

129
2ej



Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE QUIMICA

Tratamiento y uso de lodos generados en las plantas de tratamiento de aguas residuales.

TRABAJO MONOGRAFICO DE ACTUALIZACION
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERA QUIMICA
P R E S E N T A:
MARIBEL ROCHA MENDEZ

México, D. F.

1993.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

INDICE

	Página
Introducción	1
Capítulo 1.Generalidades sobre Residuos Peligrosos	
1.1 Residuos	4
1.2 Residuos peligrosos	4
1.3 Criterios para identificar residuos peligrosos	4
1.4 Reglamento de mezclas	6
1.5 Generación de residuos peligrosos	7
1.6 Fuentes de residuos peligrosos	7
1.7 Legislación	9
Capítulo 2.Almacenamiento de Residuos Peligrosos	
2.1 Requerimientos para contenedores de residuos peli- grosos	12
2.2 Selección de contenedores	13
2.3 Tipo de contenedores de acuerdo al tipo de residuo peligroso	14
2.4 Legislación.Almacenamiento de contenedores	15
2.5 Requisitos para areas de almacenamiento de conte- nedores	17
2.6 Registro en el área de almacenamiento de conte- nedores	18
2.7 Otra opción para almacenamiento de residuos peli- grosos	19
Capítulo 3.Señalización de Residuos peligrosos	
3.1 Etiquetas	24
3.2 Etiquetas secundarias	28
3.3 Carteles	29
3.4 Letreros	32
3.5 Transportación	32
Capítulo 4.Lodos generados en las plantas de tratamiento de aguas residuales	
4.1 Características de los lodos	37
4.2 Propiedades de los lodos	39
4.3 Estabilización de lodos	45
4.4 Digestión aerobia	46
4.5 Digestión anaerobia	53
4.6 Composteo	66
4.7 Tratamiento con cal	79
4.8 Cloración	83
Capítulo 5.Disposición final de lodos	
5.1 Características de los lodos que afectan su a- plicación en la tierra	86
5.2 Evaluación y selección del lugar para aplica- ción de lodos	89
5.3 Inyección en pozos profundos	95
5.4 Relleno	96
5.5 Alimento para animales	96
Conclusiones	97
Anexo 1	100
Anexo 2	104
Bibliografía	107

INDICE DE TABLAS

No.Tabla	Nombre	Página
1	Ejemplo de industrias productoras de grandes cantidades de residuos peligrosos	8
2	Forma para inspección del área de almacenamiento de contenedores	20
3	Comparación de nutrientes entre un fertilizante comercial y lodo de agua residual	43
4	Contenido de metales en el lodo de agua residual	43
5	Parámetros de diseño para DAC y DACH	61
6	Razón de diferente MA al lodo y los efectos en la temperatura	78
7	Requerimientos de cal para mantener un pH=12 por 35 min	81
8	Estimado de los requerimientos de cloro para lodos	83
9	Aplicación del lodo en la tierra	89
10	Distancia del terreno a aguas subterráneas	91

INDICE DE FIGURAS

No. figura	Nombre	Página
1	Contenedor de acero para el almacenamiento de residuos peligrosos	14
2	Dimensiones del rombo que debe incluir la etiqueta	26
3	Ejemplo de una etiqueta utilizada para almacenamiento de residuos peligrosos	27
4	Carteles de seguridad en remolques	30
5	Dimensiones de un cartel	31
6	Proceso de conversión. Digestión anaerobia	53
7	Digestión anaerobia convencional	56
8	Digestión anaerobia completamente mezclada	57
9	Digestión anaerobia en dos etapas	59
10	Proceso de composteo	69
11	Composteo en camellón	71
12	Composteo en pila estática	73
13	Composteo en pila estática extendida	75
14	Reactor de un sistema de composteo	76
15	Proceso de estabilización de lodos con cloro	84

INTRODUCCION

Debido a la necesidad de familiarizarnos con términos y manejos utilizados para residuos industriales, este trabajo presenta en sus tres primeros capítulos una recopilación muy concreta y específica de los términos manejados en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, así como en sus reglamentos y normas aplicables, con especial interés en los residuos industriales que representan algún peligro para la salud pública y el ambiente; se hace énfasis en como identificar a un residuo industrial peligroso, al almacenamiento seguro y adecuado de los residuos peligrosos, así como el reconocimiento de éstos mediante el uso de etiquetas y señalamientos correctos.

En el capítulo cuatro se presenta la problemática de los lodos generados en las plantas de tratamiento de aguas residuales, siendo el propósito principal de este capítulo describir los diferentes procesos utilizados para la estabilización de dichos lodos. Los procesos estudiados son: Digestión aerobia, digestión anaerobia, composteo, tratamiento con cal y cloración, los cuales mediante la reducción de patógenos, eliminación de olores desagradables y reducción o inhibición del potencial a la putrefacción producen un lodo con características tales que su disposición final sea aceptable en términos de ambiente y salud pública. En los diferentes procesos de estabilización de lodos se presentan las variaciones existentes, así como las ventajas y desventajas de cada uno de ellos entre otras cosas.

Por último, en el capítulo cinco se presentan las alternativas para la disposición final de los lodos generados en las plantas de tratamiento de aguas residuales.

CAPITULO I

GENERALIDADES SOBRE RESIDUOS PELIGROSOS

Dentro de los residuos generados en las diversas industrias manufactureras, se encuentran aquellos residuos que por sus características corrosivas, inflamables, tóxicas, explosivas o reactivas representan un riesgo para el personal encargado de su manejo así como para el ambiente. A estas sustancias se les denomina residuos peligrosos. En la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, se establece que las empresas generadoras de residuos deben determinar si éstos son peligrosos. En este capítulo se indican los criterios que permiten identificar si un residuo es peligroso.

Desafortunadamente no se tienen suficientes datos de las cantidades de residuos peligrosos generados en la industria debido a que los registros de producción son confidenciales y no se permite su libre acceso. Se conoce que entre las principales industrias productoras de residuos peligrosos se encuentran la industria metalúrgica, química y eléctrica. Estas empresas deben cumplir con los lineamientos establecidos en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en lo referente a la generación de residuos peligrosos; dichos lineamientos se señalan en el presente capítulo, de tal forma que los residuos peligrosos no representen peligro alguno para el ambiente y la salud pública.

Definiciones:

1.1 RESIDUO. Cualquier material generado en los procesos de extracción, beneficio, producción, consumo, utilización, control o tratamiento cuya calidad no permita usarlo nuevamente en el proceso que lo generó.

1.2 RESIDUO PELIGROSO. Todos aquellos residuos, en cualquier estado físico, que por sus características corrosivas, tóxicas, venenosas, reactivas, explosivas, inflamables, biológicas infecciosas o irritantes, representen un peligro para el equilibrio ecológico o el ambiente.

CRITERIOS PARA IDENTIFICAR RESIDUOS PELIGROSOS

La norma técnica ecológica NTE-CRP-001/88 define un residuo como peligroso si cumple con una o varias de las siguientes características:

CORROSIVIDAD

Un residuo se considera peligroso cuando por su corrosividad:

- En solución acuosa presenta un pH menor o igual a 2 o mayor o igual a 12.5.
- En estado líquido es capaz de corroer el acero al carbón (SAE 1020), a una velocidad de 6.35 mm/año a 55°C.

TOXICIDAD AL AMBIENTE

Al hacer la prueba de extracción para toxicidad conforme a la norma técnica ecológica NTE-CRP-002/88, aparezcan uno o más de los constituyentes que en la NTE-CRP-001/88 se mencionan (Anexo 1) y al efectuar los métodos de análisis previstos en la norma técnica ecológica correspondiente presenten concentraciones mayores o iguales en los límites señalados en dicho listado.

REACTIVIDAD

Se considera peligroso un residuo cuando por su reactividad:

- Bajo condiciones de golpe, presión, temperatura o espontáneamente se descompone, combina o polimeriza vigorosamente.
- Normalmente es inestable y se combina o transforma violentamente sin detonación.
- Reacciona con el agua y forma mezclas potencialmente explosivas o genera gases, vapores o humos en cantidades suficientes para provocar desequilibrio ecológico o daños al ambiente.
- Posee en su constitución sustancias que cuando se exponen a condiciones de pH adecuadas pueden generar, gases, vapores o humos en cantidades suficientes que constituya un riesgo para el ambiente.
- Es capaz de producir radicales libres.

EXPLOSIVIDAD

- Es mas sensible a golpes o fricción que el dinitrobenceno.
- Es capaz de producir una reacción de descomposición detonante o explosiva a 25°C y una atm.

INFLAMABILIDAD

Un residuo se considera peligroso por su inflamabilidad cuando:

- En solución acuosa, contiene mas de 24% de alcohol en volumen.
- Es líquido con punto de inflamación menor de 60°C.
- No es líquido, pero es capaz de causar fuego por fricción, absorción de humedad o cambios químicos espontáneos.
- Se trata de gases comprimidos inflamables o agentes oxidantes.

1.4 REGLAMENTO DE MEZCLAS

La definición de residuos peligrosos establece que es "residuo peligroso cualquier material que contenga mezclas de residuos sólidos y uno o más de los residuos enlistados" (Anexo 1). Si una mínima cantidad de residuo enlistado se mezcla con el residuo sólido, todo el flujo de residuos debe ser manejado como peligroso. Esta regla se aplica sin importar la concentración de residuo enlistado.

Sin embargo, si un residuo es peligroso, sólo por que presenta una característica peligrosa (como es reactividad), su mezcla con un residuo sólido, no necesariamente da como resultado una mezcla de residuo peligroso, sólo si se presenta, además, una de las características de peligro.

1.5 GENERACION DE RESIDUOS PELIGROSOS

Desafortunadamente existe muy poca información de las cantidades de residuos peligrosos generados dentro de una comunidad y la industria. Los registros de producción de la industria son propios de ésta y generalmente no accesibles. Sin información de la producción resulta imposible desarrollar una unidad de datos de la generación de residuos. Además la generación de residuos peligrosos dentro de la industria es irregular, dándonos parámetros de generación de residuos peligrosos que no representan sentido alguno.

1.6 FUENTES DE RESIDUOS PELIGROSOS

- Químicos Tóxicos: Compañías químicas, de agricultura, almacenes de químicos y pinturas, laboratorios de colegios y universidades, compañías de construcción, hospitales y clínicas, torres de enfriamiento, plantas generadoras de potencia, reparadoras electrónicas y de radio, lavanderías etc.
- Residuos inflamables: Lavanderías en seco, plantas reformadoras de petróleo, facilidades de refinación y procesado de petróleo, estaciones de servicio.
- Explosivos: Compañías de construcción, empresas productoras de municiones.

Tabla 1. Ejemplos de Industria productoras de grandes cantidades de residuos peligrosos.

INDUSTRIA	RESIDUO	COMPONENTE PELIGROSO
Acabado y electroplata- do de metales	Residuos platea- dos y licores -- gastados	Cu, Ni, cromatos y fos- fatos
Fundición y refina- ción de metales	Escoria	Al, Zn, Cu, Pb, Fluoruro
Producción de piel	Licores de cur- tiduría	Cr, sulfuro
Industria electrónica	Soluciones gas- tadas del graba- do de agua dura	Cu, Ni, Cd, Pb
Industria metalúrgica	Lodos	Metales pesados, selenio Sb, As
Manufacturera de tinte	Licores de tin- te	Sulfuros, polisulfuros
Industria Química	Lodos del tra- tamiento de e- fluentes	Cu, Fe, Ni, Cr, Pb, fluo- ruro
Purificación de gas	Oxidos gastados y residuos de sulfuro	As, Sb, sulfuros, poli- sulfuros

1.7 LEGISLACION EN CUANTO A LA GENERACION DE RESIDUOS PELIGROSOS

El Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en materia de Residuos Peligrosos establece:

Art.7 Quienes pretendan realizar obras o actividades públicas o privadas por las que puedan generarse o manejarse residuos peligrosos, deberán contar con la autorización de la secretaría en los términos de los artículos 28 y 29 de la ley.

En la manifestación de impacto ambiental correspondiente, deberán señalarse los residuos peligrosos que vayan a generarse o manejarse con motivo de la obra o actividad de que se trate, así como las cantidades de los mismos.

Art 8 El generador de residuos peligrosos deberá:

- I. Inscribirse en el registro que para tal efecto establece la secretaría.
- II. Llevar una bitácora mensual sobre la generación de sus residuos peligrosos.
- III. Dar a los residuos peligrosos el manejo previsto en el reglamento y en la normas técnicas ecológicas respectivas.
- IV. Manejar separadamente los residuos peligrosos que sean incompatibles en los términos de las normas técnicas ecológicas respectivas.
- V. Envasar sus residuos peligrosos en recipientes que reúnan las condiciones de seguridad previstas en el reglamento y en las normas técnicas ecológicas correspondientes.

VI. Identificar sus residuos peligrosos con las indicaciones previstas en este reglamento y en las normas técnicas ecológicas correspondientes.

VII. Almacenar sus residuos en condiciones de seguridad y en áreas que reúnan los requisitos previstos en el presente reglamento y en las normas técnicas ecológicas.

VIII. Transportar sus residuos peligrosos en los vehículos que determina la Secretaría de Comunicaciones y Transporte bajo las condiciones previstas en este reglamento y en las normas técnicas ecológicas correspondientes.

IX. Dar a los residuos peligrosos el tratamiento que corresponda de acuerdo con lo dispuesto en el reglamento y en las normas técnicas ecológicas correspondientes.

X. Dar a los residuos peligrosos la disposición final que corresponda de acuerdo con los métodos previstos en el reglamento y conforme a lo dispuesto por las normas técnicas ecológicas aplicables.

XI. Remitir a la secretaría, en el formato que ésta determine, un informe semestral sobre los movimientos que hubiere efectuado con sus residuos peligrosos durante dicho período.

CAPITULO 2

ALMACENAMIENTO DE RESIDUOS PELIGROSOS

El almacenamiento apropiado de residuos peligrosos evita la ocurrencia de posibles emergencias en las que no solo se produzcan daños materiales, sino humanos que son de gran importancia para la industria manufacturera.

Para llevar a cabo el almacenamiento seguro de residuos peligrosos, se debe tener en consideración las características del residuo, de acuerdo a éstas se elige el tipo de contenedor a usarse. Los contenedores que almacenen residuos peligrosos deben cumplir con ciertos requerimientos, indicados en el presente capítulo, de tal manera de evitar condiciones inseguras y de peligrosidad.

Por otro lado, las áreas de almacenamiento en las que se encuentran los contenedores deben cumplir con ciertas condiciones que permitan llevar a cabo las acciones convenientes en caso de presentarse una emergencia, aunque si se cumple con los lineamientos establecidos en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente y con los requisitos adicionales establecidos en éste capítulo, la probabilidad de que ocurra una emergencia grave es menor.

El área de almacenamiento de residuos peligrosos no necesariamente debe ser una unidad fija, sino que puede ser una unidad de almacenamiento no-fija, siempre y cuando cumpla con la reglamentación existente, sea durable estructuralmente, presente resistencia al fuego y a la explosión, son algunas entre otras condiciones que deben tenerse en consideración al elegir una unidad de almacenamiento no-fija.

CONTENEDORES

2.1 REQUERIMIENTOS PARA CONTENEDORES DE RESIDUOS PELIGROSOS

- Si un contenedor con residuos no se encuentra en buenas condiciones o comienza a gotear, transfiera el contenido a un contenedor en buenas condiciones o bien distribuya el contenido.
- Utilice contenedores hechos o revestidos con materiales que no reaccionen ni sean incompatibles con el residuo almacenado.
- Cada contenedor debe ser etiquetado con la leyenda de "Residuo peligroso".
- La capacidad de acumulación de cada contenedor debe estar marcada claramente en cada contenedor. La acumulación del contenedor debe estar visible para inspección.
- Mantenga cubiertos los contenedores durante el período de almacenamiento, excepto al añadir o extraer los residuos.
- Residuos incompatibles o residuos incompatibles y materiales no deben ser colocados en el mismo contenedor.
- Un residuo peligroso no debe ser colocado en un contenedor que no se haya lavado y que previamente haya almacenado un residuo incompatible o residuo incompatible y materiales.
- Residuos peligrosos incompatibles y materiales próximos deben ser separados y protegidos por diques, paredes o estar suficientemente separados.
- No abra, maneje ni almacene contenedores, de tal suerte que pueda causar su fractura o daño.
- Los residuos volátiles no deben almacenarse bajo la luz directa del sol.

- Los residuos líquidos no deben almacenarse bajo condiciones que puedan provocar su congelación.
- Los residuos inflamables o reactivos deben almacenarse por lo menos a 15 m de los límites de propiedad de las instalaciones.
- Residuos inflamables o reactivos deben estar separados y protegidos de las fuentes de inflamación o reacción (flamas abiertas, cortadoras, superficies calientes, hornos, chimeneas, chispas soldadoras).
- Señales de "No fumar" deben colocarse donde exista un residuo
- Se recomienda documentar cualquier acción llevada a cabo, por ejemplo, la transferencia de algún residuo de un contenedor a otro.

