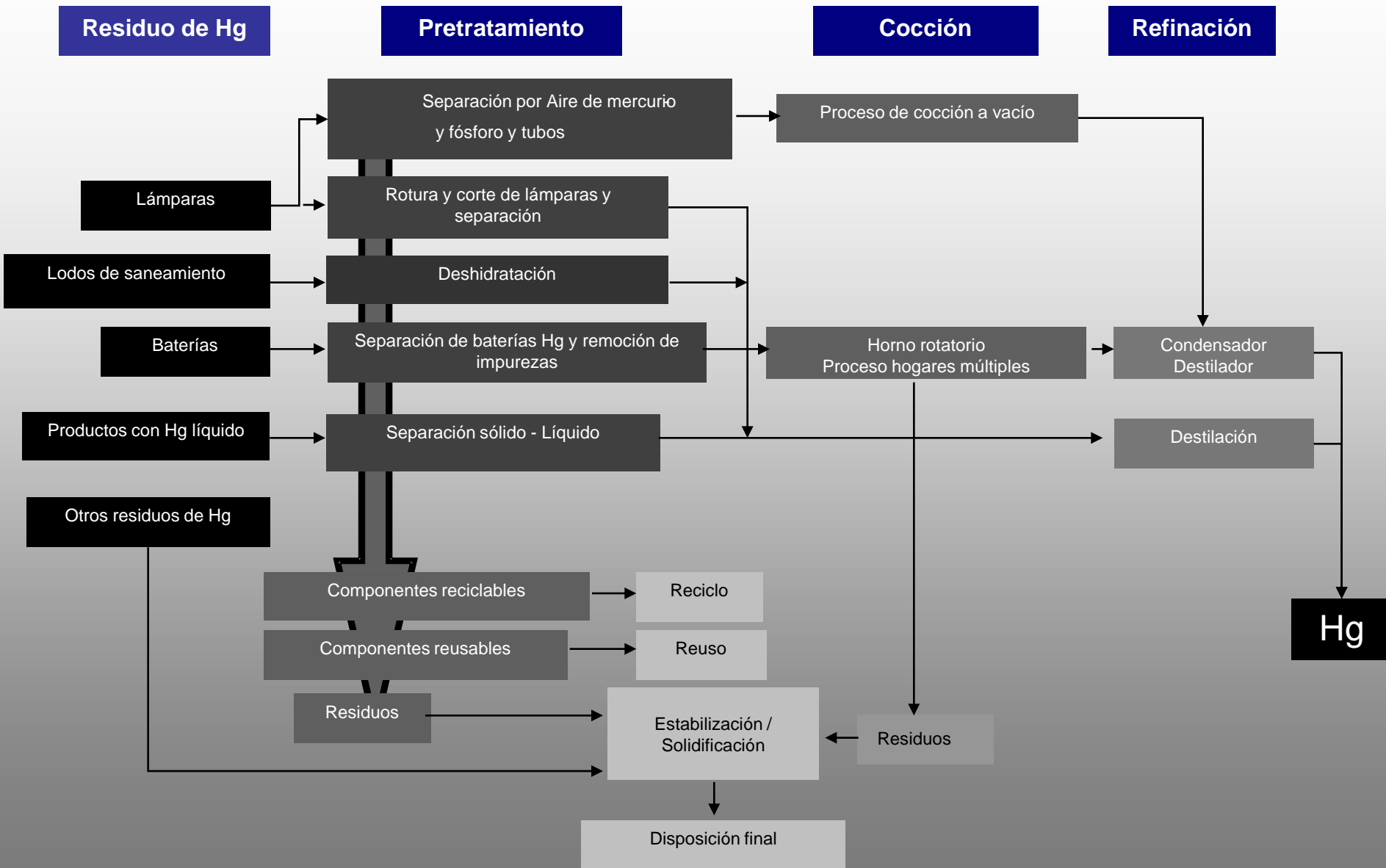


TRATAMIENTO DE LOS RESIDUOS Y RECUPERACIÓN DEL MERCURIO

RECUPERACIÓN

- La recuperación comprende tres procesos:
 1. Pretratamiento
 2. Cocción
 3. Purificación

RECUPERACIÓN DE MERCURIO



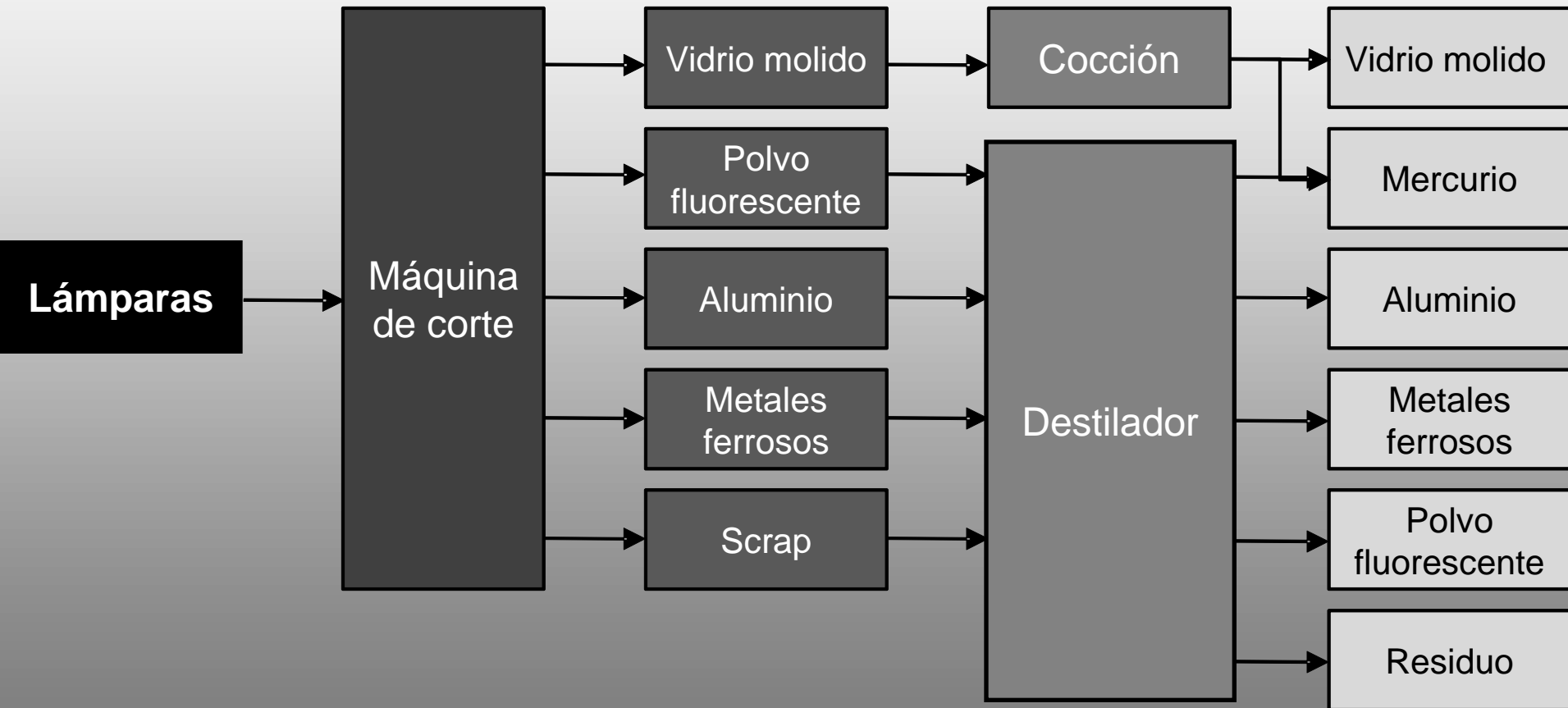
RECUPERACIÓN DE MERCURIO

PRETRATAMIENTO

LAMPARAS FLUORESCENTES

- Separación por aire:
 - Casquillos son cortados con soplete de hidrógeno.
 - Se remueve el polvo de Hg-P con aire.
 - Se rompe el vidrio y se lava con ácido.
 - Se recupera el mercurio en colectores y de la solución de lavado.

RECUPERACIÓN DE LÁMPARAS FLUORESCENTES



RECUPERACIÓN DE Hg EN BATERÍAS

- Se separan las baterías de mercurio del resto.
- Se remueven impurezas mezcladas y adsorbidas por métodos mecánicos.
- Se someten a cocción.

RECUPERACIÓN DE OTRAS FUENTES

- Lodos de saneamiento
 - Deben ser deshidratados hasta un porcentaje de sólidos de 25 a 30 %
 - Luego enviados a cocción.
- Productos conteniendo mercurio
 - Se reciben sanos.
 - Se retira el mercurio para destilación.