2.2 SELECCION DEL TIPO DE CONTENEDOR

Los contenedores y facilidades usados en el almacenamiento y manejo de residuos peligrosos son seleccionados en base a las características de los residuos. Por ejemplo, ácidos corrosivos o soluciones caústicas, son almacenados en contenedores de fibra de vidrio para prevenir el deterioro de metales en el contenedor. Debe tenerse cuidado para evitar el almacenamiento de residuos incompatibles en el mismo contenedor. Codisposición de residuos incompatibles puede llevar a cabo el desarrollo de situaciones peligrosas a través de la generación de calor, fuego, explosiones o liberación de sustancias tóxicas.

2.3 TIPO DE CONTENEDOR DE ACUERDO AL TIPO DE RESIDUO

- Químicos Tóxicos. Tambores de metal con capacidad de 208 l, se deben tener precauciones especiales de mezclado para prevenir reacciones peligrosas, también se deben tener facilidades de lavado para contenedores vacíos.
- Residuos inflamables. Se utilizan tambores de metal con capacidad de 208 l, los cuales deberán contar con control de temperatura y ventilación de vapores.
- Residuos explosivos. Contenedores amortiguadores, los cuales deben contar con un control de temperatura.

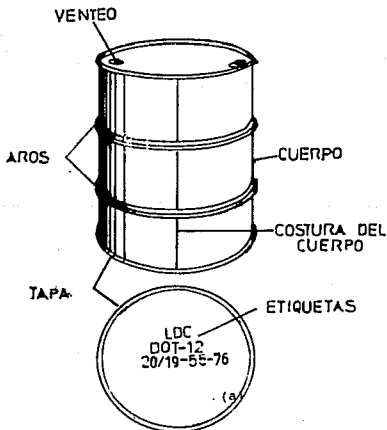
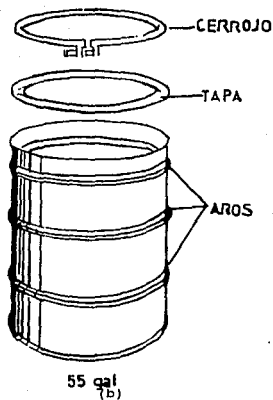


Fig. 1 Ejemplo de un contenedor de acero para el almacenamiento de residuos peligrosos. (a) Contenedor con tapa cerrada, (b) Contenedor con tapa abierta.



2.4 LEGISLACION. ALMACENAMIENTO DE CONTENEDORES.

El Reglamento de la Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en materia de Residuos Peligrosos indica:

Art. 15. Las áreas de almacenamiento deberán reunir como mínimo las siguientes condiciones:

I. Estar separadas de las áreas de producción, servicios, oficinas y de almacenamiento de materias primas o productos terminados.

II Estar ubicadas en zonas donde se reduzcan los riesgos por posibles emisiones, fugas, incendios, explosiones e inundaciones.

III. Contar con muros de contención y fosas de retención para captación de los residuos o lixiviados.

IV. Los pisos deberán contar con trincheras o canaletas que conduzcan los derrames a las fosas de retención con capacidad para contener una quinta parte de lo almacenado.

V. Contar con pasillos suficientemente amplios, que permitan el tránsito de montacargas mecánicos, electrónicos o manuales, así como el movimiento de los grupos de seguridad y bomberos en caso de emergencia.

VI Contar con sistemas de extinción contra incendios. En caso de hidrante, estos deberán mantener una presión mínima de 6 Kg/cm^2 durante 15 min.

VII. Contar con señalamientos y letreros alusivos a la peligrosidad de los mismos, en lugares y formas visibles.

Art 16. Además de lo dispuesto en el artículo anterior, las áreas de almacenamiento cerradas deberán cumplir con las siguientes condiciones:

I. No deben existir conexiones con drenajes en el piso, válvulas de drenaje, juntas de expansión, albañales, o cualquier otro tipo de apertura que pudiera permitir que los líquidos fluyan fuera del área protegida.

II Las paredes deben estar construidas con materiales no inflamables.

III. Contar con ventilación natural o forzada. En los casos de ventilación forzada debe tener una capacidad de recepción de por lo menos 6 cambios de aire por hora.

IV. Estar cubiertas y protegidas de la intemperie y, en su caso, contar con ventilación suficiente para evitar acumulación de vapores peligrosos y con iluminación a prueba de explosión.

Art 17. Además de lo dispuesto en el artículo 15, las áreas cubiertas deberán cumplir con las siguientes condiciones:

I No estar localizadas en sitios por debajo del nivel del agua alcanzada en la mayor tormenta registrada en la zona, mas un factor de seguridad.

II. Los pisos deben ser lisos y de material impermeable en la zona donde se guarden los residuos y de material antiderrapante en los pasillos, estos deben ser resistentes a los residuos peligrosos almacenados.

III. Contar con pararrayos.

IV. Contar con detectores de gases o vapores peligrosos con alarma audible, cuando se almacenen residuos volátiles.

Art 18. En caso de áreas abiertas no techadas, no deberán almacenarse residuos peligrosos a granel, cuando estos produzcan lixiviados.

Art. 20. Queda exceptuado de lo dispuesto en los artículos 15, 16, 17, 18 y la fracción III el almacenamiento de jales. Estos deberán almacenarse conforme a lo que dispongan las normas técnicas ecológicas correspondientes.

2.5 REQUISITOS PARA EL AREA DE ALMACENAMIENTO DE CONTENEDORES

Además de satisfacer los requisitos establecidos en el artículo 15 y 16 de la Ley General de Equilibrio Ecológico y protección al ambiente deberá:

- Asegurarse que las bombas usadas para drenar lluvia acumulada y/o derrames sean operadas manualmente, a fin de evitar derrames imprevistos de líquido contaminado.
- Retirar derrames, goteos o precipitación de residuos acumulados del sistema colector a fin de evitar inundaciones

2.6 REQUISITOS ADICIONALES PARA EL AREA DE ALMACENAMIENTO DE CONTENEDORES

- El espacio de tránsito requerido en el área de almacenamiento es por lo menos de 0.5 m
- El manejo adecuado de residuos incluye contar con equipos contra derrame, incendios, iluminación apropiada y un diario de registro de la inspección. Este equipo debe ubicarse en el área de almacenamiento de contenedores.
- La distribución de los contenedores debe permitir la inspección de sus condiciones y su correcto etiquetado.
- Un equipo de emergencia debe estar disponible en cada área de almacenamiento:
 - a) Comunicación interna o alarma.
 - b) Teléfono.
 - c) Extinguidores manuales.
 - d) Equipo de control de fuego.
 - e) Equipo de control de derrames.
 - f) Equipo para eliminar la contaminación.
 - g) Agua a presión adecuada y la cantidad necesaria.
 - h) Espacio necesario para permitir el movimiento adecuado en caso de emergencia así como para realizar las inspecciones semanales.
- Inspecciones semanales a las áreas de almacenamiento de contenedores buscando goteos o cualquier otra evidencia de que algo esté funcionando mal de tal manera de evitar cualquier posible emergencia

2.7 REGISTROS EN EL AREA DE ALMACENAMIENTO DE CONTENEDORES

Inspeccione los contenedores y las áreas de almacenamiento con una frecuencia semanal mínimo y documente los resultados de la inspección. Compruebe que no existen fugas, ni deterioro causado por corrosión o por otros factores. Al momento de detectarse algún problema el inspector tiene la obligación de corregirlo o informar a la persona que pueda hacerlo. La tabla 2 ofrece la lista de verificación para inspección del area de almacenamiento que debe usarse al documentar la inspección.

**Tabla 2 FORMA PARA INSPECCION DEL AREA DE ALMACENAMIENTO DE
CONTENEDORES**

Aspectos que deben inspeccionarse	Resultados		Acciones correctivas	
	Adecuados	Inadecuados	Necesarias	Fecha
AREA				
Señales de advertencia legibles Acceso cerrado Limpieza Derrames evidentes				
CONTENEDORES				
Fugas Derrames Oxido Dañados Protuberancias Segregados Etiqueta apropiada Sobretarimas				
ESPACIO DEL PASILLO				
Bloqueado Derrames				
CONTENEDOR SECUNDARIO				
Astillas Fracturas Señales de fugas Pérdida de la tapa Deterioro del material de recubrimiento expuesto				
EQUIPO CONTRA DERRAMES			Firma del inspector _____	
Absorbente Condición del absorbente Existen tambores de recuperación Faltan partes de tambores			Firma del supervisor _____ Fecha de inspección _____	
OTROS				

2.7 OTRA OPCION PARA EL ALMACENAMIENTO DE RESIDUOS PELIGROSOS

Las empresas generadoras de residuos peligrosos requieren un área de almacenamiento que sea segura y se encuentre aislada del espacio habitable, la creación de esta área de almacenamiento dentro de una planta manufacturera es posible, pero resultaría costosa llevarla a cabo, además de cumplir con una serie de requisitos reglamentarios, pero existe otra opción, una unidad de almacenamiento no-fija, tal unidad podría ser instalada dentro de un edificio con ventilación adecuada al exterior, de tal manera de no interrumpirse las operaciones de la planta, y poder almacenar los residuos que resulten peligrosos en dicha unidad, sin que represente riesgo alguno.

Para la elección de la unidad no-fija de almacenamiento además de tomar en consideración el tipo y la cantidad de residuos a almacenar, se debe de tomar en consideración:

- a) Revisión del reglamento. Revisar que la empresa que se tiene en mente cumpla con las regulaciones locales.
- b) Movilidad. Verificar que la unidad ha sido estructuralmente diseñada para moverse (En caso de requerir que esta se esté moviendo a diferentes lugares en tiempos diferentes), de lo contrario podría causar gastos excesivos y peligro.
- c) Durabilidad Estructural. Las paredes deben ser de acero de alto grado soportado por una estructura tubular de acero. El exterior e interior de la unidad deben tener un acabado que evite la corrosión. Los pisos deben ser reforzados para soportar el peso de tambores de 108 l. En áreas donde las nevadas son fuertes la cubierta debe ser inclinada.

d) Resistencia al fuego y explosión. Donde las explosiones son importantes, la unidad debe contar con paneles de alivio de explosiones en la cubierta de tal manera de minimizar las heridas de los trabajadores que pasan. Si se va a almacenar materiales inflamables la unidad debe ser de acero pesado, las paredes y los techos deben estar revestidos por material no combustible.

e) Accesibilidad. Por seguridad del personal, las unidades no deben ser de mas de 1.5 m, 0.15 m de profundidad. Los tambores no deben cargarse con la mano por seguridad. El ancho de las puertas debe chequearse cuidadosamente (La mayoría son de 0.9 m, pudiendo ser hasta de 1.2 m de amplitud). Sin embargo, si se va utilizar equipo auxiliar para manejo de los tambores, las aberturas deben ser por lo menos de 1.4 m para permitir maniobras adecuadas.

f) Colocación de pequeños contenedores. Los estantes son ideales para almacenar pequeños contenedores y pueden incrementar el almacenamiento de la unidad sobre su capacidad. Debe probarse que los estantes sostengan el peso de los contenedores.

g) Protección al ambiente. Debe proveerse de un equipo de contención secundario para controlar cualquier derrame o gotera; éste puede ser hecho, instalando pisos enrejadas, bajo los cuales existe un piso inclinado dirigido al desagüe y conectado a un colector.

h) Otras opciones. Para un servicio particular existen una multitud de ofrecimientos: calentamiento, ventilación, sistemas de aire acondicionado, pisos de fibra de vidrio resistentes a los químicos y calor, puertas dobles y detección de fugas así como sistemas de supresión de fuego.

CAPITULO 3

SEÑALIZACION DE RESIDUOS PELIGROSOS

Durante el almacenamiento, recolección, reuso, transportación o cualquier otra operación en la que se manejen residuos peligrosos puede presentarse un accidente o incidente.

Las etiquetas empleadas en los contenedores/embalajes permiten reconocer fácilmente y de manera inmediata el tipo de residuo que contienen con el fin de tener los cuidados necesarios durante su manejo, o en caso de pérdida del contenedor/embalaje con la información que incluyen las etiquetas la cual se especifica en la norma técnica para el transporte de residuos peligrosos NTTMP-SCT-008/92, y se incluye en éste capítulo se puede localizar a la compañía encargada de producir dichos residuos peligrosos.

En caso de que se presente una emergencia, ¿Que debe hacerse?, en las etiquetas se deben incluir primeros auxilios que deben llevarse a cabo.

Por otra parte el transporte encargado de conducir los residuos peligrosos deberán incluir también carteles y letreros alusivos a la peligrosidad del material que transportan con el fin de que los otros conductores tengan cuidado al manejar cerca de estos. De igual forma y de acuerdo a la norma técnica para el transporte de materiales peligrosos NTTMP-SCT-018/92 cualquier unidad de transporte terrestre deberá llevar la hoja de emergencia para llevar a cabo las acciones correctas en caso de que se presente algún accidente o incidente.

3.1 ETIQUETAS

La Norma Técnica para el transporte de materiales peligrosos NTTMP-SCT-008/92, establece las especificaciones y características de etiquetas, carteles y letreros empleados en el transporte terrestre:

CARACTERISTICAS E INFORMACION QUE DEBEN CONTENER

Las etiquetas deben de incluir la siguiente información:

- a) Nombre químico, nombre comercial en español y número de naciones unidas (un) del material peligroso.
- b) Rombo que indica el riesgo asociado al material.
- c) Información general en español, del material peligroso tal como:
 - Ingredientes peligrosos (En caso de ser mezcla)
 - Nombre, dirección y teléfono del fabricante
 - Primeros auxilios
 - Indicaciones en caso de incendio y derrames
 - El correcto manejo y almacenamiento, así como la adecuada eliminación del material
- d) Fecha de inicio de acumulación del residuo
- e) Los carteles y etiquetas de la clase 1, excepto las divisiones 1.4, 1.5, 1.6, llevarán en su vértice inferior el número de la división y la letra del grupo de compatibilidad del material; las etiquetas de las divisiones 1.4 y 1.5, llevarán en su vértice superior el número de la división; en su vértice inferior el número de la clase de riesgo. Para la división 1.4 , grupo de

compatibilidad s, se manejará la etiqueta de riesgo secundario de "explosivos" debiendo utilizarse la de las divisiones 1.1, 1.2, 1.3. pero sin que figuren en ella el número de la clase o de la división ni la letra indicativa del grupo de compatibilidad.

f) Los textos y los números deberán imprimirse en color negro sobre fondo blanco en todas las etiquetas; los símbolos deben imprimirse en color negro, excepto en las etiquetas de color azul, verde y rojo; en las que se imprimirá en color blanco.

CARACTERISTICAS E INFORMACION QUE DEBE CONTENER EL ROMBO DE
LA ETIQUETA

a) Deben ser de material resistente a la intemperie.

b) Deben contener un cuadrado de dimensiones mínimas de 100 * 100 mm con dos vértices opuestos en posición vertical en forma de diamante o rombo, con una línea del mismo color del símbolo de 5 mm del borde exterior y paralela a éste.

c) En la parte superior del rombo, se coloca el símbolo internacional del material que se transporta de acuerdo a la clasificación de éste.

d) En el vértice inferior se coloca el número de la clase de riesgo del material

e) En su parte media se coloca el número asignado por la organización de las naciones unidas (NTTMP-SCT-002). En caso de no existir el número, se deberá colocar el nombre de la clase de riesgo del material que se transporta en la misma parte media del rombo, el cual estará en negro sobre fondo blanco.

f) Las letras deben ser del tipo franklin gótica condensada.

g) Para las características de cromaticidad para las etiquetas, ver Anexo 2

h) En caso de envases embalajes/pequeños, el tamaño de la etiqueta debe ser ajustado

i) Los espacios en blanco del texto que figuran en la mitad inferior de las etiquetas de los materiales de la clase 7 deberán llenarse con los datos indicados por el fabricante del producto. En las etiquetas que no correspondan a los materiales de la clase 7, el espacio situado debajo del símbolo no deberá llevar aparte del número de la clase o de la división mas texto que las indicaciones relativas a la naturaleza del riesgo y a las precauciones que habrán de tomarse para la manipulación.