RECUPERACIÓN DE MERCURIO

COCCIÓN

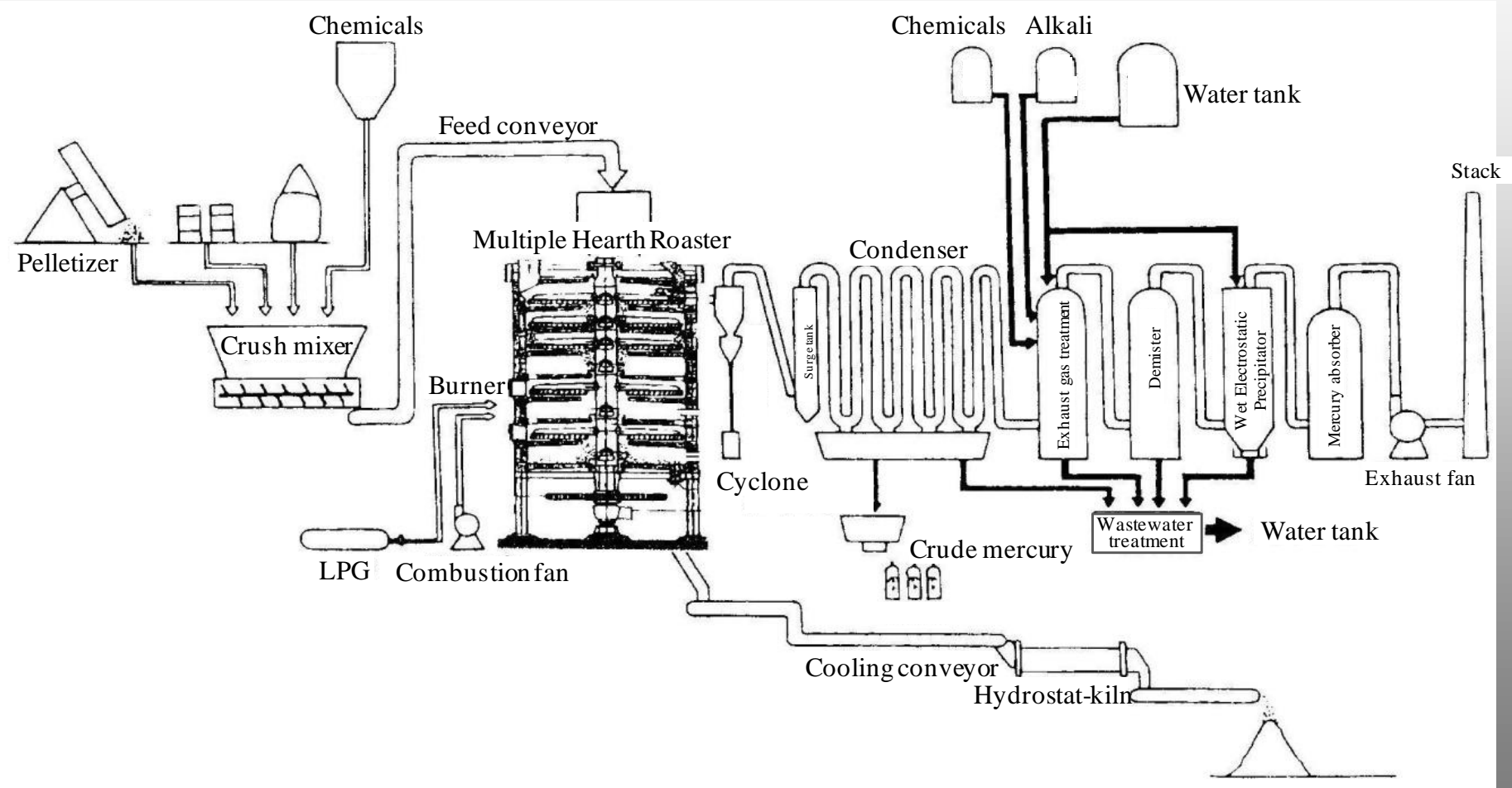
COCCIÓN / RETORTA

- Procesos térmicos de calentamiento para evaporar el mercurio elemental.
 - Cuentan con sistema de captura de mercurio por condensación.
 - Retienen material particulado en humos.
 - Cuentan con sistemas de captura de Hg gaseoso remanente.
 - Temperaturas de 600° a 850°

COCCION / RETORTA

- Equipos:
 - Horno rotatorio
 - Horno a vacío
 - Horno de hogares múltiples
- Referencias para los procesos:
 - Evaluación Global del Mercurio (UNEP 2002)
 - BAT for Waste Incineration (IPPC Comisión Europea 2006)

SISTEMA DE COCCIÓN PARA LODOS DE EFLUENTES



RECUPERACIÓN DE MERCURIO

- PURIFICACION

- El mercurio procedente de los procesos térmicos es enviado a un condensador enfriado por agua a 10°C.
- Posteriormente es destilado hasta alcanzar los valores de pureza de calidad comercial.

CONTROL DE GASES

- A posteriori de los procesos térmicos es necesario controlar los gases calientes.
 - Eliminación de SO₂, NO_x, Material particulado.
 - Se agregan sustancias básicas (Ca(OH)₂) para capturar ácidos.
 - Se usan catalizadores para reducir NO_x.
 - Se usan precipitadores electrostáticos para retirar material particulado.
 - Se usa carbón activado para fijar fugas de mercurio gaseoso.

EXTRACCIÓN ÁCIDA

- Proceso que permite la extracción del mercurio en solución acuosa desde una matriz sólida.
- Actúa sobre el mercurio oxidado.
- Agentes: HCl, H₂SO₄,
- Posteriormente se lo precipita (generalmente como sulfuro).

RECUPERACIÓN DE MERCURIO EN RESIDUOS LÍQUIDOS

- Oxidación
- Precipitación
- Adsorción:
 - Resinas de intercambio
 - Resinas quelantes
 - Carbón activado
- Amalgamación

OXIDACIÓN

- Se procura:
 - Destruir materia orgánica asociada al Hg
 - Oxidar el Hg a formas solubles
 - Precipitarlo
- Oxidantes:
 - Hipoclorito de sodio, ozono, peróxido de hidrógeno, cloro, dióxido de cloro.
- Se separa el mercurio en forma de haluro.

PRECIPITACIÓN

- Se procura obtener compuestos de muy baja solubilidad.
- Agentes: Hidróxido de calcio, soda cáustica, sulfuro de sodio,
- Se prefiere la formación de sulfuro antes que óxido ya que es más insoluble en un amplio rango de pH.

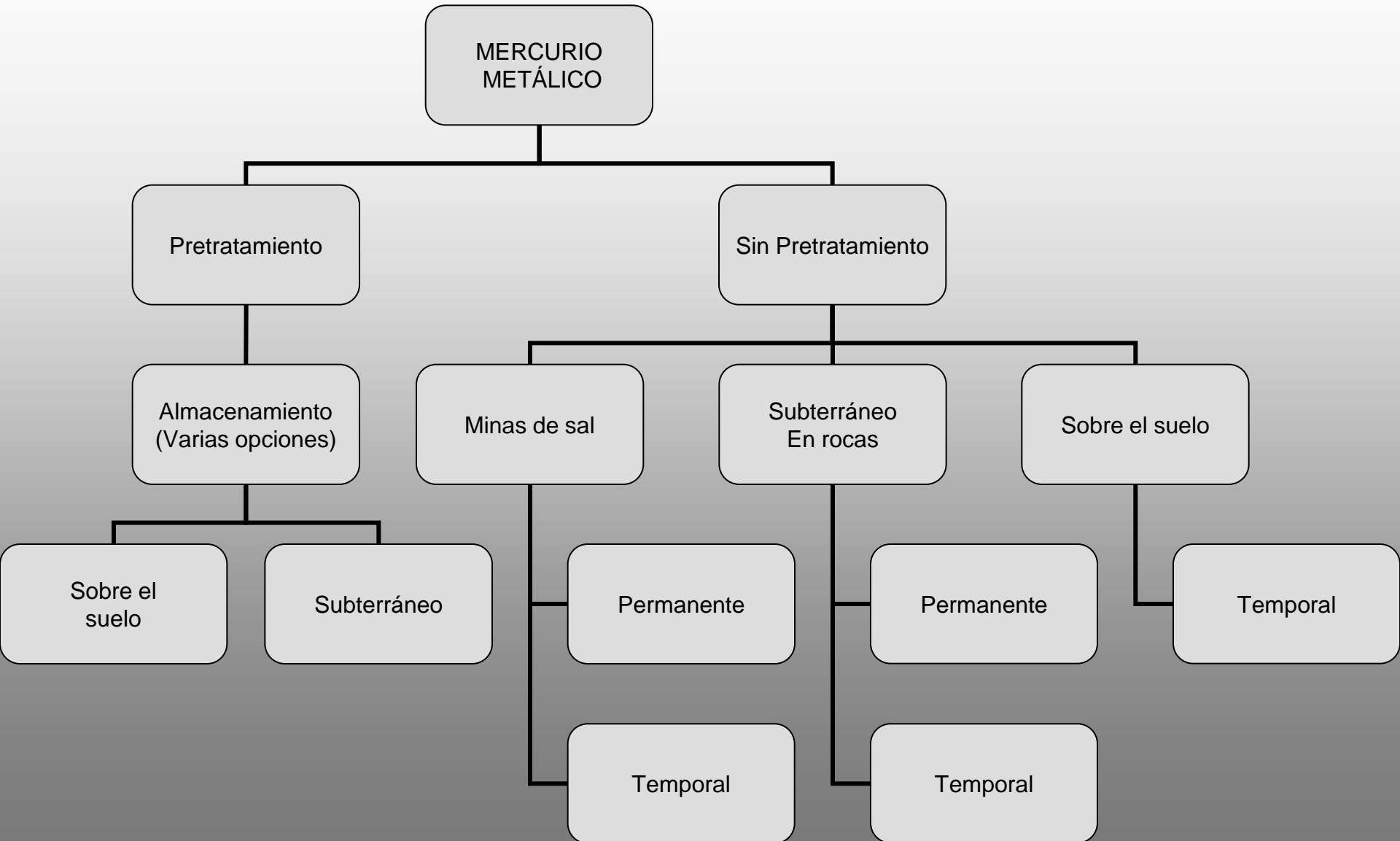
ADSORCIÓN

- Resinas de intercambio iónico:
 - muy eficientes
 - costosas y de baja regeneración.
 - Terminan formando parte del residuo.
- Resinas quelantes.
 - Poseen grupos OH.
 - Son eficaces y más regenerables.
- Carbón activado.
 - De cáscara de coco o aserrín.
 - Puede ser en polvo o granular.
 - Retiene mercurio y otros metales.

TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO APROPIADAS PARA EL MERCURIO LÍQUIDO

Fuente: BIPRO

CUADRO DE OPCIONES



OPCIONES

- Se evalúan de acuerdo a tres criterios:
 - Técnicos
 - Ambientales
 - Económicos

PRETRATAMIENTO

- Objetivos:
 - Mejorar la manipulación
 - Reducir riesgos mediante la reducción de la volatilidad y/o toxicidad.
 - Reducir posibles riesgos mejorando las propiedades de lixiviación.
- Por medio de la inmovilización.
- Tecnologías:
 - Estabilización
 - Solidificación

ESTABILIZACIÓN

- Técnica que reduce químicamente el riesgo potencial de un residuo mediante la conversión de los contaminantes en formas menos solubles, móviles o tóxicas.
- En la estabilización existe reacción química.

SOLIDIFICACIÓN

- Técnicas que encapsulan el residuo, formando un material sólido y que no necesariamente involucran interacciones químicas.
- Puede ser un bloque monolítico, un material arcilloso, particulado u otra forma considerada sólida.
- Puede ser:
 - Microencapsulación
 - Macroencapsulación

ESTABILIZACIÓN POR SULFURO

- Consiste en transformar el mercurio líquido en sulfuro de mercurio (HgS), la forma más insoluble y más común en la naturaleza.
- Existen dos formas: alfa HgS y beta HgS. El primero es más insoluble.
- Se mezcla el Hg con S a temperatura ambiente y se lo somete a agitación intensa (aporta energía de activación).
- Evitar la oxidación: atmósfera inerte + agregado de antioxidantes (Na₂S).

Stabilisation of metallic mercury - from mercury cells to final disposal

1. Mercury cells



Photo: BASF

Hg
purity
99.9 %

Hg purity < 99.9 %

Distillation of Hg

2. Packaging metallic Hg

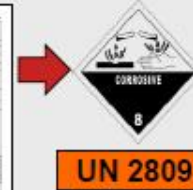


Photo: DELA GmbH

UN approved & certified
flasks/containers

EWC
06 04 04*

3. TFS/Notification



UN 2809



4. Transport metallic Hg



GHS / (EC)1272/2008



67/584/EEC

5. Reception DELA



Photo: DELA GmbH

6. Hg stabilisation

7. Packaging HgS Steel drums, Big-Bags



Photo: DELA GmbH

Hg + S → HgS



Photo: DELA GmbH



Photo: DELA GmbH

9. Final disposal (Salt mine)



Photo: K+S Entsorgung GmbH

8. Transport HgS



EWC
19 03 05



ESTABILIZACIÓN POR SULFURO

- Para residuos con mercurio oxidado (cloruros, óxidos, etc.) la estabilización se realiza con sulfuros en solución a pH inferior a 8.
- Se debe evitar la presencia de altos niveles de sodio para impedir futuras disoluciones de la sal formada.