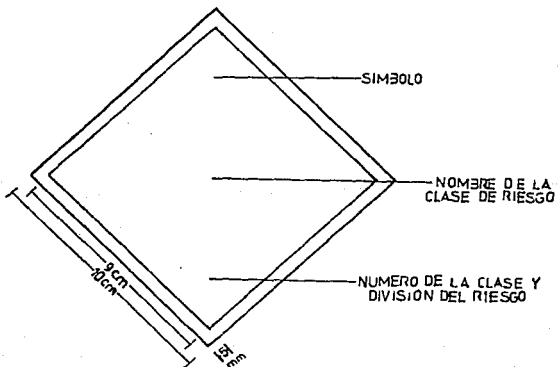


Fig 2 Dimensiones del rombo que debe incluir la etiqueta


acetona 3 propanona	
UN 1890	
<p style="text-align: center;">PELIGRO INFLAMABLE</p> Esta sustancia forma una mezcla explosiva con el aire.	
<p>Precauciones durante su manejo y almacenamiento: Almacene y use con ventilación adecuada. No use aire a presión ni aplique calor con llamas abiertas para remover el contenido del tambor. Observe las mismas precauciones cuando este vacío el tambor, ya que puede contener residuos sólidos, líquidos y/o vapores. No perforo corte o suelde en, o cerca del tambor vacío. No utilice el tambor vacío para otros usos.</p>	
<p>Primeros Auxilios En caso de ingestión tomar 1 o 2 vasos de agua, incluso al vomito estimulando la parte posterior de la lengua. A una persona inconsciente no inducirle el vomito ni darle de beber nada. En caso de contacto, lave inmediatamente los ojos y la piel con bastante agua por lo menos durante 15 minutos, quítase la ropa y los zapatos contaminados. Lave la ropa antes de volver a usarla. Consulte a su médico.</p>	
<p>Medidas en caso de Fuego Enfríe los recipientes con agua cuando éstos estén expuestos al fuego. Ataque el fuego con CO₂ o una cortina de espuma. Si el fuego se vuelve incontrolable evacúe la zona. Lote No. _____ Antes de manejar su producto, lea su hoja de seguridad de materiales Peso Neto _____</p>	
<p>En caso de Emergencia Química, fuego, fuga, derrame o accidente llame a _____</p>	

Fig.3 Ejemplo de una etiqueta utilizada para el almacenamiento de residuos peligrosos

3.2 ETIQUETAS SECUNDARIAS

a) En general, cada contenedor no debe llevar mas de una etiqueta indicativa de riesgo, sin embargo, cuando un material presente mas de un riesgo importante (ejemplo: riesgo de intoxicación y de explosión) el contenedor/embalaje debe llevar además la etiqueta correspondiente al riesgo principal, etiquetas secundarias que indiquen los riesgos secundarios importantes.

b) Cuando se trate de un material (exceptuando los de clase 2) de la tabla 1 de NTTNP-SCT-002 deberá adherírseles la etiqueta indicativa del riesgo al que se alude en la columna de "clase o división", y una etiqueta del riesgo secundario, con la que se indique el riesgo al que pertenece, con un número de clase, o con el símbolo "E" se hace referencia en la columna de riesgos secundarios, salvo que exista una disposición especial.

c) Para los materiales de la clase 8 no exige etiqueta de riesgo secundario de la división 6.1 si su toxicidad tiene su origen únicamente en su efecto destructivo sobre los tejidos vivos. Para los materiales de la división 4.2 no se exige etiqueta de riesgo secundario de la división 4.1.

d) Siempre que el contenedor/embalaje lleve etiquetas indicativas de riesgo secundario, solo la etiqueta que identifique el riesgo principal de los materiales deberá incluir la clase o división, según proceda, mientras que los que identifiquen los riesgos secundarios no deberán llevar ningún número o clase o división.

e) Se han previsto tres etiquetas para la clase de riesgo 2, para los gases no inflamables (verde), para los gases inflamables (roja) y para los gases tóxicos (blanca), cuando la lista de materiales peligrosos indicada en la tabla de la norma NTTMP-SCT-002, vigente, no se indique ningún riesgo secundario para un gas de la clase 2 se debe utilizar la etiqueta de gases inflamables (verde). Cuando en dicha lista, se indique que un gas de la clase 2, posee varios riesgos secundarios, utilizar las etiquetas anexo 2. En cualquier caso, la etiqueta de riesgo principal, solo deberá llevar el número de clase en su ángulo inferior.

f) En ciertos casos, cuando los materiales se consideren poco peligrosos o contengan una cantidad limitada de ello, se podrán conceder excepciones de las disposiciones relativas al etiquetado, pero de acuerdo a la disposición especial 29 tabla 3 de la norma NTTMP-SCT-002, vigente, se podrá requerir que se marquen la clase o la división y el número del grupo de contenedor/embalaje.

g) En todos los casos en que se transporten materiales peligrosos deberá adicionarse una etiqueta para contenedor/embalaje, además de su identificación.

3.3 CARTELES

Las unidades de arrastre de autotransporte y ferroviarias empleadas en el transporte de materiales peligrosos deben usar carteles de identificación como señalamientos de seguridad, estos carteles también indican el riesgo principal asociado al material, así como el número de naciones unidas que lo identifican y deben

colocarse en la parte media superior de las vistas laterales, y posterior en caso del tractor o camión se debe colocar en la parte delantera de la unidad motriz, para combinaciones vehiculares de doble semirremolque, los carteles se colocarán en ambos remolques.

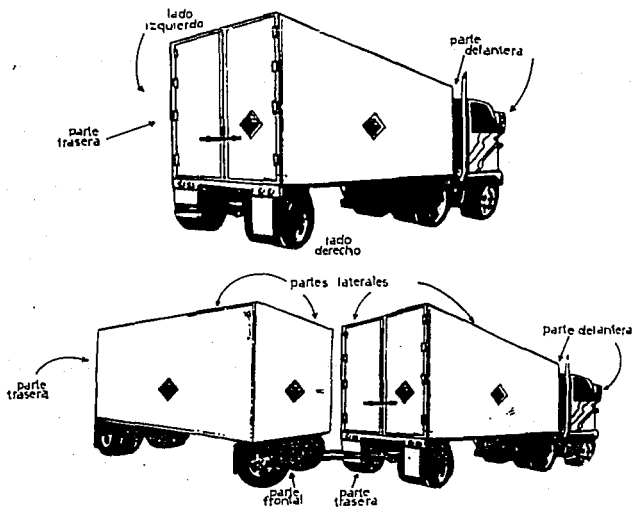


Fig. 4 Carteles de seguridad en Remolques.

CARACTERÍSTICAS E INFORMACION QUE DEBEN CONTENER LOS CARTELES

Los carteles de seguridad son las etiquetas ampliadas (ver las características e información contenida en las etiquetas).

Deben de cumplir además con las siguiente características:

- a) Los carteles deben ser de un material resistente a la intemperie para evitar que se deteriore la información contenida en los mismos.
- b) Los carteles podrán ser del tipo móvil, fijo sobrepuesto o de hojas múltiples, de acuerdo al uso.
- c) Los carteles deben ser cuadrados en forma de rombos de 273 * 273 mm, por lado, debiendo llevar una línea del mismo color del símbolo trazada a 12.7 mm, del borde exterior y paralela:

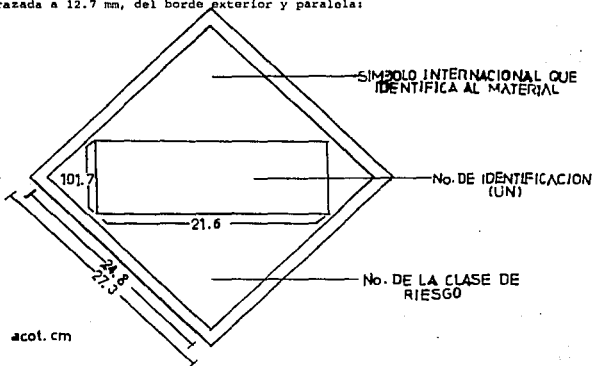


Fig. 5 Dimensiones de carteles utilizados para residuos peligrosos

d) El número de identificación del material (UN), debe ser de un mínimo de 101.1 mm * 54 mm cada dígito.

e) Cuando se muevan recipientes intermedios a granel, contenedores cisterna y cualquier tipo de unidad vehicular de arrastre vacíos, tanto de autotransporte como de transporte ferroviario, que hayan transportado materiales peligrosos, mientras no se haya efectuado su limpieza y descontaminación deberán llevar carteles con la leyenda "residuos", en la parte inferior del número asignado al producto por naciones unidas.

3.4 LETRERO

Las unidades empleadas en el transporte terrestre para el traslado de materiales peligrosos deberán portar en su parte posterior, debajo del vértice inferior de los carteles de seguridad un letrero con la leyenda "Material Peligroso" en fondo blanco y letras rojas.

DIMENSIONES DEL LETRERO

Las dimensiones de las letras serán como mínimo de 17 cm de alto por 8 cm de ancho y deberán distribuirse en forma proporcional al letrero.

3.5 TRANSPORTACION

HOJA DE EMERGENCIA.

De acuerdo a la NTTMP-SCT-018/92:

La hoja de emergencia en transportación, establece las bases en caso de incidente o accidente (fugas, derrames o incendios), la

cual es obligatoria para toda unidad de transporte terrestre destinada al traslado de materiales peligrosos.

ESPECIFICACIONES (Anexo 2)

La hoja de emergencia deberá contener la siguiente información:

- Nombre, razón social y dirección de la compañía, fabricante, importador, usuario, distribuidor del producto transportado.
- Teléfonos de emergencia: De la compañía donde el conductor, las autoridades o cualquier persona pueda llamar para dar aviso en caso de accidente
- Nombre técnico y comercial del producto
- Número de la clase o división que se indica en la norma técnica NTTMP-SCT-002, vigente.
- Nombre o razón social de la compañía transportadora
- Teléfono de la compañía transportadora.
- Estado físico del material transportado (Sólido, líquido, gas, gel)
- Aspecto físico, descripción breve y específica de las características físicas del material (color, olor, textura, etc) para su identificación de manera sencilla
- Dar aviso a las autoridades más cercanas en caso de accidente.
- El equipo de protección personal que debe llevar el conductor del vehículo y los medios que le permitan tomar las primeras acciones de protección (lentes de seguridad, guantes de hule, guantes de cuero, delantal de hule, botas de hule, mascarilla contra polvo, mascarilla contra gases, pala, cepillo, arena).

- Los posibles riesgos que puedan presentar en un accidente durante la transportación.
- Acciones: Aquellas que deben tomarse de inmediato, tales como estacionar el vehículo de manera inmediata, colocar señales de alerta para evitar accidentes a otros conductores.
- Intoxicación/exposición: Los daños que puede sufrir la persona que ingiere, toca o inhala los materiales peligrosos, recalcando aquello que no puede hacerse por razones de seguridad.
- Acciones a tomar para proteger al personal del daño causado al inhalar, tocar o exponerse a los materiales peligrosos, recalcando aquello que no puede hacerse por razones de seguridad.
- Contaminación: Se refiere a la alteración del medio causado por la liberación accidental de los materiales peligrosos.
- Acciones a tomar para minimizar los daños a la población y al ambiente e indicar el perímetro de evacuación aledaño al accidente.
- Información médica. Indicaciones del médico sobre antídotos o medidas especiales a aplicarse en caso de intoxicaciones del personal por contacto o exposición con los materiales peligrosos.
- Derrames, fugas, escapes: Se refiere a la liberación accidental de los materiales peligrosos en cualquier estado de la materia; sólido líquido, gaseoso.
- Acciones a tomar para minimizar los efectos de dichos derrames, recalcando aquello que no debe hacerse por razones de seguridad.
- Fuego, se refiere al riesgo de que el material se incendie o esté expuesto al fuego, recalcando aquello que no debe hacerse por razones de seguridad.

- Acciones que deben tomarse para proteger el material contra un fuego, así como los materiales que pueden usarse para el combate del incendio del material, recalcando aquello que no debe hacerse por razones de seguridad.

CAPITULO 4

LODOS GENERADOS EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL

Existen diferentes tipos de lodos, desde aquellos que presentan un color gris hasta los que tienen color negro, algunos son líquidos con olor desagradable, otros son viscosos con olor inofensivo. Las características de los lodos son función de su origen, del tratamiento que se les dio así como del tiempo transcurrido desde que se generaron.

Diferentes procesos para el tratamiento de lodos se han usado para la reducción de organismos patógenos, del contenido de materia orgánica y para la eliminación de olores desagradables, de tal manera que el producto presente características tales que su disposición final no cause daños al ambiente ni a la salud pública. Tales procesos se les denomina procesos de estabilización de lodos.

Entre los diferentes procesos de estabilización de lodos tenemos: Digestión anaerobia, digestión aerobia, composteo, tratamiento con cal y clorinación, los cuales se tratarán en este capítulo, indicándose las ventajas y desventajas de cada uno de ellos así como a que tipo de lodo se aplican y el proceso.

Para la elección del proceso de estabilización, es necesario conocer las propiedades físicas de los lodos, como son distribución de agua, tamaño de partícula entre otros, igualmente es importante conocer las propiedades químicas y biológicas, disposición final del lodo y los costos de capital y operación.

4.1 CARACTERISTICAS DE LOS LODOS.

Las características de los lodos varían dependiendo de su origen, modificaciones que hayan sufrido con el tiempo y el tipo de proceso al que hayan sido sometidos.

A pesar de que los lodos se pueden considerar como un concentrado de la contaminación, estos están compuestos casi sólo por agua y contienen, cuando más, un bajo porcentaje de materia sólida, los lodos activados contienen menos del 1% de materia sólida; el hùmus de los percoladores de 0.5 a 2% de sólidos y los indeseables lodos primarios alrededor del 5% de sólidos.

TIPO DE LODO-DESCRIPCION.

a) Lodo activado.

Son grisáceos de apariencia floculante y olor inofensivo (a tierra). Si el color es negro, el lodo se está aproximando a una condición séptica y tiene un olor desagradable de putrefacción. Si el color es más ligero que el usual, ha estado bajo aereación con una tendencia de los sólidos a sedimentarse. El lodo proviene de un tratamiento biológico de las aguas residuales.

b) Lodo digerido aerobicamente.

Presenta un color café o café oscuro de apariencia floculante, de olor inofensivo, caracterizado como mohoso, difícil de deshidratar.

c) Lodo digerido anaerobicamente.

Es café oscuro o negro y contiene una gran cantidad de gas, cuando ha sido totalmente digerido es inofensivo y presenta un olor relativamente tenue parecido al caucho

quemado.

d) Lodo de composteo.

Es de color café oscuro a negro, varía dependiendo de los agentes empleados durante su composteo (por ejemplo madera) y presenta un olor inofensivo.

e) Humus de los filtros percoladores.

Son de color café, floculento y relativamente inofensivo cuando están frescos, la descomposición de este tipo de lodos es más lenta que la de los otros.

f) Lodo de precipitación química.

Usualmente es negro, pero su superficie puede ser roja si contiene mucho hierro, tiene un olor desagradable, pero no como el lodo de origen primario; es gelatinoso debido a la hidratación de hierro o aluminio. Si el lodo se deja en el tanque, éste sufre una descomposición similar a el lodo primario, pero a una menor velocidad. Cantidades de gas escapan incrementándose la densidad del lodo. El lodo de cal es café-grisáceo.

g) Lodo primario.

Es un líquido o semisólido de color gris viscoso, de olor desagradable.

h) Lodo de tanques sépticos.

Es negro y ofensivo, debido al sulfuro de hidrógeno y otros gases que deja escapar. La digestión de este lodo no es adecuada cuando se almacena por largo tiempo.

4.2 PROPIEDADES DE LOS LODOS.

Para elegir el tratamiento de estabilización mas adecuado para los lodos generados en las plantas de tratamiento de agua residual, así como su disposición final es necesario conocer sus propiedades.

A) PROPIEDADES FISICAS.

1) Una característica es la razón de sólidos a líquidos. La concentración de sólidos es expresada:

$$C = \text{mg de sólidos secos/l de lodo}$$

2) Contenido de materia seca: Se mide el peso de residuo seco después de su calentamiento a 105°C hasta peso constante, (varía de 3 a 8%).

3) Contenido de materia volátil. Es la diferencia entre el peso del lodo seco (105°C) y del mismo lodo después de calentarse hasta peso constante a 550°C (El contenido de materia seca es de 60 a 85%).

4) Distribución de agua. El agua en el lodo se divide en cuatro categorías:

- a) Agua libre. Esta agua no se encuentra asociada con las partículas mismas de ninguna manera, es el agua que escapa cuando el lodo se sedimenta, este tipo de agua se elimina fácilmente por filtración o decantación.

- b) Agua flocular. El agua se encuentra atrapada en flóculos, y es removida mecánicamente cuando los flóculos son comprimidos.
- c) Agua capilar. El agua se encuentra unida a las partículas por fuerzas capilares, y no puede ser removida por medios mecánicos, a menos de utilizar una presión extrema.
- d) Agua ligada (agua de partículas). El agua ataca químicamente a las partículas y solo puede ser eliminada por medios químicos o térmicos.

5) Tamaño de partícula. El tamaño de partícula afecta directamente la deshidratación del lodo; las partículas en el intervalo de 100-1 μ m parecen tener un efecto directo en la deshidratación del lodo. Si el lodo esta compuesto de una gran cantidad de partículas en este intervalo, la eliminación del agua podría ser difícil.

6) Propiedades de flujo:

- a) Líquido, cuando fluye bajo gravedad.
- b) Plástico, el lodo está tan concentrado para fluir libremente, pero si se aplica suficiente presión adquiere una deformación permanente.
- c) Sólidos con merma. Cuando el lodo esta tan concentrado para ser bombeado y su volumen disminuye cuando se drena.
- d) Sólidos sin encogimiento. El lodo esta muy saturado con agua.

7) Viscosidad. Los lodos no son líquidos newtonianos, si no que pueden ser considerados como no newtonianos, fluidos pseudoplásticos descritos por:

$$\log \gamma = a + n \log \mu$$

γ : velocidad de corte.

μ : viscosidad a una velocidad específica de corte.

a, n : constantes que dependen de la concentración de sólido y del porcentaje de sólidos volátiles.

La viscosidad de Bingham, permite definir sus caracteres tixotrópicos, es decir, la capacidad de constituirse en una masa en estado de reposo y a volverse fluido después de la mezcla, lo cual es importante para su transporte.

8) Carga específica. Permite medir la capacidad de decantación de los lodos, se expresa en $\text{Kg/m}^2/\text{d}$; es la cantidad de materia seca decantada por unidad de superficie. Depende del contenido de materia volátil.

9) Resistencia específica. Se mide la capacidad de filtración de los lodos bajo una presión dada, al incrementarse la presión en la parte superior del filtro, se obtiene un aplastamiento de la torta y un aumento de la resistencia a la filtración. Esta resistencia se expresa en m/Kg .

10) Compresibilidad. La representación logarítmica de la resistencia específica en función de la presión da una línea recta, cuya pendiente es el coeficiente de compresibilidad.

Cuando la presión alcanza valores del orden de 10 bar, se llega a la sequedad límite, es decir ya no existe filtración del agua contenida en el lodo.

11) Poder calorífico. Se definen dos:

- a) Poder Calorífico Inferior (PCI): Es la cantidad de calor desprendido en la combustión de 1 Kilogramo de lodos.
- b) Poder Calorífico Superior (PCS): Es la cantidad de calor desprendido en la combustión de 1 Kilogramo de lodos suponiendo que toda el agua desprendida en la combustión se encuentra en estado condensado en los productos de combustión.

Estos se expresan en Kcal/Kg de lodo o materia volátil. Para el cálculo de hornos se considera el primero. De este modo, se define una zona de autocombustión de los lodos en función de su contenido de materia seca.

B) PROPIEDADES QUÍMICAS

Las propiedades químicas se deben de tomar en consideración para la disposición final de el lodo, y la deshidratación de éste; entre ellas tenemos: Nutrientes, pH, alcalinidad, contenido de ácidos orgánicos, contenido de metales pesados, pesticidas, e hidratos de carbono.

En específico:

- 1) Materia orgánica: Corresponde a la materia volátil contenida en el lodo y varía de un 60 a un 85% del contenido de materia seca.
- 2) Nutrientes: Los cuales son importantes cuando el lodo se va a usar como acondicionador del suelo ya que favorecen el crecimiento

de las plantas, siendo el fósforo, nitrógeno, y potasio los principales nutrientes.

Tabla 3. Comparación de nutrientes entre un fertilizante comercial y lodo de agua residual.

	% Nutrientes		
	Nitrógeno	Fósforo	Potasio
Fertilizante para agricultura	5	10	10
Lodo estabilizado	3.3	2.3	0.3

3) Metales pesados. Para disposición final de lodo en la tierra, la concentración de metales pesados puede limitar la velocidad de aplicación del lodo y la vida útil del sitio de aplicación. Considerándose los principales metales tóxicos (Pb, Cr, Ni, Pb, As, Pt, Sc, Be, Cu, Zn, Sb, Hg)

Tabla.4 Contenido de metales en el lodo de agua residual.

Metal	Lodo seco mg/Kg	
	Rango	Típico
Arsénico	1.1-230	10
Cadmio	1-3410	10
Cromo	10-99000	500
Cobalto	11.3-2490	30
Cobre	84-17000	800
Fierro	100-154000	17000
Plomo	13-26000	500
Manganeso	32-9870	260
Mercurio	0.6-56	6
Molibdeno	0.1-214	4
Nickel	2-5300	80
Selenio	1.7-17.2	5
Zinc	101-49000	17000

4) Microcontaminantes orgánicos. Son sustancias que pueden tener una acción negativa sobre el tratamiento de los lodos y sobre su utilización en la agricultura; generalmente son productos químicos de síntesis. Se encuentran, particularmente contenidos importantes de detergentes y medicinas (especialmente antibióticos que actúan sobre la flora y la fauna).

C) PROPIEDADES BIOLÓGICAS.

Las aguas residuales contienen una flora y una fauna variadas que se encuentran en los lodos. El tratamiento biológico de las aguas de desecho modifica la composición biológica por la multiplicación de ciertas especies dañinas de las otras.

1) Bacterias. Se cuentan numerosos tipos de bacterias en los lodos; una parte de ellas es de origen fecal y algunas provienen de portadores de gérmenes; por consiguiente, pueden ser patógenas

Las bacterias se pueden dividir en cuatro clases:

- a) Aerobias estrictas, que sólo se desarrollan en presencia de aire; son numerosas en lodos activados
- b) Aerobias facultativas, que pueden desarrollarse en anaerobiosis por el consumo de oxígeno contenido en la materia orgánica.
- c) Anaerobias facultativas, solo se desarrollan por procesos anaeróbicos.
- d) Anaerobias estrictas. cuyo desarrollo no se efectúa sino en anaerobiosis.

El tratamiento biológico de los lodos favorece el desarrollo de ciertas bacterias en detrimento de las otras y su almacenamiento permite a los organismos anaerobios desarrollarse.

Los microorganismos patógenos se encuentran generalmente en los lodos y en los efluentes, por lo tanto es preciso tener cuidado de eliminarlos de ambos elementos.

2) Virus. Se encuentran enterovirus, adenovirus y reovirus absorbidos sobre la materia sólida de los lodos, en una proporción no despreciable. No es fácil eliminarlos; sin embargo según, la disposición final de los lodos debe, llevarse a cabo.

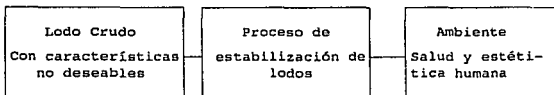
3) Parásitos. Se encuentran numerosos parásitos en los lodos, de origen fecal o telúrico. Su eliminación es mucho más difícil puesto que estos parásitos toman una forma vegetativa cuando las condiciones son hostiles, mientras que se desarrollan cuando se encuentran en los animales de sangre caliente o en el hombre.

4) Hongos. Son esencialmente levaduras y saprófitos que están normalmente presentes en el aire; por lo general, no son patógenos para los animales y el hombre, con excepción de algunos que pueden llegar a serlo cuando las condiciones son desfavorables.

5) Algas. No se encuentran en gran cantidad en los lodos primarios y secundarios; sino en las lagunas naturales, gran parte de los lodos están constituidos por detritus de algas.

4.3 ESTABILIZACION DE LODOS.

Se define como un proceso o series de procesos que produce un lodo con características tales que su uso último puede ser aceptable en términos de impacto ambiental y salud pública.



La estabilización de los lodos conduce a la reducción de patógenos, eliminación de olores desagradables u ofensivos y, a inhibir, reducir o eliminar el potencial a la putrefacción. Para lograrlo se requiere de: 1) Reducción biológica del contenido de materia volátil, 2) Oxidación química de materia volátil, 3) La adición de químicos al lodo de tal manera de crear condiciones no adecuadas para la supervivencia de microorganismos y, 4) La aplicación de calor para desinfectar o esterilizar el lodo.

Para llevar a cabo lo anterior, se requiere de la aplicación de procesos de estabilización, y son definidos como procesos que reconocen las características de un potencial adverso de los lodos de las plantas de tratamiento de agua residual, cambian esas características de tal manera de hacer la disposición del lodo aceptable.

PROCESOS DE ESTABILIZACION DE LODOS.

4.4 DIGESTION AEROBIA.

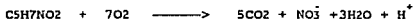
Digestión aerobia es la oxidación bioquímica de los lodos de agua residual, se aplica generalmente a lodos activados, mezclas de lodos activados, humus de filtro percolador, lodo primario, y lodos de plantas de aereación prolongada, debido a que estos lodos son predominantemente sólidos biológicos.

PROCESO DE CONVERSION.

Debido a que el abastecimiento de sustrato disponible es agotado, los microorganismos comienzan a consumir su propio protoplasma para obtener energía que les permite mantener sus reacciones celulares. Cuando esto ocurre los microorganismos están en fase endógena. El tejido celular es oxidado aerobicamente a dióxido de carbono, agua y amonio. Sólo 75-80% del tejido celular es oxidado el otro 20-25% esta compuesto por componentes inertes y compuestos orgánicos que no son biodegradables.



Como producto de la digestión el amonio es oxidado a nitrato.



La oxidación del amonio puede provocar un incremento en el pH. Si la capacidad de neutralización del lodo no es suficiente, será necesario instalar un equipo de alimentación de una base para mantener el nivel de pH requerido.

CRITERIOS DE DISEÑO

El proceso de digestión aerobia puede ser intermitente o continuo, y la aereación puede proveerse através de aire u oxígeno difundido o mediante un aereador mecánico.

Existen cuatro variaciones de la digestión aerobia: 1) Digestión aerobia convencional, 2) Digestión aerobia con oxígeno de alta pureza, 3) Digestión aerobia termofílica y 4) Digestión aerobia criofílica; siendo la digestión aerobia con aire la más comúnmente usada.

1) DIGESTION AEROBIA CONVENCIONAL (DAC):

Factores que deben considerarse en el diseño de digestores:

a) Temperatura.

En la digestión aerobia, temperaturas bajas retardan el proceso, mientras que altas temperaturas aceleran el proceso. Para minimizar las pérdidas de energía deben instalarse tanques de concreto en vez de tanques de acero, colocándolos bajo la superficie, o en caso de colocarlos sobre la superficie debe usarse aislamiento, se recomienda usar aereación subsuperficial en vez de aereación superficial. La temperatura en un digestor no debe ser menor de 15C, debido a que se requiere de un tiempo de retención adicional para que la digestión pueda ocurrir a la menor velocidad biológica de reacción.

b) Reducción de sólidos.

Uno de los mayores objetivos de la digestión aerobia es la reducción de sólidos, para la disposición final del lodo. El cambio en sólidos volátiles biodegradables puede representarse por una reacción de primer orden:

$$dM/dt = -k_d M$$

dónde:

k_d = Velocidad de cambio de sólidos volátiles biodegradables por unidad de tiempo, Masa/tiempo.

K_d = Constante de velocidad de reacción, tiempo⁻¹.

M = Concentración de sólidos volátiles biodegradables al tiempo t en el digestor aerobio, Masa/volumen.

Siendo t , la edad del lodo o tiempo de residencia de sólidos en el digestor. El tiempo t , puede ser considerado igual o mayor que el tiempo de residencia hidráulico, dependiendo de como sea operado el reactor. K_d es función del tipo de lodo, temperatura y concentración de sólidos. Para lodos activados: K_d puede estar en el intervalo de 0.05 d^{-1} a 15°C y 0.4 d^{-1} a 25°C .

c) Volumen del tanque.

El cual puede ser calculado por:

$$V = Q_i(X_i + YS_i)/X(K_d P_v + 1/\theta_c)$$

dónde:

V = Volumen del digestor aerobio, pies³.

Q_i = Velocidad de flujo promedio del influente al digestor, pies³/d.

X_i = Sólidos suspendidos del influente, mg/l.

Y = Fracción de el influente DBO_5 consistente del lodo primario crudo (expresada como decimal).

S_i = Influyente DBO_5 , mg/l

X = Sólidos suspendidos en el digestor, mg/l.

K_d = Constante de velocidad de reacción, d^{-1} .

P_v = Fracción volátil de sólidos suspendidos en el digestor (expresada como decimal).

θ_c = Tiempo de retención de sólidos (edad del lodo), d.

YS_i , puede ser despreciado, si no se incluyen lodos primarios en la carga al digestor.

La ecuación no debe ser usada para el cálculo de volumen de tanques en sistemas donde la nitración pudiera ocurrir de manera significativa.

d) Requerimientos de oxígeno.

Los requerimientos de oxígeno para la oxidación completa de tejido celular, son de aproximadamente 2.3 g/g de tejido. Los requerimientos de oxígeno para una oxidación completa de DBO_5 contenida en el lodo primario varían de 1.6 a 1.9 g/g destruidas. El oxígeno residual deberá ser mantenido en 1 mg/l o arriba de este valor en todas las condiciones.

2) DIGESTION AEROBIA CON OXIGENO DE ALTA PUREZA.

Es usada particularmente en climas fríos, debido a que es insensible a los cambios de temperatura ambientales. Además de incrementar la velocidad de actividad biológica y la naturaleza exotérmica del proceso.

Usando tanques cerrados para la digestión aerobia con oxígeno de alta pureza, se obtienen temperaturas de operación mas altas, debido a la naturaleza exotérmica del proceso. Por lo cual, se obtiene un incremento en la velocidad de destrucción de sólidos volátiles suspendidos. Cuando se utilizan tanques cubiertos, se mantiene una atmósfera de oxígeno en la superficie del líquido y el oxígeno es transferido dentro del lodo mediante aereadores mecánicos. En caso de tanques abiertos, se utiliza un difusor especial para introducir el oxígeno en el lodo.

La mayor desventaja de la digestión aerobia con oxígeno de alta pureza, es el incremento del costo asociado con la generación de oxígeno, además de que puede requerirse un equipo adicional para compensar la reducción en la capacidad de neutralización del sistema.

3) DIGESTION AEROBIA TERMOFILICA.

La digestión aerobia termofílica, se usa para alcanzar velocidades de remoción de orgánicos biodegradables hasta del 70% en tiempos cortos de retención (3 ó 4 días). Este tipo de digestión en ausencia de un sistema externo de calentamiento puede utilizar el calor liberado durante la oxidación microbiana de materia orgánica para calentar el lodo (más de 25 Kcal/l son liberadas en la digestión aerobia de lodos primarios y secundarios.). El calor liberado es suficiente para calentar suspensiones netas que contienen del 95 al 97% de agua hasta un rango termofílico de 45°C; se pueden obtener altas eficiencias de transferencia de calor, si no existe remoción de calor por el oxígeno o aire.

Las ventajas de este modo de operación son:

- Disminución en los tiempos de retención requeridos para alcanzar una reducción del 20% de sólidos suspendidos.

- Gran reducción de bacterias y virus en comparación con la digestión aerobia mesofílica.

- Altas velocidades de destrucción de sólidos volátiles.

- Producción de lodos pasteurizados.

- Requerimientos de oxígeno de 30-40% menor que para el proceso mesofílico.

Las desventajas son:

- Debe incorporarse una unidad de espesamiento. (en el proceso generalmente los lodos son espesados para proveer una concentración de sólidos alimentados al digestor de más del 4%).

- Los requerimientos de mezclado son altos.

- Se requiere de tanques aislados.

4) DIGESTION AEROBIA CRIOFILICA.

En la digestión aerobia criofílica, la edad del lodo debe incrementarse, así como la temperatura de operación debe disminuirse de tal manera de alcanzar un nivel aceptable en la reducción de sólidos suspendidos.

VENTAJAS DE LA DIGESTION AEROBIA

- Alta reducción de sólidos volátiles.
- Bajas concentraciones de DBO en el líquido supernatante.
- El producto es biológicamente estable.
- Alta recuperación del valor fertilizante del lodo
- La operación del proceso es relativamente fácil.
- Bajos costos de capital.

DESVENTAJAS

- Altos costos de operación asociados con el suministro de oxígeno.
- El lodo obtenido como producto, presenta características pobres para su deshidratación.
- No existe recuperación de un subproducto útil como en el caso de la digestión anaerobia.

4.4 DIGESTION ANAEROBIA.

La digestión anaerobia es la degradación biológica de sustancias orgánicas de los lodos de aguas residuales en la ausencia de oxígeno, con la producción de metano, dióxido de carbono y trazas de gases. La digestión anaerobia se usa para la estabilización de lodos en la que aproximadamente la mitad del contenido orgánico de los lodos (35 a 40% de los sólidos de los lodos totales), generalmente se utiliza para la digestión de lodos primarios.

PROCESO DE CONVERSION.

El proceso de conversión puede dividirse en 3 etapas: solubilización, formación de ácido y formación de metano:

1) Las proteínas, lípidos, celulosa y otros complejos orgánicos son solubilizados por hidrólisis.