ESTABILIZACIÓN POR SULFURO / POLÍMERO (SPSS)

- Es una modificación del proceso de sulfuro.
- Dos etapas:
 1. Reacción entre mercurio elemental y cemento sulfuro-polímero (SPC, una mezcla de 95 % S y 5% poli ciclopentadieno). ESTABILIZACIÓN
 2. Calentamiento a 135°C. SOLIDIFICACIÓN.
- Ventajas:
 - Producto monolítico. Baja superficie específica.
 - Menos volatilidad y lixiviación.

AMALGAMACIÓN

- Formación de aleaciones (amalgamas).
- A medida que aumenta la concentración de metal se vuelve más sólida.
- Metales: cobre, selenio, níquel, zinc y estaño.
- Se agrega el metal finamente dividido para acelerar el proceso.

ESTABILIZACIÓN CON FOSFATO CERÁMICO / VIDRIO

- Primeramente se obtiene cerámica con fosfato químicamente enlazado (CBPC) mediante reacción entre MgO y KH_2PO_4
- El fosfato de magnesio y potasio se hace reaccionar con mercurio a 80°C para obtener fosfato de mercurio.
- Luego se agrega sulfuro de sodio y se estabiliza.
- Ventaja: alta estabilidad física.

SOLIDIFICACIÓN / ENCAPSULACIÓN

- Se encapsula el mercurio en diferentes matrices
- Requieren estabilización previa:
 - Polietileno de baja densidad
 - Asfaltos
 - Resinas poliéster o epoxi
 - Elastómeros sintéticos
 - Polisiloxano (espuma de silicona)
- No requieren estabilización previa:
 - Polímeros orgánicos – cerámicos
 - Dolomita calcinada
 - Carbonato de calcio / óxido de magnesio

ENCAPSULACIÓN CON CEMENTO

- Primer etapa: amalgamación con cobre.
- Se agrega cemento Portland acompañado de cargas adicionales: ceniza, silica, etc.

CONCLUSIONES BIPRO

- Opciones posibles:
 - Almacenamiento permanente de mercurio metálico en minas de sal.
 - Pretratamiento de mercurio metálico y almacenamiento permanente en minas de sal.
 - Pretratamiento de mercurio metálico y almacenamiento permanente en formaciones rocosas subterráneas.
 - Pretratamiento de mercurio metálico y almacenamiento permanente en instalaciones sobre superficie.

CONCLUSIONES BIPRO

- Opciones que presentan incertidumbres para ser implementadas en el corto plazo:
 - Almacenamiento temporario de mercurio en minas de sal.
 - Almacenamiento temporario de mercurio en instalaciones sobre la superficie.

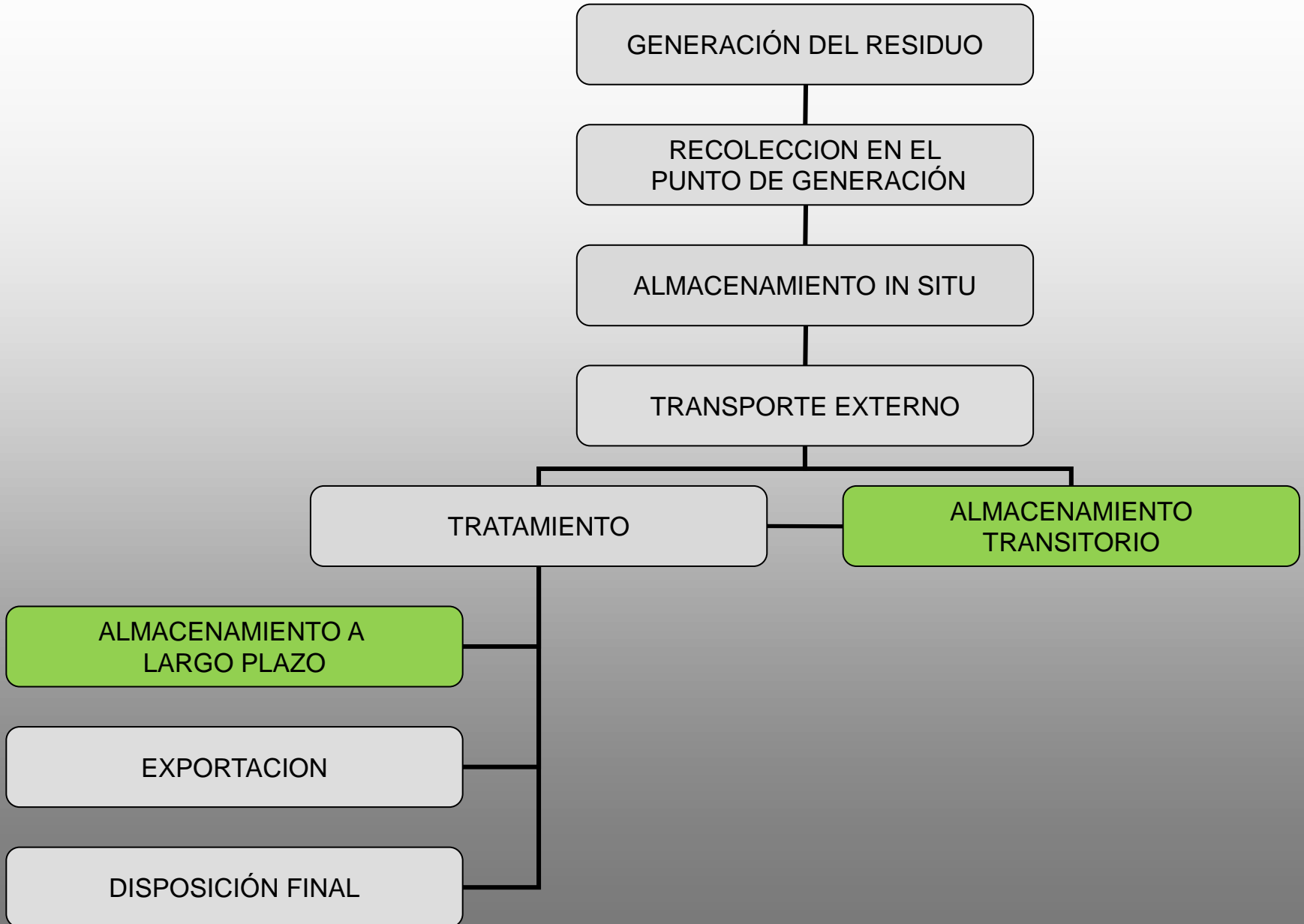
CONCLUSIONES BIPRO

- Requerimientos de aceptación:
 - Criterios de aceptación mínimo: pureza > 99.9 %, contenedores de acero al carbono.
 - Para mercurio estabilizado: tasa de lixiviación menor a 2 mg / kg base seca.
 - Para minas de sal: profundidad no menor a 300 m

CONCLUSIONES BIPRO

- Recomendaciones en base a criterios económicos y ambientales:
 - Pre tratamiento por estabilización por sulfuro y almacenamiento en minas de sal.
 - Pretratamiento por estabilización por sulfuro y almacenamiento en formaciones rocosas.
 - Almacenamiento permanente en minas de sal.

SECUENCIA DE PROCESOS / OPERACIONES



ALMACENAMIENTO TRANSITORIO Y DE LARGO PLAZO

CRITERIOS PARA LA UBICACIÓN

- Estar alejados de zonas densamente pobladas.
- No deberán almacenarse dentro o en la proximidad de lugares especialmente vulnerables, como:
 - hospitales u otras instituciones de salud pública,
 - escuelas,
 - viviendas,
 - instalaciones de elaboración de alimentos,
 - instalaciones de elaboración o almacenamiento de forrajes,
 - operaciones agrícolas

CRITERIOS PARA LA UBICACIÓN

- Distancia mínima recomendada:
150 metros
- Criterio: Cumplir con el límite de exposición ($<20 \mu\text{g}/\text{m}^3$) considerando un derrame de 81 kg de Hg en una bandeja sometida a una extracción de 15 m/s.
- Fuente: Guidance on the cleanup, temporary or intermediate storage and transport of mercury waste from healthcare facilities. UNDP GEF 2010.

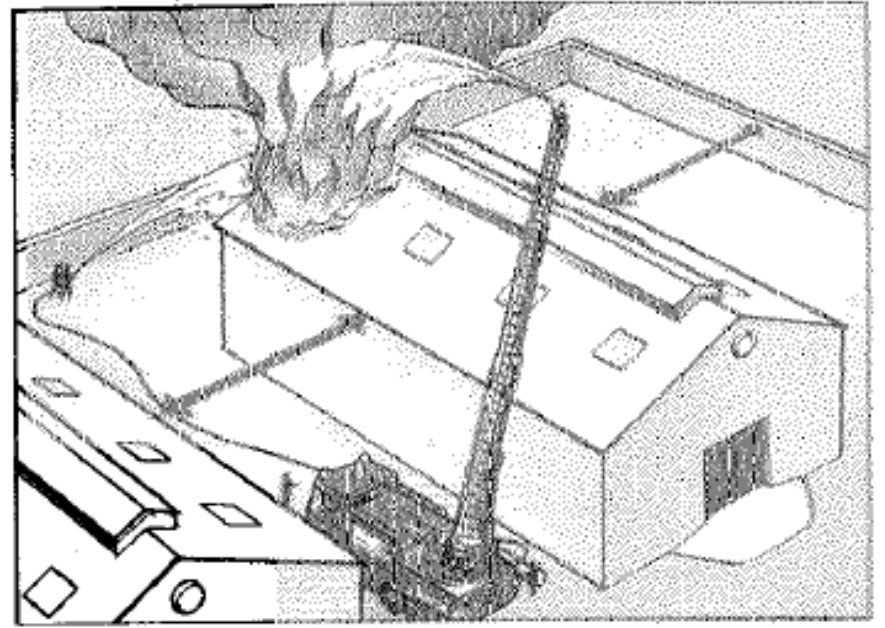
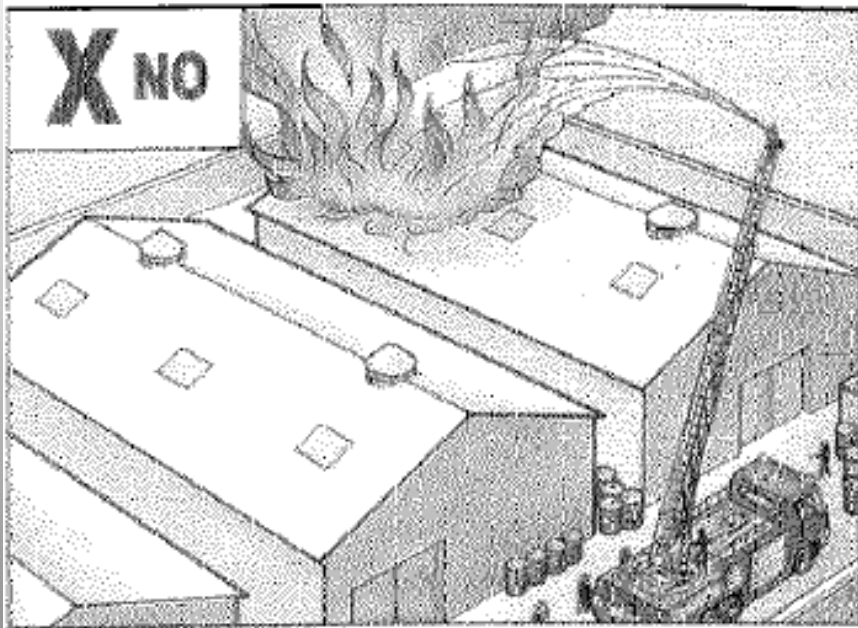
CRITERIOS PARA LA UBICACIÓN

- Estar ubicados en zonas no susceptibles a terremotos, huracanes o inundaciones.
- Al momento de la evaluación se debe considerar mas de un área.
- Preferentemente en lugares de clima seco.
- Distancia apropiada de cualquier reservorio de agua.
- Distancia apropiada de Parques Nacionales, áreas de conservación y sistemas ambientales frágiles.
- Buena estabilidad de los suelos, capaces de soportar edificios y vías de acceso seguros y robustos.
- Proximidad a carreteras o estructuras de transporte que permitan el fácil acceso de los productos a almacenar así como de los servicios de emergencia (ambulancias, bomberos, etc.).

LAY OUT

- Las instalaciones deben permitir el transporte y movimiento seguro de los residuos.
- El edificio debe estar separado de otros y permitir el acceso de equipos de emergencia por los cuatro lados.

LAY OUT



LAY OUT

- Cuatro áreas conceptuales:
 - Área de recepción y embarque
 - Área de manipulación
 - Área de almacenamiento
 - Área administrativa

LAY OUT

- **Área de recepción y embarque.**
 - Es el área que actúa como interfase entre el centro de gestión y el exterior.
 - Debe ser capaz de recibir las cargas de residuos y debe contar con sistemas para la operación de camiones (carga y descarga) e inspección de los materiales a almacenar.

LAY OUT

- **Área de manipulación.**
 - Área cerrada, separada del resto, concebida para la realización de tareas con riesgo de contaminación.
 - Tareas:
 - reenvasado de contenedores con pérdidas,
 - fraccionamientos,
 - muestreos para análisis, etc.
 - Debe contar con un sistema propio de purificación de gases y con equipos de protección personal.

LAY OUT

- **Área de almacenamiento.**
 - Área cerrada con amplia capacidad de almacenamiento y espacios adecuados para el ingreso y egreso de los residuos y su correspondiente estiba mediante equipamiento mecánico.
 - Cuenta con sistemas para la limpieza de derrames.
 - Debe facilitar la accesibilidad a todos los materiales depositados para ingreso y egreso e inspección.

LAY OUT

- **Oficina de Administración.**
 - Edificio simple próximo al depósito, físicamente separado de los sectores que operan residuos peligrosos.
 - Su función es la de ser sede de la administración del sitio incluyendo el sistema de gestión, mantenimiento de registros, capacitación, etc.

LAY OUT

- Zonas exclusivas para cada tipo de residuo (ej: resinas desmercurizantes, carbón activado, lodos de salmueras, etc.)
- El lay out estará determinado por los volúmenes de cada uno de los tipos de residuos a ser almacenados a futuro.

SEGURIDAD

- El sitio deberá contar con sistemas de seguridad que prevengan:
 - Vandalismo.
 - Hurto.
 - Incendios provocados.

SEGURIDAD

- PERÍMETRO:
 - Rodeado por una cerca de altura mínima de 2,40 metros.
 - Distancia mínima al edificio: 6 metros.
 - Con sistemas de detección de intrusos e iluminación nocturna.
 - El área perimetral debe estar libre de vegetación, residuos, equipos o cualquier objeto que impida la visualización.

SEGURIDAD

- ACCESOS:
 - Se debe minimizar el número. Ideal: 2 (uno permanente y uno para emergencias).
 - Acceso restringido a un determinado número de personas.
 - Cartelería con indicación de prohibición de acceso.
 - Más información: DOE.

DISEÑO DEL EDIFICIO

MATERIALES

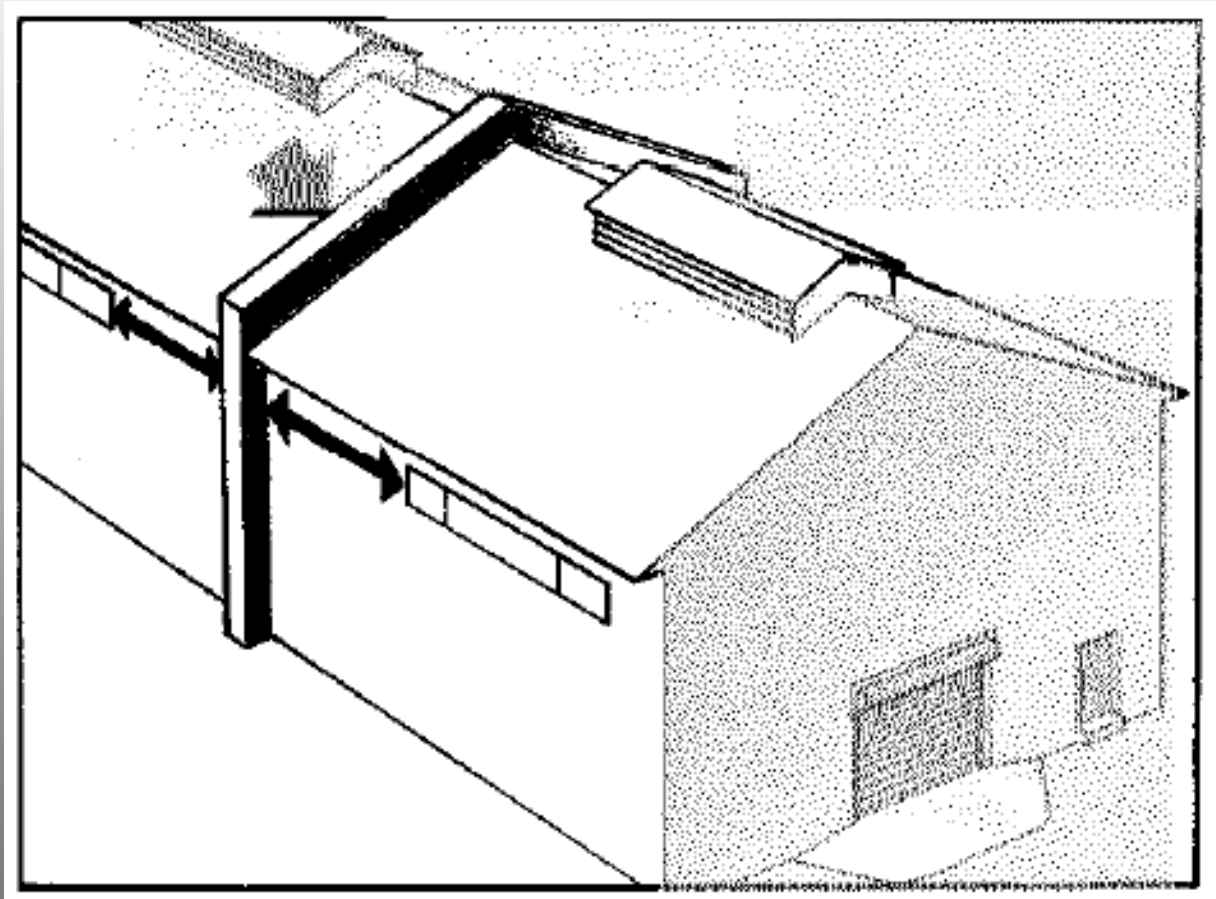
- Materiales no inflamables:
 - Concreto
 - Chapas de acero

PAREDES

- Concreto o acero.
- En el caso de acero deben contar con aislación térmica
- Si hay residuos inflamables se almacenan en recintos separados.
- Las paredes interiores deben ser lisas y estar libres de rajaduras o poros que permitan la acumulación de polvo.

PAREDES

Las paredes separadoras deben asomar un metro por encima del techo.



PISOS

- Los pisos deben ser impermeables a los líquidos.
- Lisos, antideslizantes, libres de rajadura y poros.
- Revestidos con pintura epoxi resistentes a agentes químicos.
- En caso de almacenarse mercurio elemental se sugiere colocar por debajo del piso una segunda protección (ej: geomembrana de polietileno).
- Otra opción puede ser la colocación de una lámina plástica de un espesor superior a los 6 mm .
- En todo caso deben evitarse las juntas donde podría acumularse material contaminado.

PISOS

- Deben tener una pendiente orientada hacia un sumidero capaz de recolectar derrames o agua de incendio.
- El sumidero debe estar conectado a la planta de efluentes.
- No se admite el vertido de aguas del sumidero a cursos sin el adecuado tratamiento.