2) Los productos de la hidrólisis son convertidos a ácidos orgánicos de cadena corta, incluyendo ácido acético, propionico y ácido láctico.

3) Los ácidos son transformados a metano, dióxido de carbono y trazas de otros gases.

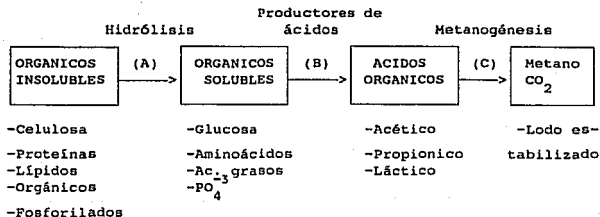


fig. 6 Digestión anaerobia. Proceso de conversión.

Los organismos encargados del proceso de conversión, son los formadores de ácidos y los metanogénicos. El sistema de digestión anaerobia puede fallar, ya sea por mala nutrición de los microorganismos o debido a que las condiciones de operación no sean las adecuadas. Los formadores de ácidos son tolerantes a los cambios de temperatura, pero los metanogénicos son muy sensibles a los cambios de pH, temperatura y sustrato.

Las necesidades de la comunidad anaerobia han sido tipificadas y presentan las siguientes características:

1) Nutrientes. Los requerimientos de nitrógeno se encuentran entre el 20 y 50% del requerido para el proceso anaerobio. Fósforo, se requiere el 15% del requerimiento de nitrógeno. Azufre, el contenido de azufre en las células anaerobias es de aproximadamente 2.6% de la materia orgánica seca.

2) Nutrientes traza. Hierro, cobalto, nitrógeno y sulfuro, son nutrientes obligatorios prioritarios, aunque molibdeno, tungsteno, y selenio también son metales traza requeridos.

FACTORES QUE INFLUYEN EN LA DIGESTION ANAEROBIA.

-pH.

La digestión anaerobia puede desarrollarse dentro del intervalo de pH de 6.2-7.8, siendo el intervalo óptimo de 7 a 7.2, fuera de este intervalo, la digestión puede continuar hasta pH=6.2 en donde las bacterias metanogénicas son afectadas severamente.

-Temperatura.

La temperatura óptima para el crecimiento de las bacterias metanogénicas es de 37°C para el intervalo mesofílico (30-40°C). En este intervalo es donde se presenta el mayor desarrollo de biomasa. En el intervalo termofílico (50-60°C), es donde se encuentra el menor tiempo que requiere el tratamiento, pero la operación en la práctica de este sistema es altamente problemático. Para mantener temperaturas altas, con frecuencia se utiliza el metano producido en el proceso.

-Compuestos tóxicos.

Los organismos anaerobios encargados de la degradación de materia orgánica pueden ser inhibidos por la presencia de sustancias tóxicas.

Los tóxicos pueden agruparse en 3 categorías:

- 1) Compuestos cuya toxicidad esta relacionada con el pH, como ácidos grasos volátiles, amoníaco y ácido sulfhídrico.
- 2) Compuestos con una inmediata e irreversible toxicidad como solventes orgánicos y algunos venenos fuertes.
- 3) Compuestos cuya concentración los definirá como tóxicos o no tóxicos, como los iones metálicos (Tabla 4).

PROCESO. DESCRIPCION.

Existen 3 variaciones en la digestión anaerobia: 1) Digestión anaerobia convencional, 2) Digestión anaerobia completamente mezclada, 3) Digestión anaerobia en dos etapas.

1) DIGESTION ANAEROBIA CONVENCIONAL (DAC)

El digester es un tanque cilíndrico, con fondo inclinado y techo plano o cupular.

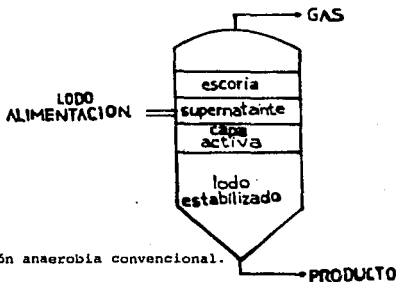


Fig.7 Digestión anaerobia convencional.

El lodo es introducido en el tanque para su estabilización; la estabilización del lodo se lleva a cabo sin mezclado, obteniéndose como resultado que ésta ocurra de manera estratificada en el tanque. El metano es acumulado en el techo y liberado para su almacenamiento o uso. La capa de supernatante donde se encuentra la escoria es extraída y reciclada al primer clarificador o al proceso de tratamiento secundario (el supernatante contiene altas concentraciones de fósforo y amonio). El lodo estabilizado sedimenta en el fondo del digester, donde se remueve para ser procesado.

La DAC se caracteriza por: Una alimentación del lodo intermitente, baja proporción de carga de orgánicos, ausencia de mezclado, sólo el mezclado proporcionado por la elevación de burbujas de gas, gran volumen del tanque, debido a que la parte

donde se lleva a cabo la mayor actividad microbiana representa aproximadamente el 30% del tanque y a que se requieren largos tiempos de retención (30-60 días). La acumulación de arena y escoria en el fondo y tope del tanque, disminuyen la efectividad de éste. La DAC es usada principalmente en plantas pequeñas de tratamiento de agua residual.

2) DIGESTION ANAEROBIA COMPLETAMENTE MEZCLADA (DACH)

La DACH se caracteriza por: La existencia de un sistema de calentamiento, hay mezclado, espesamiento de los lodos y una alimentación uniforme.

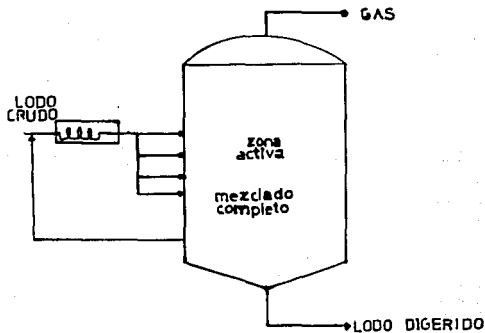


Fig.8 Digestión anaerobia completamente mezclada.

El calentamiento de los lodos incrementa el crecimiento de los microorganismos conforme la digestión y la producción de gas se llevan a cabo. Los digestores son operados en los intervalos mesofílicos y termofílicos (30-38C y 50-60C). Las variaciones de temperatura tienen efectos negativos sobre los organismos metanogénicos, causando trastornos en el proceso. Los organismos termofílicos son más sensibles a los cambios de temperatura que los mesofílicos.

Ventajas de la DACH termofílica sobre la mesofílica: Bajos tiempos de retención, debido al incremento en la velocidad de reacción, alta destrucción de patógenos y producción de un lodo fácil de deshidratar.

Las desventajas son: Los organismos son muy sensibles a los cambios de temperatura, altos requerimientos de energía.

En la DACH se han utilizado diferentes métodos de calentamiento, siendo el más usado, cambiadores de calor externos, debido a su flexibilidad y fácil mantenimiento. El agua caliente del serpentín, se mantiene en un intervalo de temperaturas de 50-55°C.

Arriba de 58°C el lodo se endurece en el serpentín.

El mezclado en el digestor permite: Minimizar la estratificación térmica, un mejor contacto del sustrato con la biomasa, no permite el crecimiento de escoria, diluir e inhibir sustancias adversas al pH o temperatura, incrementa el volumen efectivo del reactor, permite la separación de los gases fácilmente y el material orgánico presenta una tendencia a sedimentarse.

Se han usado tres métodos de mezclado: mecánico, bombeo y recirculación de gas. Cada uno de los cuales presenta ventajas y

desventajas, pero el grado de mezclado depende de la energía suministrada.

El lodo espeso reduce el calentamiento y los requerimientos de volumen en el proceso. El lodo es espesado por centrifugación, filtración por gravedad u otro método. Sin embargo el espesamiento del lodo de 6 a 10% o mas puede provocar problemas de mezclado.

La alimentación del lodo al reactor puede ser de manera intermitente regular o continua, permitiendo mantener condiciones estables en el digestor. Debido a la sensibilidad de los organismos metanogénicos a los cambios en los niveles de sustrato se recomienda una alimentación uniforme y múltiple para mantenerlos en buenas condiciones.

3) DIGESTION ANAEROBIA EN DOS ETAPAS (DADE)

La DADE, es una expansión de la digestión anaerobia completamente mezclada, la cual divide las funciones de fermentación y separación sólido líquido en 2 tanques en serie.

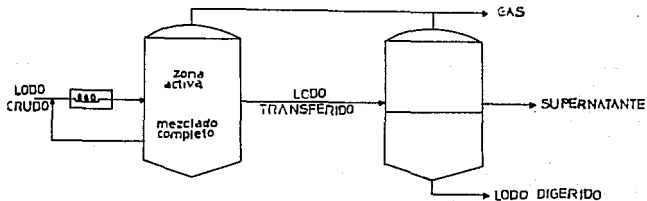


Fig.9 digestión anaerobia en dos etapas

El primer tanque es un DACM, y el segundo es para la separación de fases. Generalmente el segundo tanque no se encuentra provisto con mezclador ni calentamiento.

En muchas ocasiones el lodo digerido no estratifica bien y como resultado se obtiene un supernatante con altas concentraciones de sólidos suspendidos que pueden afectar el sistema de tratamiento de aguas residuales. Existen diferentes causas por las cuales tenemos una pobre sedimentación, una digestión incompleta en el primer digester, debido a lo cual los lodos en el segundo tanque generan gases y provocan la flotación de sólidos de tamaño pequeño con características pobres de sedimentación. Este caso se encuentra asociado con los lodos secundarios. Los lodos primarios y los activados con concentraciones arriba de 4 a 4.5% del total de sólidos generalmente no se separan en el segundo digester.

CRITERIOS DE DISEÑO.

- Tiempo de retención de sólidos.

El diseño de digestión anaerobia ha sido basado en el tiempo de retención de sólidos (TRS), carga de orgánicos (sólidos volátiles suspendidos por unidad de volumen) y volumen per cápita.

Tabla 5. Parámetros de diseño para DAC y DACH.

Parámetro	DAC	DACH
TRS (días)	30-60	15-20
Carga de SVS	0.64-1.6	1.6-3.2
Criterio de volumen en (m ³ /capita)		
Lodo primario	0.06-0.08	0.03-0.06
Lodo primario + lodo del percolador	0.11-0.14	0.07-0.09
Combinado primario + lodos activados, concentración de alimentación, base % de sólidos secos	2-4	4-6
Concentración del influente al digester base, % de sólidos secos	4-6	4-6

El parámetro seleccionado para el diseño de digestores es el TRS, el cual se define como la razón de la masa de sólidos totales en el sistema a la cantidad de sólidos removidos por día. En el caso de no existir recirculación en un digester anaerobio, el tiempo de retención de sólidos es igual al tiempo hidráulico. En caso contrario el TRS es mayor que el tiempo hidráulico.

Si el TRS es reducido abajo de el crítico, el sistema lleva al fracaso a la población microbiana metanogénica.

Para un reactor completamente mezclado, sin recirculación, el valor crítico de TRS puede evaluarse como:

$$1/\theta_c^m = Y_t \frac{RSo}{K_s + S_0} - K_d$$

dónde:

θ_c^m = TRS crítico, (días⁻¹).

Y_t = Coeficiente de producto.

R = Utilización máxima del sustrato específico, (días⁻¹).

S_0 = Concentración del sustrato influente, (masa/volumen).

K_s = Constante de saturación, (masa/volumen).

K_d = Coeficiente de decaimiento, (tiempo^{-1})

La biomasa neta producida en el digestor (Kg/día) es:

$$X = Y_t Q S_0 E / (1 + K_d \theta_c^d)$$

E = Eficiencia de utilización del desecho, 0.6-0.9 (Usualmente 0.8)

Q = Flujo del lodo (m^3/d).

θ_c^d = TRS (días).

Los valores que se tienen de Y_t y K_d son de 0.04 y 0.015 por día y R y K_s 6.67 por día y 2224 mg/l a 35C.

Una vez calculado el TRS crítico, se utiliza un factor de seguridad para calcular el TRS de diseño (θ_c^m).

$$\text{TRS} = FS \cdot \text{TRS}$$

$$\theta_c^m = FS \cdot \theta_c^d$$

Se recomienda un factor de seguridad de 2-10, dependiendo de la carga plico esperada y la acumulación de arena y escoria en el tanque. En digestores pequeños se debe emplear valores altos de FS.

- Volumen del digestor y Reducción de sólidos volátiles.

Una vez que se tiene el apropiado TRS de diseño, el volumen del tanque puede calcularse como:

$$VR = V_s \theta_d^m$$

dónde:

VR = Volumen del digestor (m^3).

V_s = Proporción diaria de lodo (m^3/d).

Para un digestor convencional, la profundidad del agua varía de 8-12m, con lo cual puede calcularse la sección transversal y diámetro del tanque.

La reducción de sólidos volátiles puede ser estimada de datos previos (40-60%) o de la siguiente forma para un digestor convencional:

$$V_d = 30 + t/2$$

V_d = % de destrucción de sólidos volátiles.

t = Tiempo de digestión (días).

Para un digestor anaerobio completamente mezclado.

$$V_d = 13.71 \ln(\theta_d^m) + 18.94$$

Para un sistema de dos etapas. Los sólidos que entran al segundo digestor se estiman por:

$$\text{Sólidos} = \text{TS} - (\text{A} \cdot \text{TS} \cdot \text{Vd})$$

donde:

TS = Total de sólidos que entran a el primer digestor, (Kg/día)

A = Porcentaje de sólidos volátiles.

Vd = Porcentaje de sólidos volátiles destruidos en el primer digestor.

- Gas.

El volumen total de gas producido puede estimarse como:

$$\text{Gv} = \text{Gssp} \cdot \text{Vs}$$

Gv = Volumen total de gas producido (m^3).

Vs = Sólidos volátiles destruidos (Kg).

Gssp = Producción específica de gas, tomada como 0.8-1.1 m^3/Kg de SVS destruidos.

El metano producido puede estimarse de la cantidad de materia orgánica removida cada día.

$$\text{Gm} = \text{Mssp} (\text{OR} - 1.42\text{X})$$

$$\text{Gm} = (\text{COD} \cdot 13.1 \text{ MJ/Kg COD}) / (38 \text{ MJ/m}^3 \text{ CH}_4)$$

G_m = Volumen de CH_4 producido (m^3/d).

M_{sgp} = Producción específica de CH_4 producida por masa de material orgánico removida (COD) (m^3/Kg).

OR = Orgánicos removidos diariamente (Kg/d).

X = Biomasa producida (Kg/d).

COD = Material orgánico removido a través del digestor.

$$GI = G_m/0.67$$

El total de gas producido (GI) varía aproximadamente 2/3 del metano. La concentración de metano esperado varía de 60-72% (en volumen) y la concentración de CO_2 de 28-40%.

VENTAJAS DE LA DIGESTION ANAEROBIA.

- Producción de metano, producto útil que puede ser usado para calentar y mezclar el digestor.
- La cantidad de sólidos volátiles para disposición final es reducida aproximadamente del 30-40% del total de sólidos.
- Bajos requerimientos de nutrientes.
- Se tiene una alta reducción de patógenos.
- El producto final presenta buenas características para su deshidratación.
- Compuestos valiosos como el amonio son conservados durante el proceso, por lo que el lodo puede ser usado en la tierra como disposición final.
- No existen requerimientos de energía para la aereación.
- El lodo anaerobio activo puede ser preservado sin alimentación por muchos meses.

DESVENTAJAS.

- Se requiere equipo de mezclado y calentamiento.
- Las bacterias anaerobias, en especial las metanogénicas son muy sensibles.
- Grandes reactores se requieren, debido al lento crecimiento de las bacterias metanogénicas y a los tiempos de retención de sólidos de 15-20 días para un DACM. El costo de capital es alto.
- El supernatante formado contiene altas concentraciones de DBO, sólidos suspendidos y amonio.
- Operación de limpiado es difícil debido a el uso de tanques aereados.

4.6 COMPOSTEO.

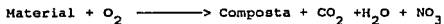
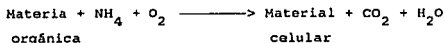
Composteo es la estabilización biológica de materia orgánica bajo condiciones controladas. La estabilización ocurre en presencia de oxígeno. El composteo se usa comúnmente para la estabilización de lodo crudo, sin embargo se ha aplicado en la estabilización de lodo digerido.

PROCESO DE CONVERSION.

Durante el composteo, moléculas orgánicas complejas son descompuestas en componentes simples, esto ocurre a través de la actividad y crecimiento de las bacterias, actinomicetos y hongos, logrando así que los residuos orgánicos después del proceso aún se degraden pero en un grado muy bajo, siempre que la actividad microbiológica sea favorable. Durante el proceso los microorganismos utilizan una porción de carbono y nitrógeno para la

síntesis de materiales celulares, de esta forma crecen y su actividad y los procesos mismos de su desarrollo (respiración) generan calor, teniendo como consecuencia un incremento en la temperatura; de esta forma los organismos termofílicos son los que llegan a predominar. El intervalo óptimo de temperatura para estos organismos, se encuentra entre 40 y 70°C.