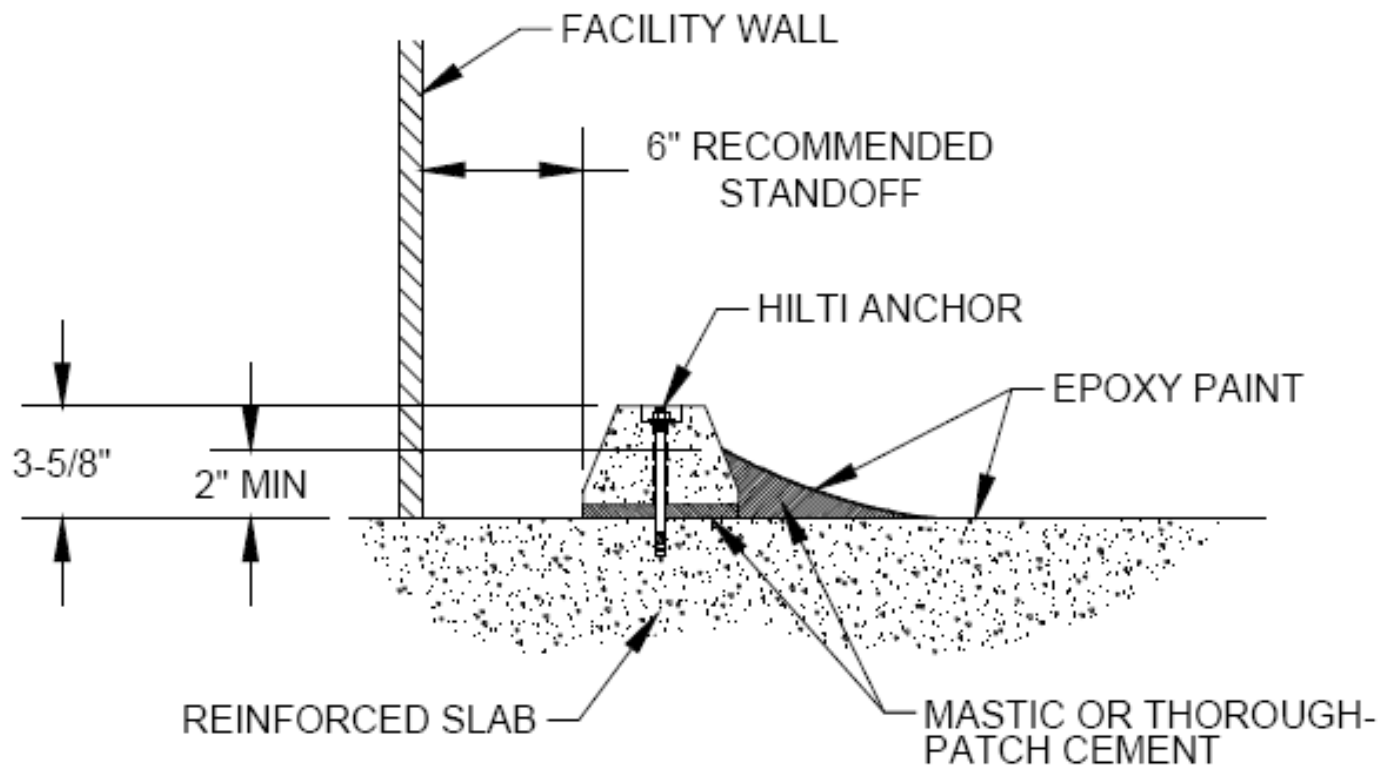
SISTEMAS DE CONTENCIÓN

- Los edificios deben contar con un sistema de contención y drenaje de:
 - Líquidos derramados.
 - Aguas de lavado.
 - Agua de combate a incendios.

SISTEMAS DE CONTENCIÓN

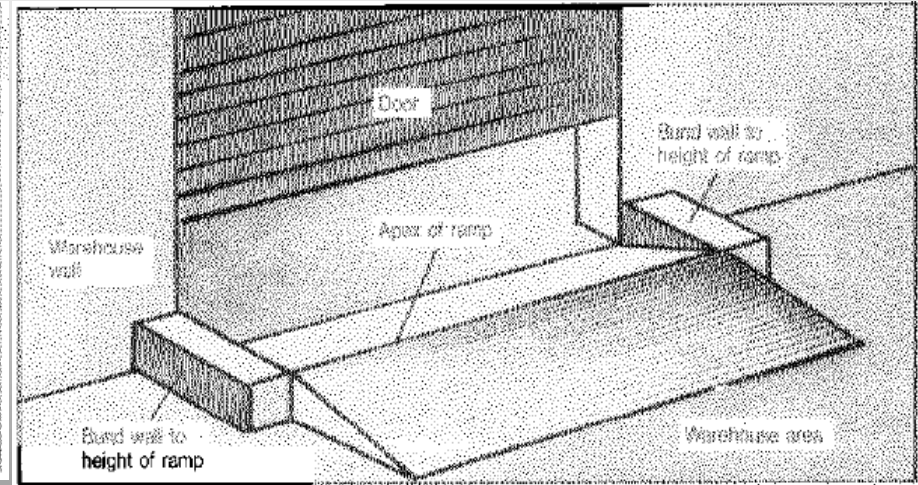
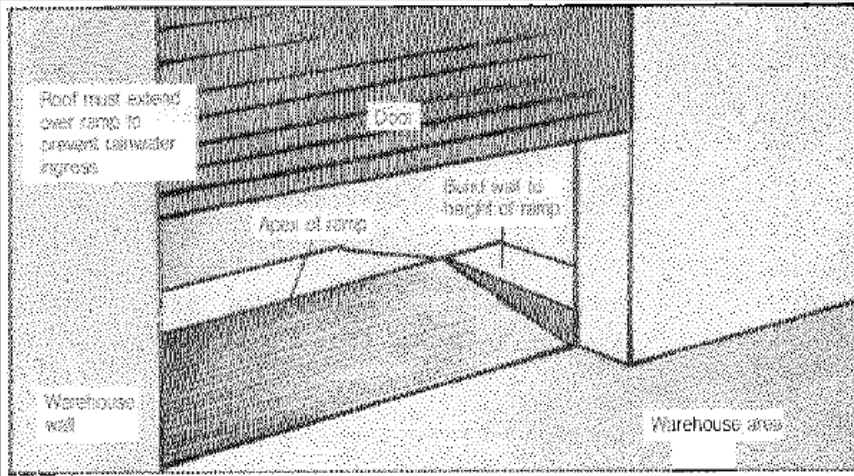
- DOS OPCIONES:
 1. Construcción del edificio por debajo del nivel del suelo con sumideros exteriores y drenaje.
 2. Construcción de un dique interior capaz de contener:
 - 125 % del volumen de líquido almacenado.
 - 5 m³ agua de incendio/tonelada de residuo inflamable

SISTEMAS DE CONTENCIÓN



SISTEMAS DE CONTENCIÓN

DISEÑO DE RAMPAS DE ACCESO



TECHOS

- Generalmente contruidos en chapas de acero.
- Evitar tirantes de madera y materiales porosos que puedan fijar vapores de mercurio.

VENTILACIÓN

- **ÁREA DE MANIPULACIÓN:**
 - Ventilación de alto tiro inducido.
 - Filtración en GAC con azufre.
 - Si maneja mercurio elemental, equipo de aire acondicionado a 21°C.
- **ÁREA DE ALMACENAMIENTO:**
 - Ventiladores de bajo vacío y alto caudal.

GESTIÓN DEL SITIO DE ALMACENAMIENTO

ENVASES

- Los envases para residuos conteniendo mercurio deben ser de metal resistente a la corrosión o de plástico.
- Deben ser herméticos y asegurar la contención segura de los residuos evitando fugas y emisiones.

RECIPIENTES PARA EL TRANSPORTE

- Especificaciones del DOE (USA).
- Dos tipos de envases:
 - 3 Litros (3-L)
 - 1 Tonelada métrica (1 MT)
- Materiales:
 - Acero al carbono. Según norma ASTM A36
 - Acero inoxidable. Según alguna de las siguientes normas: ASTM A240, ASTM A276, ASTM A511.

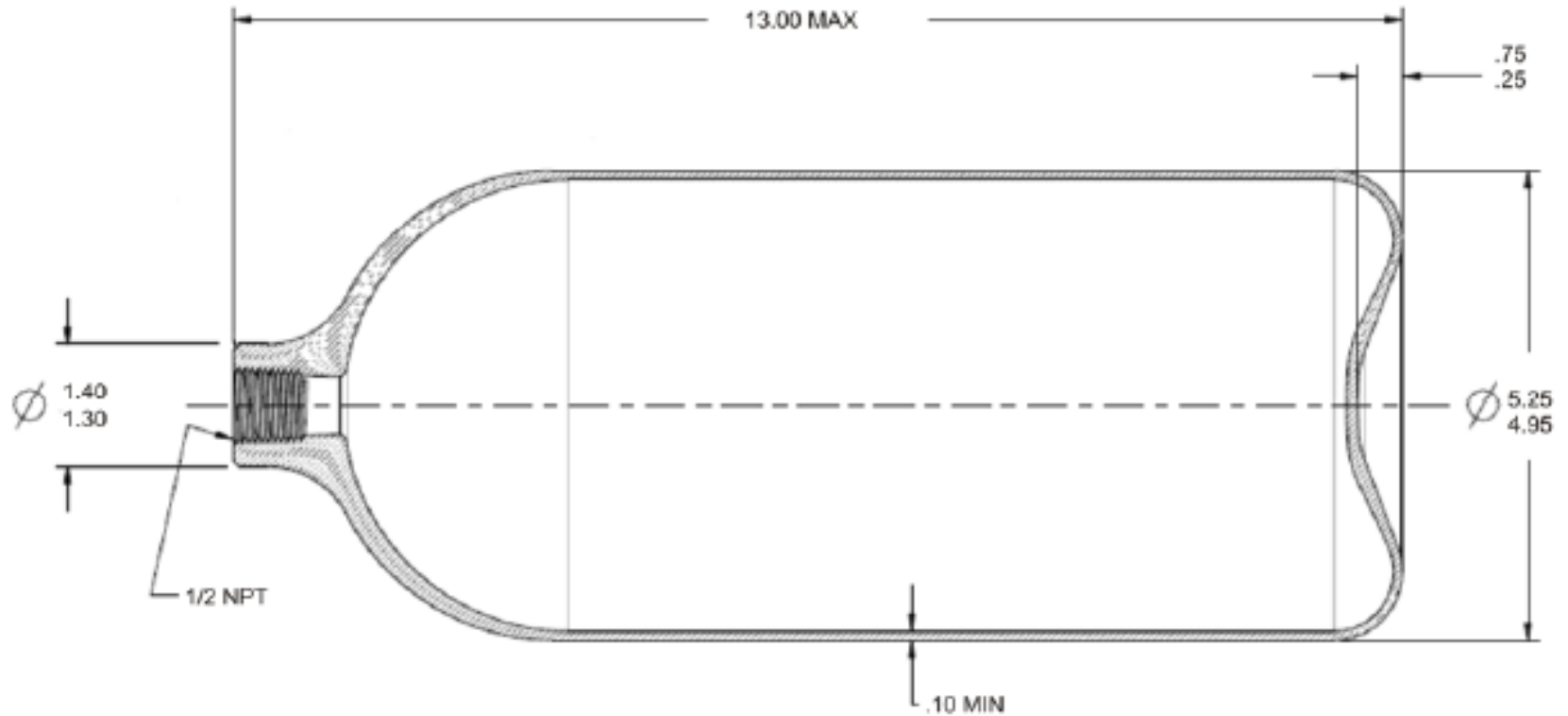
ENVASES (USA DOE)

3 LITROS

- Contienen entre 3.0 y 3.5 L. (76 libras)
- Transportados en pallets con 49 unidades.
- Los pallets deben ser ignífugos.

1 TONELADA

ENVASE 3-L



Key: MAX=maximum; MIN=minimum; NPT=National Pipe Thread.