La intensidad y duración de este calor interno produce la rápida destrucción de microorganismo.



Son parámetros determinantes en el proceso de composteo: El contenido de humedad, la temperatura, pH, nutrientes y el contenido de oxígeno.

FACTORES QUE INFLUYEN EN EL PROCESO DE COMPOSTEO.

1) Humedad. La humedad óptima para el composteo se encuentra en el intervalo de 40 y 60% (en peso), valores menores disminuyen la rapidez del proceso debido a que el agua es esencial para el crecimiento microbiano y valores arriba de 60% provocan la disminución en el espacio disponible para la circulación de aire.

2) Temperatura. La descomposición de materiales orgánicos se lleva a cabo más rápido en el intervalo termofílico. La temperatura óptima se encuentra en el intervalo de 55 a 60°C. Arriba de 60°C la actividad microbiana se ve disminuida. Para mantener la

temperatura dentro del intervalo óptimo, se debe usar ventilación forzada y controlar la ventilación de tal manera que la temperatura del aire de salida sea menor de 60°C.

3) pH. Se recomienda un intervalo de pH de 6.5 a 9.5, asegurándose el crecimiento y actividad óptimos de los microorganismos responsables del proceso.

4) Nutrientes. La descomposición puede ser limitada por la cantidad de carbono (C), nitrógeno (N) o la relación C/N. Para que el proceso de descomposición proceda rápidamente, la relación C/N deberá encontrarse entre 30:1 y 40:1, siendo la ideal 35. Con relaciones mas bajas, habrá pérdida de N a través de la volatilización en forma de amoníaco y éste es posiblemente el nutriente simple más importante para las plantas. A su vez una elevada relación limita el proceso de composteo porque el N no es suficiente para mantener la población microbiana. Como los residuos tienen una relación aproximada de alrededor 10:1, para asegurar un efectivo composteo, debe ser incrementada mediante la adición de material acondicionador rico en carbono.

5) Aereación. La aereación es importante para la actividad microbiana, control de temperatura, y eliminación de la humedad. Una aereación excesiva provoca el enfriamiento de las pilas de composteo, mientras que la carencia da como resultado olores desagradables y una inadecuada estabilización del lodo, debido a que predominan las condiciones anaerobias. Los niveles recomendables deben mantenerse en el intervalo de 5 a 15% en volumen, 20 a 50 m³/h por tonelada de lodo seco. Altas proporciones pueden ser necesarias para controlar la temperatura y actividad microbiana durante las primeras etapas del lodo.

PROCESO. DESCRIPCION.

Material acondicionador (MA). Es áquel que al ser mezclado con el lodo proporciona la estructura, textura y porosidad necesarias para la aereación mecánica y permite un rápido composteo aerobio. Las cantidades de material acondicionador son función del contenido de humedad. Como ejemplo de MA, tenemos: aserrín, viruta, cascarilla de arroz, cascarilla de cacahuate y bagazo de caña. Estos materiales, deben ser capaces de absorber la humedad para producir la deshidratación del lodo.

El proceso de composteo puede describirse en tres pasos: a) Meclado del lodo y material acondicionador, b) Composteo o descomposición microbiana de materia orgánica, c) Recuperación de material acondicionador, o reciclado del producto, curado, almacenamiento y disposición final.

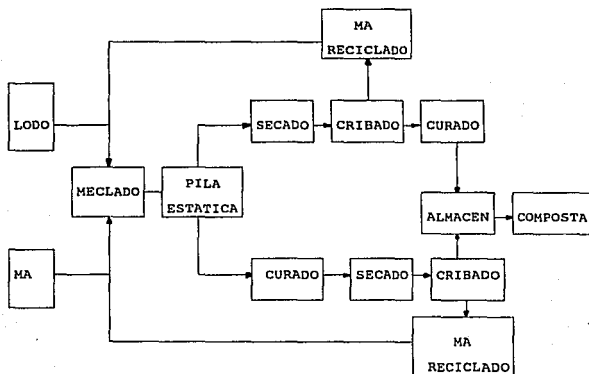


Fig. 10 Proceso de Composteo.

a) Mezclado del lodo y MA.

El lodo y el material acondicionador deben ser mezclados homogéneamente de manera que los terrones de lodo no sean más grandes de 7.5 cm de diámetro. En caso contrario, la descomposición es baja y no se alcanzan las temperaturas óptimas.

b) Composteo

Durante este período, la mezcla es aireada y el proceso biológico descompone el lodo y genera altas temperaturas destruyendo los organismos patógenos.

c) Curado

Esta fase se caracteriza por bajas temperaturas, bajos consumos de oxígeno y poca producción de olor. La degradación y estabilización del producto continúa lentamente. Representa un seguro adicional en la degradación de tóxicos orgánicos y reducción de patógenos. Durante el curado, la composta debe almacenarse en un sitio cubierto para evitar que absorba humedad.

d) Secado y cribado.

Estas operaciones son opcionales. Si es enviada al almacén la composta debe tener un contenido de humedad del 15%; en caso de ser mayor este valor, deberá secarse previamente.

El cribado tiene como propósito la recuperación de una parte del material acondicionador para reciclarlo y proporcionar al producto características que favorezcan su comercialización.

e) Almacenamiento.

Durante esta etapa la composta continúa estabilizándose y no se presentarán problemas si la operación de composteo se realizó satisfactoriamente; y si su contenido de humedad sobrepasa el 15%, habrá un incremento en la temperatura de la composta.

g) Distribución.

Este depende de la localización y del tipo de mercado, viveros, reforestación, recuperación de suelos, etc.

TIPOS DE COMPOSTEO.

- CAMELLON.

En este tipo de sistemas, la mezcla lodo-MA es colocada en pilas largas que son aireadas por volteo mecánico. Las pilas deben airearse diariamente cuando el sistema tiene alta demanda de oxígeno (en la primera etapa), posteriormente 3 veces por semana.

La sección transversal de la pila es triangular o trapezoidal, dependiendo del equipo utilizado para su volteo. Las dimensiones típicas son 4.5 m de ancho y 1-2 m de altura.

Los períodos de composteo y curado para este método son 21 y 30 días respectivamente.

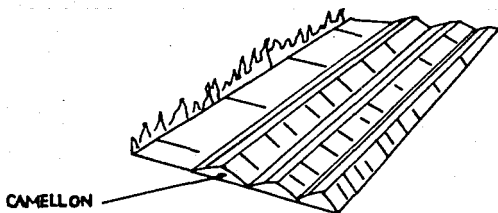


Fig.11 Composteo en Camellón.

VENTAJAS DEL SISTEMA DE COMPOSTEO EN CAMELLON.

- Secado rápido de la composta por el volteo de las pilas.
- Se obtiene un producto con bajo contenido de humedad, fácil separación y recuperación del material acondicionador.
- Capacidad para manejar grandes volúmenes de material.
- Bajos costos de capital, (equipo principal, losa de concreto y trascavo).

DESVENTAJAS.

- Se requieren grandes espacios.
- Altos costos de mantenimiento.
- Generación de olores durante el volteo, especialmente al principio del proceso.
- En época de lluvia los sistemas descubiertos no pueden operar adecuadamente.
- Se requiere un mayor control para asegurar que se alcance la aereación y temperatura adecuadas.

PILA ESTÁTICA.

En este tipo de sistemas el equipo de aereación consiste en una serie de tuberías perforadas, colocadas en la parte inferior de la pila, el suministro de aire se hace por medio de un soplador. La tubería se cubre con una capa de material acondicionador para suministrar una aereación uniforme. Sobre esta capa protectora se construye la pila, la cual se cubre con composta, que sirve para aislar y ayudar a mantener la temperatura uniforme y conseguir una superficie impermeable, para prevenir que el lixiviado llegue a agua subterránea o al equipo.

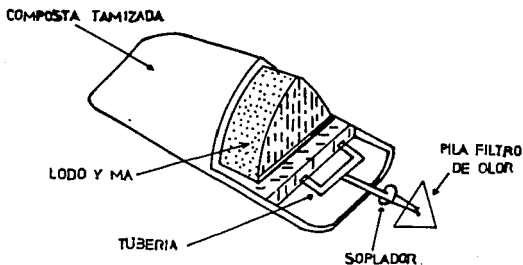


Fig. 12 Composteo en pila estática.

La descomposición microbiana provoca un aumento en la temperatura de toda la pila de 60°C, destruyendo de esta forma todos los organismos patógenos. La temperatura se incrementa hasta el intervalo termofílico o en ocasiones mas altas.

Una tasa de aereación de aproximadamente 99 m³/h por tonelada de lodo (peso seco) puede mantener los niveles de oxígeno entre 5 y 15%, para asegurar una rápida descomposición del lodo y aumentar la actividad termofílica. La difusión del aire se realiza por medio de una tubería de plástico, PVC o fierro, que se conecta al ventilador. Los ventiladores centrífugos con aspas axiales generalmente son los mecanismos más eficientes para desarrollar la presión necesaria para mover el aire a través de las pilas de composta.

La temperatura cerca de la base de la pila es ligeramente más fría, como consecuencia de la pérdida de calor con el piso. Esto provoca

la condensación del aire cuando éste alcanza a enfriarse humedeciendo la pila. Si el condensado es bastante, drenará de la pila, lixiviando algo de lodo, si no drena se puede acumular y bloquear el flujo de aire. Si el material acondicionador está seco al momento del mezclado no habrá lixiviado.

La temperatura y concentración de oxígeno deben monitorearse continuamente. La determinación periódica de las concentraciones de sólidos totales y sólidos volátiles deben llevarse a cabo.

VENTAJAS DEL SISTEMA DE COMPOSTEO PILA ESTÁTICA.

- Alto grado de destrucción de patógenos.
- Mayor control de olor.
- Buena estabilización.
- Bajos costos de capital.
- El oxígeno y la temperatura pueden controlarse y mantenerse en niveles óptimos.

DESVENTAJAS.

- Requiere de grandes espacios.
- La eficiencia de operación se afecta con las variaciones climáticas, especialmente en temporada de lluvia.

PILA ESTÁTICA EXTENDIDA.

La pila estática extendida es otra versión de la pila aereada. La producción de lodo de cada día se mezcla con el material acondicionador y se añade a un lado de las producciones anteriores, de esta manera se forma una pila continua. Para construir una pila extendida, la producción del primer día se

coloca en una pila individual con sección transversal triangular pero sólo un lado y los extremos se cubren con composta cribada. El lado restante se cubre con 2.5 cm de la composta cribada para el control de olor. El segundo día, la tubería de aeración se coloca en la superficie de la cama paralelamente al lado cubierto, se coloca una capa de material acondicionador se instala de manera que forma una pila extendida con sección transversal trapezoidal. de igual forma la cima y los bordas se cubren con composta cribada y el lado restante con la composta. Después de completar 7 secciones en forma secuencial, se deja el espacio suficiente para operación del equipo de acarreo. Los periodos de composteo y curado para la pila estática y pila estática extendida son 21 y 30 días respectivamente.

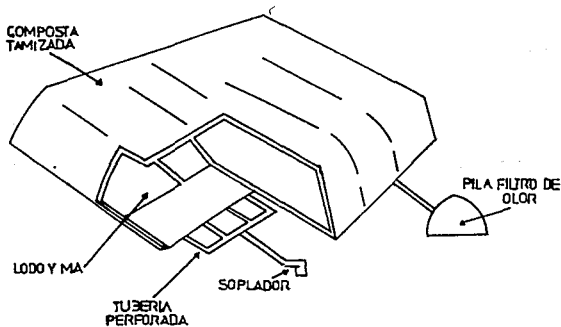


Fig.13 Composteo en pila estática extendida.

REACTOR

La mezcla de lodo residual y MA son transportados al reactor. Después de 14 días de tiempo de retención, la composta es curada en otro reactor por aproximadamente 20 días.

Hay dos tipos básicos de sistemas en reactor :El estático y el dinámico. En sistemas dinámicos el lodo y el material acondicionador son remezclados físicamente durante la aereación, consisten en tanques rectangulares o reactores circulares. En sistemas estáticos, los materiales no se remezclan, generalmente se trata de reactores cilíndricos, rectangulares o en túnel.

Un reactor tipo silo (cilíndrico), probablemente es el mas antiguo. En un sistema típico el lodo, composta reciclada y MA son mezclados y alimentados al reactor de manera que la mezcla fresca es distribuída, dentro de éste, en capas sucesivas. El material es aereado por medio de una tubería perforada que inyecta aire al reactor. Por medio de un dispositivo giratorio el material es sacado del reactor.

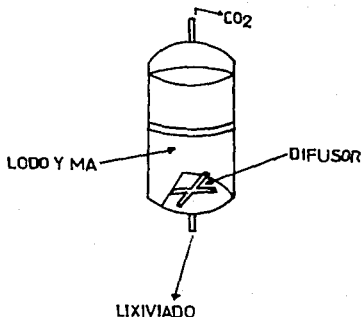


Fig.14 Reactor de un sistema de composteo.

Un sistema de composteo completo comprende un área para el mezclado, uno o más reactores en donde se lleva a cabo el composteo y reactores de curado. Equipo complementario incluye, mezcladores, controles y equipo para el manejo de materiales.

VENTAJAS DEL SISTEMA DE COMPOSTEO EN REACTOR.

- Requiere poco espacio.
- Mejor control del proceso.
- Protección contra condiciones climáticas adversas.
- Requiere menos cantidad del material acondicionador.
- Bajos costos de operación.
- Menor tiempo de retención.

DESVENTAJAS

- Altos costos de capital.
- Altos costos de mantenimiento.
- Menor flexibilidad en la operación que los otros sistemas.

CRITERIOS DE DISEÑO.

1) Material Acondicionador (MA).

El material acondicionador es adicionado al lodo para controlar la humedad, proporcionar la porosidad necesaria para una buena aereación, proveer una estructura para soportar la masa y ajustar la relación C/N.

Existe una amplia variedad de MA que puede ser usado; el tipo de MA dependerá del proceso seleccionado, características del lodo y uso del producto final. Como ejemplo de materiales acondicionadores tenemos: Astillas de madera, lodo seco, composta,

aserrín, cascarilla de cacahuete, cascarilla de arroz, grasa, cebada gastada, pulpa de azúcar gastada, hojas, bagazo, composta final, paja.

Las cantidades de material acondicionador dependerán del tipo y características del material acondicionador, características del lodo y uso del producto final. La humedad es el principal factor para controlar las cantidades de material acondicionador.

Tabla 6. Razón de diferente MA al lodo y los efectos que tiene en la temperatura de composteo.

MA	Razón de MA a lodo (Masa seca)	Temperatura máxima promedio (°C)	Días mínimos (T>60C)
Aserrín	15:1	80	6.5
Cubos de papel	1:1	74	8
100% de hojas	2.5:1	77	9
40% de aserrín	2.5:1	77	10
Cascarilla de cacahuete	2:1	77	8

2) Tiempo.

Para alcanzar la temperatura requerida y descomponer la materia orgánica, se requiere un largo período de tiempo, este varía entre 14 y 45 días, excluyendo el curado y dependiendo del proceso seleccionado, tipo de lodo, MA y uso del producto final.

El sistema de aire forzado requiere menos tiempo que el de camellón bajo las mismas condiciones. Debido a que el sistema de aire forzado está expuesto de forma uniforme a la temperatura a tiempos iguales.

3) Temperatura.

Los criterios de diseño asociados con la temperatura están basados en: destrucción de patógenos, destrucción de materia orgánica volátil, (actividad microbiana y consumo de oxígeno) y reducción de humedad.

El intervalo óptimo para remover la humedad es de 40-60°C, así como para la destrucción de materia orgánica volátil.

4) Aereación.

La aereación provee el oxígeno necesario para mantener el proceso de composteo. La aereación afecta el régimen de temperatura y remoción de la humedad.

Sistemas de camellón proveen la aereación a través de flujo convectivo de aire, así como cuando estas son volteadas, otros sistemas suministran el oxígeno requerido mediante aereación forzada. El intervalo de aereación varía entre 10-50 M³/h por tonelada de lodo seco, éste provee las condiciones necesarias para mantener la temperatura adecuada así como las actividades de los microorganismos.

4.7 TRATAMIENTO CON CAL.

Como una alternativa a la estabilización biológica, se ha utilizado la estabilización química. El tratamiento con cal, consiste en la adición de cal (CaO o Ca(OH)₂) a el lodo, hasta incrementar el pH a un valor de 12, con un tiempo de contacto suficiente para asegurar la destrucción o poca actividad de organismos patógenos.

Durante el proceso de estabilización con cal no se producen olores

desagradables como ocurre con el tratamiento biológico, debido a que la descomposición no ocurre, o se lleva a cabo en un grado pequeño. Cuando el pH es mayor de 10.5 se libera gas amoníaco, mientras que a pH menor de 6 existe la liberación de sulfuro de hidrógeno.

El tratamiento con cal ha sido clasificado como un proceso que reduce significativamente los patógenos, además, el lodo estabilizado mediante este proceso puede tener como aplicación final la tierra.

La estabilización con cal puede llevarse a cabo antes de la deshidratación del lodo (pre-estabilización con cal) o después de la deshidratación del lodo, siendo la más usada la primera, aunque la segunda presenta ventajas en cuanto a los requerimientos de cal.

Existen dos modificaciones al proceso de tratamiento con cal; la primera consiste en incrementar la dosis de cal en el proceso de acondicionamiento fierro-calcio antes de la filtración (pre-estabilización-cal). La segunda modificación consiste en adicionar cal seca a la pasta de lodo deshidratado.

Los dos procesos tienen bajos costos de capital, son más simples de operar que otros procesos y redituables. Los patógenos y olores desagradables son reducidos en un alto grado. El lodo puede ser aplicado a la tierra de agricultura ya que provee el nitrógeno y cal, así como la materia orgánica a las plantas. Cuando se ha aplicado dosis apropiadas de cal y sales de fierro, aluminio o un polímero, el lodo presenta mejores características para su filtración.

CRITERIOS DE DISEÑO.

- pH

Cuando el pH es incrementado a un valor de 12 o mayor y mantenido por dos horas se tiene una reducción significativa de patógenos y olores. El pH generalmente disminuye durante el proceso de estabilización, de tal manera que el pH debe llevarse a un valor mayor de 12 y mantenerse ahí por un periodo de tiempo dado.

- Cal

La dosis de cal depende del tipo de lodo, composición química del lodo y líquido y concentración de sólidos.

Tabla 7. Requerimientos de cal para mantener pH= 12 por 30 min.

Lodo	Concentración de sólidos (%)		Dosis de cal Kg de Ca(OH) ₂ /Kg de sólidos secos		pH promedio	
	Intervalo	Promedio	Intervalo	Promedio	Inicial	Final
Primario	3-6	4.3	.06-.17	0.12	6.7	12.7
Activado	1-1.5	1.3	.21-.43	0.30	7.1	12.6
Mezcla anaeróbica mente digerida	6-7	5.5	.14-.25	0.19	7.2	12.4
Séptico	1-4.5	2.7	.09-.51	0.20	7.3	12.7

Conforme la concentración de sólidos se incrementa la dosis de cal también se incrementa. La dosis de cal requerida para un lodo diluido es mayor que para un lodo concentrado, debido a que la cantidad de cal requerida para incrementar el pH del agua es considerable (1 g/l para alcanzar un pH=12 y 5 g/l para un

pH=12.5).

Con el fin de prevenir el decaimiento del pH asociado con el crecimiento de patógenos, debe agregarse un exceso de cal sobre la dosis necesaria para mantener un pH inicial igual a 12, ese exceso generalmente es 1.5 veces.

- Tiempo de contacto.

El lodo debe ser monitoreado continuamente de tal forma de asegurarse que el pH sea mantenido en el valor deseado durante el periodo de tiempo requerido.

VENTAJAS DEL TRATAMIENTO CON CAL.

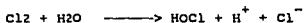
- Los organismos patógenos se reducen en un 99% o mas.
- Reducción significativa de olores.
- Mejoramiento en las características de deshidratación del lodo, en especial cuando se utilizan acondicionadores adicionales (Cal-Fe).
- Reducción en la concentración de sólidos volátiles de 10-35%.

DESVENTAJAS.

- La masa de lodo se incrementa proporcionalmente a la proporción de cal agregada.
- Reducción de los valores de nitrógeno, debido a la remoción de amonio, la pérdida es menor cuando el lodo se mezcla vigorosamente o se aplica en la tierra cuando tiene un valor de pH alto.
- Reducción en el fósforo soluble.

4.8 CLORACION.

Otro tipo de estabilización química es la cloración. La reacción inmediata de el cloro gaseoso con el agua es:



Durante el proceso de estabilización con cloro, suficiente ácido es producido para reducir el pH del lodo a un intervalo de 2 a 3. La disociación HOCl a H⁺ y OCl⁻ se obtiene (o no) a un pH bajo, por lo cual no es significativa. Cl₂ y HOCl son altamente reactivos y poderosos bactericidas y viricidas, mientras que el ion Cl⁻ no tiene capacidad desinfectante.

Las corrientes de proceso que siguen inmediatamente a la adición de cloro son esencialmente una solución de cloro conteniendo lodo. La solución contiene (en forma molecular) 10% del total de las especies de cloro presente.

Las demandas de cloro varían con las características de cada corriente de desecho.

Tabla 8. Estimado de los requerimientos de cloro para lodos.

Corriente de alimentación	% de sólidos suspendidos	Demanda de cloro g/l
Lodo primario	4	2
Lodos activados sin precedente		
Tratamiento primario	0.7	0.8
Tratamiento no primario	0.7	0.8
Lodo de filtros percoladores	1	1

La unidad de estabilización con cloro consiste de un desintegrador, una bomba de recirculación, dos tanques de reacción, un clorinador y una bomba de control de presión.

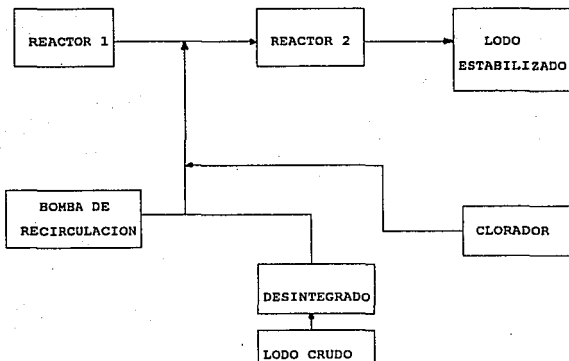


Fig 15. Proceso de estabilización de lodos con cloro.

El proceso de estabilización con cloro reduce significativamente la putrefacción de la materia orgánica y la concentración de patógenos.

Como producto, en el proceso de estabilización con cloro, tenemos unos lodos de color amarillo ligero, con olor débil y fáciles de deshidratar, el producto obtenido ha sido usado en la tierra. Sin embargo existe un gran interés acerca de su uso en la agricultura, debido a que presenta una gran acidez, alto contenido de cloro y su potencial para liberar hidrocarburos y metales pesados.

VENTAJAS DEL PROCESO DE CLORACION.

- El producto obtenido presenta buenas características para su deshidratación.
- Los volúmenes del reactor son relativamente pequeños, reduciendo el tamaño del sistema y su costo inicial.
- Apreciable reducción de organismos patógenos.

DESVENTAJAS

- No existe una reducción apreciable de sólidos volátiles.
- Sólo existe una pequeña reducción en la masa del lodo.
- El producto obtenido es corrosivo.
- No existe la producción de un subproducto útil como en el caso de la digestión anaerobia.

CAPITULO 5

DISPOSICION FINAL DE LODOS

Al mismo tiempo que hay un mayor número de plantas de tratamiento de agua residual se incrementa la producción de lodos. Por otro lado la demanda de nutrientes para la tierra cada día es mayor. El alto contenido de nutrientes que tiene el lodo lo hacen un producto útil para su aplicación en la tierra resolviendo de esta forma los problemas planteados anteriormente. Sin embargo, no se deben utilizar indiscriminadamente los lodos en la tierra puesto que no solo contienen sustancias benéficas para las plantas y el terreno y es preciso evitar el impacto que pudiera tener.

5.1 CARACTERISTICAS DE LOS LODOS QUE AFECTAN SU APLICACION EN LA TIERRA.

1) Materia orgánica.

Los materiales orgánicos degradables en un lodo no estabilizado adecuadamente pueden provocar problemas de olor y atraer radio vector (moscas, mosquitos, roedores).

2) Metales y orgánicos.

Los lodos contienen trazas de metales y compuestos orgánicos que son retenidos en la tierra y poseen riesgos potenciales para plantas animales y humanos. El metal de mayor importancia es el cadmio, este puede acumularse en plantas a niveles que son tóxicos para animales y plantas. El cadmio puede ser transferido de lodo al terreno de este a la planta, al animal y humano.

La concentración de cadmio en el lodo debe ser aproximadamente 0.3 ppm. La planta toma el cadmio de manera lineal al total de cadmio presente en la tierra.

3) Nutrientes.

El contenido de nutrientes que se encuentran en los lodos son útiles para el crecimiento de las plantas, entre ellos tenemos: nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre.

El contenido de nitrógeno y fósforo en las plantas es apreciable, mientras que el potasio solo se encuentra en pequeñas cantidades, por que este es lixiviado del lodo y descargado en el efluente de la planta. Los valores de los nutrientes en el lodo son similares a los del estiércol (tabla 3)

El nitrógeno puede encontrarse en cualquiera de sus formas: Nitrógeno orgánico, $\text{NH}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$ y $\text{NO}_3\text{-N}$, los últimos tres están disponibles para las plantas como nutrientes, mientras que los microorganismos del terreno, deben convertir el nitrógeno orgánico a su forma inorgánica para que sea disponible. El nitrógeno incrementa la velocidad de crecimiento de la vegetación, de igual manera es el nutriente de importancia en la aplicación en la tierra, debido a su potencial de contaminación de nitrato en aguas subterráneas. Por otro lado parece ser que las plantas de cultivo favorecidas por la presencia de nitrógeno son las herbáceas, maíz y cereales.

El fósforo está disponible a la misma velocidad como en el caso de fertilizantes inorgánicos y varía de acuerdo con el terreno y las plantas. Típicamente la velocidad relativa de utilización del fósforo es aproximadamente de 40-80%.

4) Patógenos.

La existencia de organismos patógenos en el lodo implica riesgo de la difusión de enfermedades infecciosas en la recuperación de nutrientes en el lodo que ha sido aplicado en la tierra.

Existen tres tipos de microorganismos que pueden ser inoportunos: bacterias, parásitos y virus.

La salmonella es el grupo predominante de bacterias en el lodo, y numerosas especies están presentes, las cuales pueden causar enfermedades a las personas que se encuentran en contacto con el lodo. La salmonella puede ser inactivada en la planta de tratamiento por cualquiera de los procesos de estabilización, pero tales procesos no eliminan los riesgos de infección de salmonella, pero si los reducen significativamente. Una vez en el terreno, las bacterias patógenas son inactivadas, y esta velocidad depende de la temperatura del terreno. El tiempo de sobrevivencia de los patógenos es de 20 semanas.

5) pH

El pH presenta un papel de importancia en la solubilidad de metales pesados. El intervalo de pH para el lodo a aplicarse en la tierra varía de 6.2-6.6 con estos valores de pH la disponibilidad de todos los elementos nutritivos que las plantas toman del sustrato se encuentran en niveles adecuados.

5.2 EVALUACION Y SELECCION DEL LUGAR PARA APLICACION DEL LODO.

Existen diferentes lugares para la disposición de los lodos en la tierra, entre ellos tenemos tierra para agricultura, bosque, sitios destinados especialmente para disposición final de residuos. Cada uno de ellos debe ser evaluado en detalle tomando en consideración las técnicas de operación y los impactos al ambiente. Las velocidades típicas de carga que se muestran a continuación pueden ser tomadas en consideración como un estimado preliminar para los requerimientos de cada área.

Tabla 9. Aplicación del lodo en la tierra.

LUGAR PARA DISPOSICION	PERIODO DE TIEMPO APLICACION	VELOCIDAD DE APLICACION (TON/ACRE)	
		RANGO	TIPICO
Agricultura bosque	anual	1-30	5
	anual o de 3-5 ve- ces al año	4-100	20
Restauració de la tierra	una vez	3-200	50
Sitio para disposición	anual	100-400	150

Para la mejor elección del sitio o lugar para disposición final del lodo se deben de tomar en consideración diferentes características del terreno, entre ellas tenemos topografía, permeabilidad, drenaje, profundidad de aguas subterráneas, geología de superficie y subsuperficial, proximidad de áreas críticas y accesibilidad.

a) Topografía

La topografía afecta el potencial para la erosión y el desagüe del lodo así como la operabilidad del equipo para aplicación del lodo, se recomiendan los siguientes declives:

- 1) 0-3% de declive, es ideal no interesando el desagüe, erosión o deshidratación del lodo.
- 2) 0-6% es aceptable aunque presenta riesgos ligeros de erosión la aplicación del lodo líquido o deshidratado sobre la superficie es aceptable.
- 3) 6-12% para la aplicación de lodo líquido se requiere de inyección para casos generales, excepto cuando se provee de un buen control del desagüe. Por el contrario la aplicación del lodo deshidratado es aceptable.
- 4) 12-15%, no se debe aplicar el lodo líquido en este lugar, a menos que se tenga un amplio control en el desagüe, la aplicación del lodo sobre la superficie es aceptable, pero se recomienda la aplicación subsuperficial.
- 5) Mayor de 15%, son adecuados para sitios con buena permeabilidad, donde la longitud de declive es corta y donde el área de declive es una pequeña parte de el área total de aplicación.

b) Terreno

Las características requeridas del terreno son las siguientes:

- 1) Permeabilidad moderadamente lenta 0.5-1.5 cm/h.
- 2) Presentan un buen drenaje o un drenaje moderado.
- 3) Son alcalinos o neutros (pH > 6.5), con el fin de poder controlar la solubilidad de los metales.

4) Profundos y de textura fina para una capacidad alta y contenido de nutrientes.

c) Profundidad a aguas subterráneas.

El agua subterránea fluctúa en diferentes terrenos. El problema consiste en establecer una profundidad mínima aceptable a las aguas subterráneas.

Tabla 10. Distancia del terreno a aguas subterráneas.

LUGAR	ACUIFERO PARA TOMAR AGUA	ACUIFERO EXCLUIDO
Agricultura	3	1.5
Bosque	6	2
Tierra para restauración	3	1.5
Tierra para disposición	73	1.5

La presencia de fallas en el terreno, canales y otro tipo de conexiones entre la tierra y agua subterránea son indeseables a menos que la profundidad sobre el terreno sea adecuada.

d) Proximidad a áreas críticas y accesibilidad.

Se recomiendan sitios aislados para los lugares de aplicación del lodo, en caso contrario se deberán colocar barreras entre el lugar de aplicación, viviendas aguas superficiales, pozos de agua y caminos.

e) Diseño de la velocidad de carga.

El diseño de la velocidad de carga esta controlado por los límites de contaminación o por la velocidad de carga de los nutrientes requerida por la vegetación.

1) Velocidad de carga basada en la carga contaminante.

Los constituyentes de interés para agricultura se listan en la tabla anterior.

El lodo que contiene concentraciones significativas de contaminantes, tiene una velocidad anual de aplicación limitada por uno de sus constituyentes tales como el cadmio. La cantidad de lodo que puede ser aplicada basado en los límites de los contaminantes esta indicado por la siguiente ecuación:

$$R_m = L_m / C_m (2000)$$

donde:

R_m : Cantidad máxima de lodo que puede ser aplicado, arriba de la vida útil del sitio (ton de sólidos secos/ acre).

L_m : Cantidad máxima de contaminante que puede ser aplicada por arriba de la vida útil del sitio, establecida por los requerimientos regulatorio (lb de contaminante/acre).

C_m : % de contaminante en el lodo expresada como decimal.

2000: lb/ton de sólidos del lodo seco.

2) Velocidad de carga basada en nutrientes.

El diseño para la aplicación de lodos a tierras de agricultura, bosques y de cosecha está basado en el contenido de nutrientes de el lodo. En muchas ocasiones el diseño de la velocidad de carga del lodo está basada en el conocimiento de las necesidades de nitrógeno anual en la cosecha. El diseño debe cumplir de igual manera con los límites de carga de contaminantes. La velocidad de diseño de carga será la velocidad más baja determinada en base a nutrientes y contaminantes.

Nitrógeno.

Los cálculos de velocidad de carga basados en el nitrógeno son complicados, debido a que mucho del nitrógeno en el lodo está en forma orgánica y es lentamente mineralizado o convertido a formas disponibles para las plantas. El nitrógeno disponible durante un año de el lodo aplicado puede ser calculado por la siguiente ecuación:

$$N = 2000 * (NO_3 + k(NH_4) + f(No))$$

dónde:

N = Nitrógeno disponible para la planta durante un año (lb de N / ton de sólido del lodo seco * yr).

2000 = lb/ton de sólidos secos.

NO₃ = % de nitrato en el lodo expresado como decimal.

K = factor de volatilización de el amonio, 0.5 para lodo seco, 0.1 para lodo líquido o deshidratado.

NH₄ = Porcentaje de amonio en el lodo expresado como decimal.

f = Factor de mineralización por año (igual a 1).

No = % de nitrógeno orgánico en el lodo expresado como decimal.