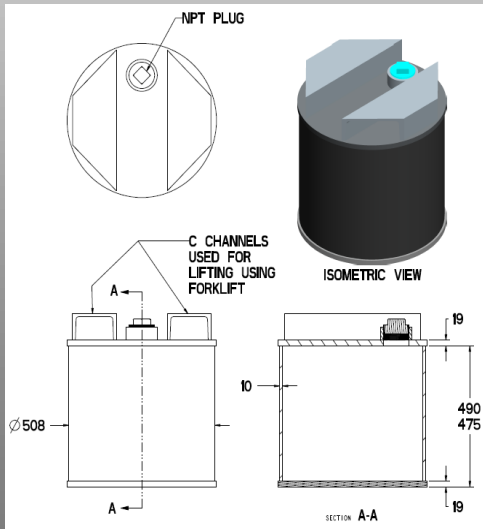
Note: To convert inches to centimeters, multiply by 2.54.

ENVASES

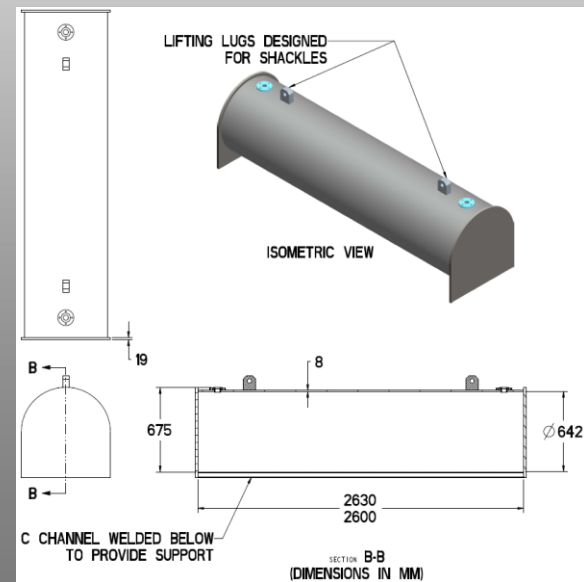


3 LITROS

- PROPUESTA DE OAK RIDGE LABORATORY



1 TONELADA



10 TONELADAS

TRANSPORTE DE ENVASES DE 3-L



Source: DOE 2009a.

Figure C-3. Example Box Pallet for Shipping 3-Liter Flasks in a 7-Flask by 7-Flask Configuration

CONTENEDOR 1 MT

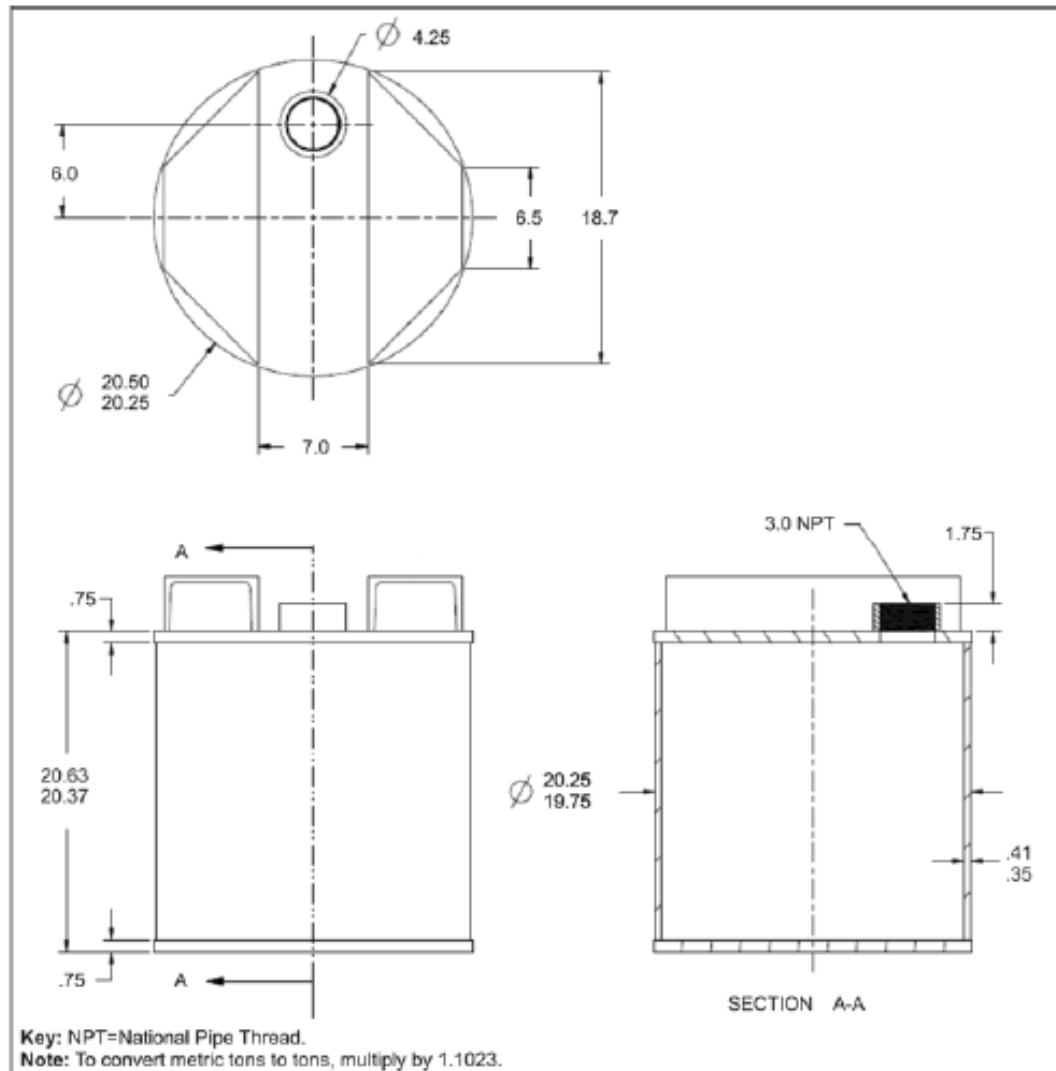


Figure C-2. Dimensions of a Typical 1-Metric-Ton Container (inches)

ENVASES UE

- Los contenedores están hechos de acero y su interior recubierto de laca.
- Deben impedir la salida de gas y líquido
- El lado exterior debe ser resistente a las condiciones del almacenamiento.
- Deben ser certificados para el almacenamiento de mercurio.
- Las soldaduras y las uniones deben ser evitadas siempre que sea posible.

ENVASES UE

- Almadén y Arrayanes (MAYASA)



RECEPCIÓN

- Al llegar los contenedores a la zona de recepción se realiza una inspección visual del estado de los mismos. Deben chequearse los siguientes aspectos:
 - Fugas de residuos no detectadas en origen.
 - Daño estructural a la integridad del contenedor.
 - Contaminación exterior de los envases o pallets.
 - Corrosión extendida, principalmente en soldaduras y tapas.
 - Identificación del lote de residuos.

RECEPCIÓN

- En caso de fugas, corrosión o daño estructural: reenvasado en área de manipulación.
- Los residuos deben clasificarse previo al almacenamiento evitando mezclas.

RECEPCION

- Se numera cada contenedor recibido y se etiqueta con la siguiente información:
 - Fecha de recepción.
 - Origen del residuo (ej: Lodos de salmuera, resina desmercurizante, etc.).
 - Cantidad en kg.
 - Contenido de mercurio.

ALMACENAMIENTO

- Espacio libre desde las pilas de residuos hasta las paredes exteriores y entre las pilas mismas a efectos de permitir el acceso para la inspección, la libre circulación de aire y acceso en caso de emergencia (incendio, derrames, etc.).
- Los residuos deben ser almacenados de tal forma que los autoelevadores puedan acceder a cada uno de ellos directamente.
- Naves o esquinas estrechas favorecen roturas y por lo tanto deben ser evitadas.
- Las naves de almacenamiento así como los pasillos y rutas de circulación de autoelevadores deben estar claramente demarcadas en el piso y libres de obstrucciones y circulación de peatones.

ALMACENAMIENTO

- La altura de las pilas de almacenamiento no debe superar los tres metros a menos que se utilicen racks portapallets en cuyo caso puede elevarse la altura previa evaluación técnica.
- Se debe contar con un plan de almacenamiento que asigne determinadas áreas del depósito para tipos específicos de residuos.
- Cada subárea estará identificada con un código y en ese sector solamente se admitirán residuos del tipo previamente asignado.

ALMACENAMIENTO

- Se debe llevar un registro de ingresos y egresos así como de stock de residuos en el que se pueda identificar inequívocamente la cantidad y tipo de residuos almacenados así como la ubicación. Este registro debe estar fácilmente disponible para inspección por parte de las autoridades así como de los equipos de emergencia.

Estado del Arte en instalaciones sobre el terreno

ALMACENAMIENTO SOBRE EL SUELO

Ejemplos:

Centro de Almacenamiento de la Defensa Nacional (Defense National Stockpile Center - DNSC) – EEUU

- El DOD almacenó de forma segura por más de 50 años, 4.436 toneladas métricas de mercurio elemental en calidad de mercancía.
- Somerville, New Jersey: 2.617 MT;
- Warren, Ohio: 1.262 MT;
- New Haven, Indiana: 557 MT;
- En 2002, 108.386 frascos fueron re- envasados y en 2005 se re-ensasaron 20.276 frascos.

Área de almacenamiento y empaque (FUENTE: DNSC- 2003)





Método del almacenamiento previo - frascos almacenados directamente sobre pallets (FUENTE: DNSC, 2007)

Almacén del Ejército en Hawthorne

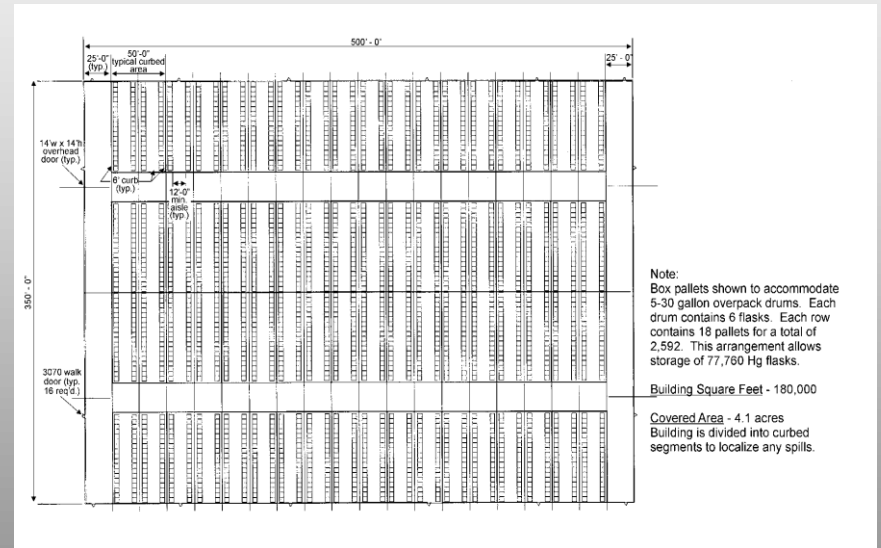
- Pisos del depósito sellados (sin drenaje) con sellador epoxi resistente al mercurio (protección de la intrusión).
- Detección de intrusiones.
- Iluminación adecuada para inspección.
- Ventilación estática.
- Todas las puertas ajustadas con diques de contención de tres pulgadas.
- Sistemas de detección continua de fuego, calor y humo.
- Sistemas de protección de incendio.
- Acceso estrictamente controlado (Sistemas de seguridad).

Almacén del Ejército en Hawthorne

- Monitoreo regular (monitoreo de rutina e inspección del mercurio).
- Equipos y suministros de protección.
- Procedimientos de emergencia (control de prevención de derrames y procedimientos de respuesta).
- Detección de intrusión por contacto positivo en todas las puertas, ventanas y venteos monitoreados continuamente.
- Diques de contención en rampa.

Almacén del Ejército en Hawthorne

- Espacio de almacenamiento: 200,000 ft² (18,581 m²)
- Pisos y paredes de concreto, una estructura de soporte de acero y sistemas de pisos agregados.
- Puertas grandes múltiples y levadizas
- 14 acres (5.7 ha) de tierras afectadas durante la construcción.
- Construcción del almacenamiento ocupará 4.6 acres (1.9 ha).
- US\$0.22-0,299 por libra/año



USA Departamento de Energía – DOE

- La ‘Mercury Export Ban Act of 2008’ (MEBA) le indica al Departamento de Energía (DOE) proveer instalaciones de almacenamiento hacia el año 2013.
- Almacenar el exceso de mercurio: recicladores de mercurio comercial, minas de oro que generan mercurio como sub producto, plantas de cloro – álcali.
- El DOE ya almacena cerca de 1.200 toneladas de mercurio en poder del Estado en su complejo de Seguridad Nacional Y-12 (Oak Ridge, Tennessee). Esta instalación no puede ser utilizada.
- US EPA estima que 7.500 a 10.000 toneladas de mercurio elemental proveniente de fuentes privadas estarán disponibles para almacenamiento en los próximos 40 años.

Características de las instalaciones de almacenamiento del DOE

- Diseño regulado / permitido por RCRA con contención de derrames adecuada.
- Control de seguridad y acceso.
- Sistemas de supresión de fuego.
- Áreas de almacenamiento ventiladas.
- Edificios totalmente herméticos, protegidos de la intemperie.
- Pisos de concreto reforzado adecuados para almacenamiento de mercurio.

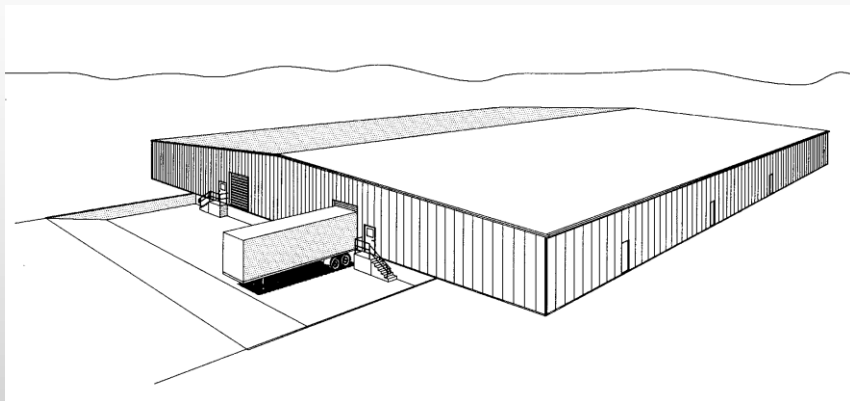
Áreas de Almacenamiento

- Áreas para administración , recepción y embarque, almacenamiento y manipulación.
- Área de almacenamiento del 90% de la superficie de piso con un gran espacio abierto similar al de depósito donde el almacenamiento, inspección y monitoreo podría ser efectivamente desarrollado.
- Acepta dos tipos de contenedores: garrafas de 3 litros (34.6 kg) y contenedores de 1 tonelada.
- Los estantes con pendientes de 3°.

Hasta Abril 2010

- Noviembre 2009 – DOE publicó “Interim Guidance on Packaging, Transport, Receipt, Management, and Long-Term Storage of Elemental Mercury”
- De acuerdo al criterio de selección, siete de los diez sitios potenciales parecen ser ubicaciones alternativas razonables.
- Borrador de EIS fue emitido en Enero de 2010.
- Después de comentarios públicos, se espera que para el otoño de 2010 se publique un EIS.

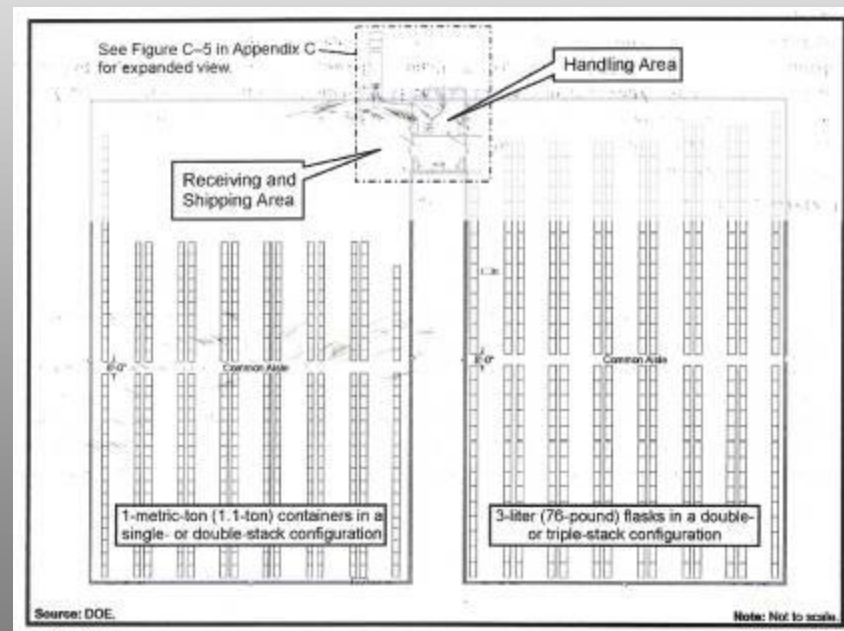
ALMACENAMIENTO SOBRE EL SUELO EEUU



Exterior del edificio de almacenamiento (**SOURCE:** DOD, 2009)

- Compatibilidad con las actividades de gestión de residuos, con los planes de uso del suelo y los acuerdos regulatorios
- Localización remota
- Baja densidad poblacional en las inmediaciones
- Ningún cuerpo de agua superficial cerca
- Líneas de transporte por tren existente
- Impactos ambientales similares a los de los demás candidatos;

Comparación entre 10 áreas selección de 7



Concepto de un lay-out en el interior del área de almacenamiento (**FUENTE:** DOD, 2009)

MINAS DE ALMADÉN - MAYASA ESPAÑA - EU

- EU financió el proyecto MERSADE - “Mercury Safety Deposit” desarrollado por Minas de Almadén y Arrayanes, S.A. (Mayasa).
- Participantes: CENIM (Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas) y la Universidad de Castilla la Mancha.
- MAYASA - España es la mayor compañía que trata mercurio líquido aparte de otras fuentes (recibe mercurio de plantas de cloro – álcali de plantas decomisionadas).
- La compañía utiliza un edificio auxiliar sobre el terreno como un depósito para almacenar el mercurio. La instalación está ubicada sobre una antigua mina de mercurio.
- Proyecto de almacenamiento a largo plazo (próximos 50 años): 8.000 tons.

Operación MAYASA

- El mercurio metálico es almacenado en garrafas (34.5 kg netos), contenedores (1 ton.) o tanques a granel.
- Las garrafas y contenedores también son usados para el transporte de mercurio líquido.
- La pureza del mercurio almacenado es 99.99 %.
- El mercurio que no cumple con este criterio debe ser sometido a una limpieza previa al almacenamiento.

Piso MAYASA

- Los tanques son colocados en una pileta construida de concreto.
- Todas las áreas donde el mercurio es manipulado, almacenado o empacado están tratadas especialmente con pintura epoxi resistentes al agua, aplicada en paredes y pisos.
- Los pisos tienen una pequeña pendiente dirigida a una pileta central de recolección.

Control del Vapor

- Están instalados sistemas de desplazamiento de gas y filtros de carbón activada.
- Las emisiones de mercurio de procesos operativos (ej: llenado de tanques) son monitoreadas.
- Las emisiones de mercurio desde el sitio de almacenamiento se estiman (por modelado) en aproximadamente 15 kg/año.
- Proyecto para crear el centro tecnológico nacional para la descontaminación del mercurio.

INSTALACIONES SOBRE TERRENO COMO UNA OPCIÓN PARA LAC

- Es la opción más consolidada: 40 años.
- No utiliza recursos naturales directamente: socialmente mas aceptable.
- No necesidad de pretratamiento.
- Técnicamente más fácil para controlar pero más cara.
- Se requiere estabilidad política y/o institucional.
- Control de seguridad y riesgos.
- Utilizados para almacenamiento a corto o largo plazo.