La disponibilidad de nitrógeno de la mineralización de nitrógeno orgánico aplicado en años previos se calcula como:

$$N_a = 2000 \sum f_2(No)_2 + f_3(No)_3 + \dots + f_n(No)_n$$

donde:

N_a = N disponible de la mineralización de nitrógeno orgánico aplicado en n años previos (lb de N / ton de sólidos en el lodo seco).

$(N_o)_n$ = Fracción decimal de nitrógeno orgánico permanente en el lodo en el año n.

f = Velocidad de mineralización, se refiere a el año que concierne.

El nitrógeno disponible durante un año dado es la cantidad disponible de lodo aplicado durante el año (N) mas la cantidad de la mineralización del lodo aplicado en años previos (N_a).

$$R_n = U_n / (N + N_a)$$

R_n = Carga de lodo anual en el año n (Ton de sólido seco /acre * yr).

U_n = Vegetación anual que toma el nitrógeno (lb de N/ acre* yr).

Fósforo.

Cuando la cosecha toma el fósforo, éste es especificado como el parámetro limitante. La aplicación de la velocidad del lodo es calculada:

$$R_p = U_p / C_p * 2000$$

dónde:

R_p = Velocidad de aplicación del lodo limitada por el fósforo (Ton de P/ acre*yr)

Up = Velocidad de cosecha anual que toma el fósforo (lb/acre*yr).

Cp = % de fósforo contenido en el lodo, expresado como decimal (aproximadamente el 50% del total de fósforo en el lodo se asume disponible).

OTROS USOS.

5.3 INYECCION EN POZOS PROFUNDOS.

La disposición de lodo ha sido acompañada por la inyección de suspensión en pozos profundos y almacenamiento en la tierra. Esta técnica es adecuada en casos donde los pozos profundos son ya disponibles (tales como los campos de aceite). Esta técnica de disposición final tiene la ventaja de que no existe la posibilidad de que en la gente tenga contacto con el lodo.

Desafortunadamente, este no ha sido siempre el caso. La inyección de tóxicos y otra clase de químicos peligrosos en bajos estratos geológicos representa riesgos considerables. Probablemente el aspecto más importante en la inyección del lodo en pozos profundos es que es un proceso irreversible. En el caso de que el pozo se encuentre contaminando un acuífero o resurgiendo en la superficie en algunas distancias cercanas al pozo, realmente existe poco que hacer para corregir dicha situación. Es por ello que el impacto adverso al ambiente en la inyección en pozos profundos es de gran interés.

5.4 RELLENO.

Los lodos contienen sustancias peligrosas a altas concentraciones, como los lodos de origen industrial los cuales deben ser dispuestos en lugares seguros. Para la disposición de lodo como relleno, la tierra a rellenar debe tener arcilla, caucho sintético o algún otro material de tal manera de prevenir que se filtre el lodo a aguas subterráneas. Se requieren monitoreos de pozos profundos alrededor de donde se colocó el lodo para evitar una contaminación del ambiente.

5.5 ALIMENTO PARA ANIMALES.

Ciertos elementos útiles en la alimentación del ganado, como son el calcio, fósforo y algunas vitaminas, se encuentran en los lodos de origen urbano, y durante los últimos 20 años se han realizado ensayos que demuestran que las gallinas alimentadas parcialmente con los lodos crecen con mayor rapidez y ponen más huevos que las otras.

Sin embargo, parece ser que no se ha realizado estudio alguno concerniente a los riesgos de contaminación bacteriana y viral para los animales y por tanto para el hombre.

CONCLUSIONES

- En el Reglamento de la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente en materia de Residuos Peligrosos, no se mencionan los desechos radiactivos. La alta peligrosidad que representan los desechos radiactivos debe tomarse en consideración e incluirse en el reglamento antes mencionado, de forma explícita, ¿Acaso no son altamente peligrosos?.

- En cuanto a lo que se menciona en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente referente a almacenamiento de contenedores. Los muros de contención y fosas de retención para captación de residuos o lixiviados (Art.15 cap. III), deben ser de material seguro que no reaccione con los residuos en caso de derrame.

- En el art.15 cap V se indica que las áreas de almacenamiento de residuos peligrosos deberán contar con pasillos lo suficientemente amplios que permitan el tránsito de montacargas mecánicas, eléctricos o manuales, así como el movimiento de grupos de seguridad y bomberos en caso de emergencia. Considero que se debería proponer en dicho artículo un tamaño de pasillos que permita llevar a cabo las acciones correctas en caso de emergencia.

- El sistema de extinción (Art.15 cap.VI), deberá ser el adecuado al tipo de residuo almacenado, de lo contrario, en caso de incendio podrían provocarse reacciones alternas, un aumento del incendio o condiciones desfavorables para su extinción.

- El almacenamiento de residuos peligrosos en condiciones seguras y cumpliendo con los requerimientos para contenedores, establecidos en la presente tesis, evitará la ocurrencia de accidentes o incidentes al personal laboral de la empresa, así como daños materiales a la misma.

- En caso de que se llegara a presentar algún tipo de emergencia durante el manejo de residuos peligrosos, el marcado, señalización y etiquetado de estos permite identificarlos rápidamente y llevar a cabo las acciones requeridas de tal forma de evitar graves daños al ambiente y salud pública.

- Hasta este momento no se tiene un registro completo de las empresas generadoras de residuos peligrosos, por lo cual no se conoce las cantidades de residuos generados, provocando que no se tenga un control correcto de éstos y que en ocasiones se desechen en lugares no adecuados para su disposición, provocando graves problemas al ambiente.

- En ocasiones el transporte de residuos peligrosos se hace en camionetas o camiones, los cuales no están en condiciones propias para este tipo de transporte, ¿este tipo de transporte acaso está autorizado por la Secretaría de Comunicaciones y Transporte?

- En México no existe ninguna industria que se encargue del tratamiento de los lodos generados en las plantas de tratamiento de agua residual, generalmente estos se desechan al drenaje o se disponen en sitios destinados para ello, la solución a un problema como lo son las aguas residuales, nos lleva a otro ¿qué hacer con los lodos generados en ellas?

- Cada uno de los procesos de estabilización mencionados en esta tesis, representa ventajas y desventajas, la mejor elección del tipo de proceso para la estabilización de lodos dependerá del tipo de materia prima (lodos), disposición final que se pretenda dar a los lodos, así como los costos de capital y operación.
- Actualmente no se le da mucha importancia a los lodos generados en las plantas de tratamiento de agua residual. Aparentemente estos no tienen ninguna utilidad, pero el alto contenido de nutriente que tienen los hacen ser unos magníficos fertilizantes que pueden aprovecharse en la tierra.
- Durante el desarrollo de este trabajo se constato que existe poca información acerca de la disposición final de los lodos , por lo que es necesario desarrollar otros trabajos sobre este tema.

RESIDUO PELIGROSO

RESIDUO PELIGROSO. El programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) define un residuo peligroso, con excepción de los radiactivos, "Los residuos que a causa de su reactividad química de sus características tóxicas, explosivas, corrosivas o de otro tipo, que constituyen un peligro para la salud o el ambiente, bien sea por si solos o cuando entran en contacto con otros residuos, son jurídicamente peligrosos en el estado en que se generan, aquel en que se procede a su eliminación o a través del cual se transportan.

Según la RCRA (Resource Conservation and Recovery Act) un RESIDUO PELIGROSO "Un residuo sólido o combinación de residuos sólidos, es el cual por su cantidad, concentración o características físicas, químicas o infecciosas puede causar o contribuir significativamente a un incremento en la mortalidad o en enfermedades serias irreversibles o incapacidades reversibles o, posee una sustancia presente o potencial peligroso a la salud humana o al ambiente cuando es impropriadamente almacenado, tratado transportado, o dispuesto o manejado de cualquier otra manera.

La EPA (Environmental Protection Agency) define un RESIDUO PELIGROSO como aquel que presenta una o más de las siguiente condiciones:

- Presenta características de inflamabilidad, corrosión, reactividad y toxicidad.

- No tiene una fuente específica (desperdicio genérico de procesos industriales)
- Es un fuente específica de residuos (De industrias específicas)
- Es un producto químico comercial específico o un intermediario
- Es una mezcla que contiene una lista de residuos peligroso.
- Es una sustancia que no está excluida de regulación bajo la RCRA.

Según la EPA, RESIDUO PELIGROSO, Son residuos o combinación de residuos que poseen un potencial peligroso para la salud humana u organismos vivos por que tales organismos no son biodegradables y persisten en la naturaleza, pueden ser biológicamente engrandecidos, de otra manera ellos pueden causar efectos acumulativos dañinos.

LODOS PELIGROSOS DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

- Del tratamiento de aguas residuales (T.A.) del templado en las operaciones de tratamiento de calor.
- De T.A. en la producción de creosota.
- De T.A. en la fabricación y procesamiento de explosivos.
- De T.A. en la producción de disulfoton.
- De T.A. en la producción de forato.
- De T.A. en la producción de toxafeno.
- De T.A. y lavadores de la cloración del ciclopentadieno en producción de clordano.
- De T.A. en operaciones de galvanoplastia.
- De T.A. de la producción de clordana.

- De T.A de la producción primaria de zinc
- De la producción de pigmentos amarillos y naranjas de Cr.
- De oxidación de tratamiento de aguas residuales.
- De T.A. de la producción de pigmentos azules de Fe.
- De T.A. de producción de pigmentos naranja de molibdato.
- De T.A. de la producción de pigmentos verdes de Cr., óxidos de Cr.
- De T.A. de proceso electrolítico de la producción de Cl
- De sedimento de T.A. de los procesos de preservación de la madera que utilizan creosota, clorofenol, pentaclorofenol y arsenicales.

Lista de sustancias peligrosas según la NTE-CRP-001/88.

CONSTITUYENTE	CONCENTRACION PERMITIDA (mg/l)
Acrilonitrilo	5
Arsenico	5
Bario	100
Benceno	0.07
Bis(2-cloroetil)eter	0.05
Cadmio	1
Clordano	0.03
Clorobenceno	1.4
Cloroformo	0.07
Cloruro de metileno	8.6
Cloruro de vinilo	0.05
m-cresol	1
o-cresol	10
p-cresol	10
Cromo	5
2-4diclorobenceno	1.4
1-2diclorobenceno	4.3
1-4diclorobenceno	10.8
1-2diclorobenceno	0
1-1dicloroetileno	0
2-4dinitrotolueno	0
Disulfuro de carbono	14.4
Endrin	-
Fenol	14.4

CONSTITUYENTE	CONCENTRACION PERMITIDA (mg/l)
Heptacloro	0.001
Hexaclorobenceno	0.13
Hexaclorobutadieno	0.72
Hexacloroetano	4.3
Isobutano	30
Lindano	0.06
Mercurio	0.2
Metil etil cetona	7.6
Metoxicloro	1.4
Nitrobenceno	0.13
Pentaclorofeno	3.6
Piridina	5
Plata	5
Plomo	5
Cemento	1
1,1,1 R tetracloro etano	10
1,1,2,2 tetracloro etano	1.3
2,3,4,6 tetracloro fenol	1.5
Tetracloruro de carbono	0.007
Tolueno	14.4
Toxafeno	0.07
1,1,1 tridetano	30
1,1,1 tridetano	1.2
Tricloroetileno	0.07
2,4,5 triclorofenol	5.8
2,4,6 triclorofenol	0.3
2,4,5 triclorofenol	0.14

ANEXO 2




ETIQUETAS PARA LOS GASES DE LA CLASE 2
QUE TIENEN RIESGOS SECUNDARIOS

Riesgos secundarios que se indican en la tabla 2 de la - NTTMP-SCT-002	Etiqueta de riesgo principal	Etiqueta de riesgo secundario
3	Gas inflamable (roja)	Ninguna
3.6.1	Gas tóxico (blanca)	Gas inflamable (roja)
3,8	Gas inflamable (roja)	8
5.1	Gas no inflamable (verde)	5.1
5.1,6.1	Gas tóxico (blanca)	5.1
5.1,6.1,8	Gas tóxico (blanca)	5.1,8
6.1	Gas tóxico (blanca)	Ninguna
6.1,8	Gas tóxico (blanca)	8
8	Gas no inflamable (verde)	8

**CROMATICIDAD PARA LOS COLORES UTILIZADOS EN EL SISTEMA DE
IDENTIFICACION DE MATERIALES PELIGROSOS**

COLOR		1	2	3	4
ROJO	X	0.424	0.571	0.424	0.571
	Y	0.306	0.306	0.350	0.350
NARANJA	X	0.460	0.543	0.445	0.504
	Y	0.370	0.400	0.395	0.430
AMARILLO	X	0.417	0.490	0.390	0.440
	Y	0.392	0.442	0.430	0.492
VERDE	X	0.228	0.310	0.228	0.310
	Y	0.354	0.354	0.403	0.403
AZUL	X	0.200	0.225	0.177	0.230
	Y	0.175	0.250	0.194	0.267
BLANCO	X	0.350	0.300	0.290	0.340
	Y	0.360	0.310	0.320	0.370
NEGRO	X	0.385	0.300	0.260	0.345
	Y	0.355	0.270	0.310	0.395

HOJA DE EMERGENCIA EN TRANSPORTACION

1 NOMBRE Y DIRECCION DE LA COMPANIA <small>FABRICANTE IMPORTADOR USUARIO DISTRIBUIDOR</small> 2 *TELEFONOS DE EMERGENCIA	3 NOMBRE DEL PRODUCTO (COMERCIAL Y TECNICO)	6 COMPANIA TRANSPORTADORA
	4 CLASIFICACION	7 TELEFONOS DE EMERGENCIA
	5 No. DEL MATERIAL	
8 ESTADO FISICO	9 ASPECTO FISICO	10 AVISAR A LAS AUTORIDADES LOCALES <small>Policia Federal de Caminos, Bomberos, Cruz Roja</small>
11 EQUIPO Y MEDIOS DE PROTECCION PERSONAL		
EN CASO DE ACCIDENTE : <small>-PARE EL MOTOR -PONER SEÑALES EN ZONA DE PELIGRO -ALEJAR A PERSONAS EXTRANAS DE LA ZONA DE PELIGRO</small>		
<small>12 RESGATOS</small> ▼ SI OCURRE ESTO		<small>13 ACCIONES</small> ▼ HAGA ESTO
14  <small>INDICACION DE EXPOSICION</small>	15	
16 CONTAMINACION	17	
18 <small>INFORMACION MEDICA</small>	19	
 20 DERRAMES / FUGAS.	21	
 22 FUEGO	23	

BIBLIOGRAFIA

- Allied-Signal
Manual para generadores de residuos peligrosos
Por Consultoría Ambiental 21, S.A de C.V.
Septiembre, 1990.
- Charles A. Sentz
Hazardous waste management
Ed. McGraw-Hill Publishing Company
E.U., 1989.
- EPA
Process design manual for sludge treatment and disposal
U.S. 1974.
- Farias Hernández Pablo
Los materiales peligrosos en su transportación y su sistema de comunicación
Tesis UNAM
México, 1991.
- Gary F. Lindgren
Managing industrial hazardous waste a practical handbook
Lewis Publishers
U.S., 1990.
- Gamrasni M.A.
Aprovechamiento agrícola de aguas negras urbanas
Limusa
México, 1985.
- Hernández Jimenez
Transformación de lodos activados de purga en inóculo anaerobio granular: efecto de la velocidad ascendente y del sustrato
Tesis UNAM
México, 1990.
- Metcalf and Eddy
Wastewater engineering treatment, disposal and reuse
McGraw-Hill publishing company
U.S., 1991.
- Tratamiento aerobio, Primera parte*
Diplomado de química ambiental
México, 1991.
- Noyola Robles, Moreno, Calderón y González
Digestión de lodos de purga para su tratamiento y transformación en inóculo anaerobio granular
Instituto de ingeniería, UNAM
México, 1990.

Pojasec Robert
Toxic and Hazardous Waste disposal, Vol 1
Ann Arbor Science
U.S., 1979.

Stephen E. Ahistroom
Sludge Stabilization, manual of practice FD-9
Control federation
U.S., 1985.

13. Tchobanoglous
Solid Wastes
McGraw-Hill
U.S., 1979.

Vesilind
Sludge management and disposal for the practicing engineer
Ed Publishers, inc.
U.S., 1988.

Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al ambiente
Porrúa,
México, 1991.

Winkler Michael
Tratamiento biológico de aguas de desecho
Limusa
México, 1986.

Wentz Charles
Hazardous waste management
McGraw-Hill Publishing Company
E.U., 1989.

Jimenez Luna Edmundo
Manejo de materiales peligrosos en transportación
Tesis, UNAM
México, 1991.

Norma técnica ecológica
NTE-CRP-001/88.

Norma técnica para el transporte de materiales peligrosos
NTTNP-SCT-008/92.

Norma técnica para el transporte de materiales peligrosos
NTTNP-SCT-018/92.