EXPORTACIÓN A UN SITIO DE ALMACENAMIENTO

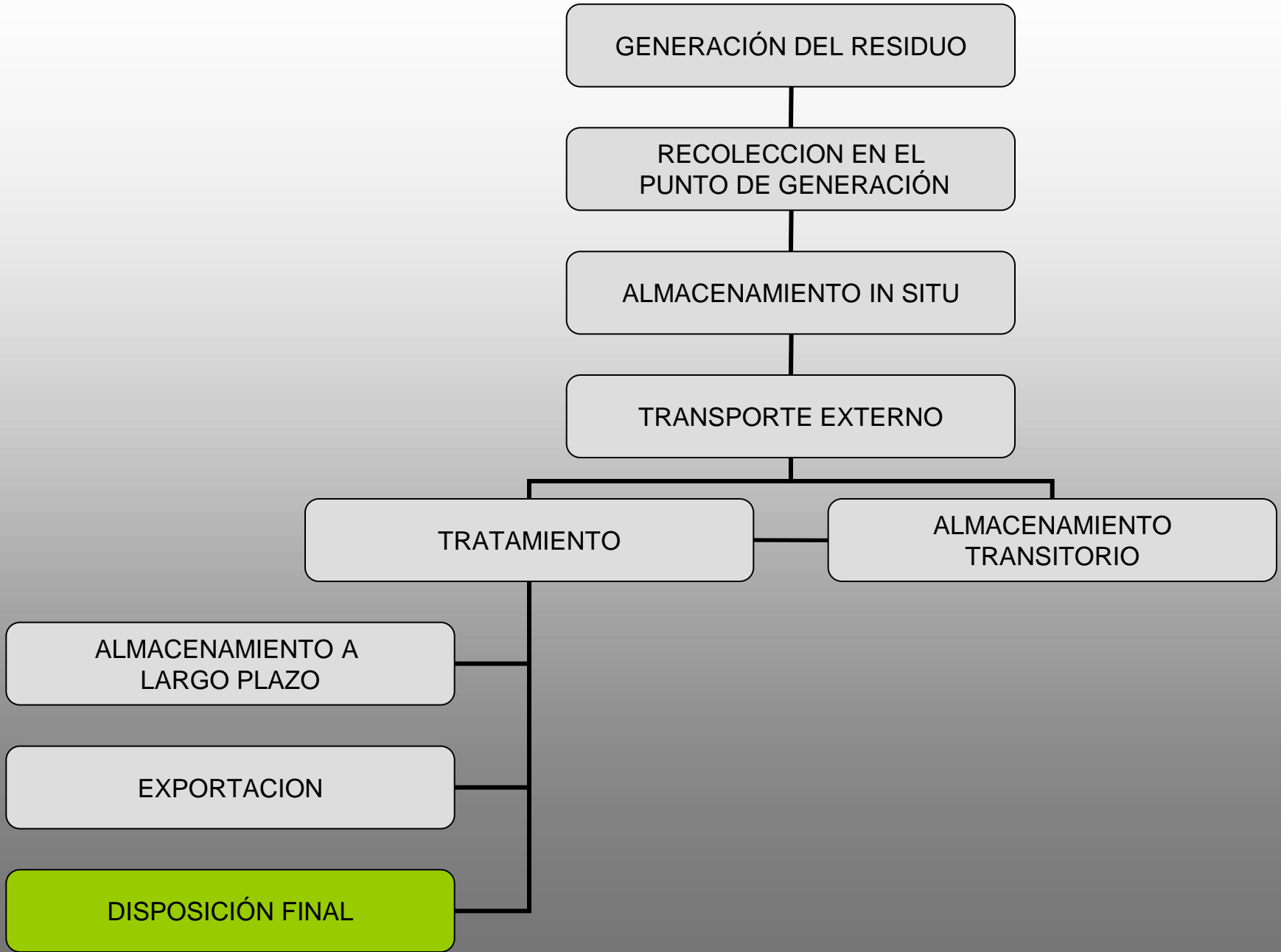
EXPORTACIÓN

- Es una opción para países con poco excedente o con riesgos geográficos o climáticos. Eventualmente es una opción para todos los países.
- Requiere de acuerdos o negociaciones con los sitios de almacenamiento (Mayasa, minas de sal en Alemania, DOE solo EEUU).
- Mercurio exportado hasta ahora fue a recuperación para reventa, no para almacenamiento. Costos de la exportación no tuvieron que cubrir costos de tratamiento y almacenamiento.
- Amenaza: Europa evaluará prohibir importaciones de mercurio metálico

EXPORTACIÓN PARA UN SITIO DE ALMACENAMIENTO

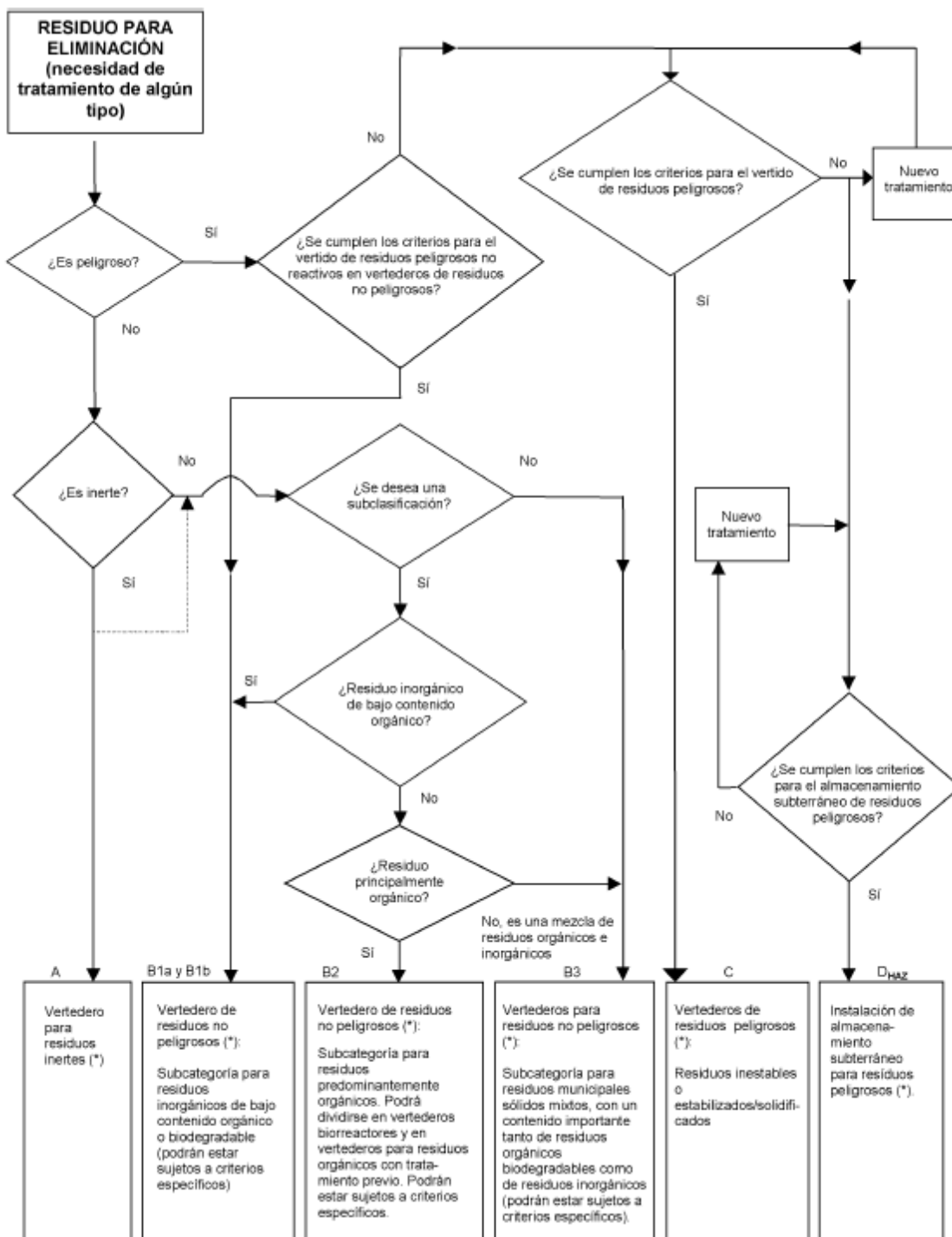
- La mejor solución para países donde los riesgos de fenómenos naturales son factores importantes a tener en cuenta .
- Puede combinarse con instalaciones sobre superficie para almacenamiento interino localizado cerca de puertos o aeropuertos.
- Requiere de acuerdos bilaterales de cooperación con países que disponen de instalaciones seguras para el almacenamiento de mercurio, para la aprobación de las exportaciones y la reducción de los costos relacionados a su disposición final

SECUENCIA DE PROCESOS / OPERACIONES



DISPOSICIÓN FINAL EN LA UE

- Regulada por la Decisión 2003/33/EC.
- Clasifica a los vertederos en tres categorías:
 - Para residuos inertes.
 - Para residuos no peligrosos (con tres subcategorías)
 - Para residuos peligrosos.



DISPOSICIÓN FINAL EN LA UE

ESPECIFICACIONES DE Hg EN LIXIVIACIÓN

- Residuos inertes: $< 0,002$ mg/L
- Residuos no peligrosos: $< 0,03$ mg/L
- Residuos peligrosos admisibles en no peligrosos: $< 0,03$ mg/L
- Residuos peligrosos: $< 0,3$ mg/L

DISPOSICIÓN FINAL EN USA

- Controlada por:
 - Resource Conservation and Recovery Act (RCRA), aprobada en 1976.
 - Land Disposal Restrictions (LDR) de la USEPA de 1984.
- La LDR clasifica a los residuos en tres categorías:
 - Alto mercurio
 - Bajo mercurio
 - Mercurio elemental

DISPOSICIÓN FINAL EN USA

Residuos de bajo mercurio

- Residuos peligrosos que contienen menos de 260 mg/kg de mercurio total.
- Se requiere que estos residuos sean tratados hasta alcanzar un cierto nivel cuantitativo:
 - 0.20 mg/L medido según el Procedimiento de Toxicidad Característica de Lixiviado (TCLP) para residuos con mercurio de retorta
 - 0.025 mg/L para todos los otros residuos de bajo mercurio.
 - Estas concentraciones son generalmente alcanzadas por tratamientos de estabilización / solidificación.

DISPOSICIÓN FINAL EN USA

Residuos de alto mercurio:

- Son aquellos característicamente peligrosos y que contienen más de 260 mg/kg de mercurio total.
- Generalmente se les exige ser sometidos a cocción o retorta.
- A los residuos del proceso se los somete a la misma evaluación de los anteriores.

DISPOSICIÓN FINAL EN USA

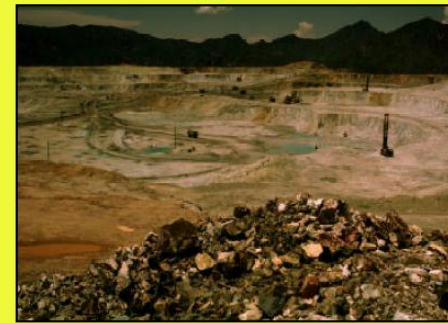
Mercurio elemental

- Deben ser tostados o retortados, si es que contienen igual o más de 260 mg/kg de mercurio total.
- Las corrientes de residuos que contienen mercurio y que estén contaminadas con materiales radioactivos están obligadas a ser tratadas por amalgamación,

- **Vertederos especialmente diseñados (SEL).**

Sitios para la disposición segura de residuos sólidos que aseguran el aislamiento entre ellos y con el ambiente.

**BASEL CONVENTION
TECHNICAL GUIDELINES
ON SPECIALLY ENGINEERED
LANDFILL**



**Basel Convention on the Control of
Transboundary Movements on
Hazardous Wastes and Their Disposal**

No. 3



Vertederos especialmente diseñados

- Criterios a seguir:
 - Ubicación
 - Diseño
 - Construcción
 - Operaciones
 - Monitoreo
- Controles y procedimientos sobre:
 - Selección del sitio
 - Diseño y construcción
 - Operación y monitoreo
 - Clausura y postclausura

DISPOSICIÓN FINAL

