



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**DIPLOMADO DE ACTUALIZACION EN
SISTEMAS DE CONTROL DE RESIDUOS SOLIDOS Y PELIGROSOS**
Cursos Abiertos

**MODULO III : "PROCESOS DE TRATAMIENTO PARA EL CONTROL DE RESIDUOS
SOLIDOS MUNICIPALES Y PELIGROSOS"**

T E M A :

MINIMIZACION DE LA GENERACION DE RESIDUOS RELIGROSOS

Presenta :

ING. EFRAIN ROSALES AGUILERA

MODULO PROCESOS DE TRATAMIENTO PARA EL CONTROL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES Y PELIGROSOS

PRIMER DIPLOMADO NACIONAL A DISTANCIA EN SISTEMAS DE CONTROL DE RESIDUOS SÓLIDOS Y PELIGROSOS

MINIMIZACIÓN DE LA GENERACIÓN DE RESIDUOS PELIGROSOS

INTRODUCCIÓN

La minimización de la generación de residuos industriales peligrosos, tiene varias décadas que se ha venido haciendo, debido a la necesidad de optimizar los procesos productivos y reducir la generación de residuos que conlleva una serie de operaciones subsecuentes para almacenar, transportar y disponer los residuos que se generan.

Con la finalidad de obtener altos rendimientos que significarían productividad para el industrial y alto retorno de la inversión, ha proporcionado el desarrollo de diversas técnicas y procedimientos para minimizar in-situ la generación de los residuos industriales peligrosos en procesos y operaciones productivas.

Cabe mencionar que el avance tecnológico y el control de procesos, ha permitido reducir la generación de los residuos industriales de manera importante, lo anterior aunado al control de calidad de las materias primas.

Podríamos considerar que la minimización de la generación de residuos se extiende a todas las actividades relacionadas con el quehacer de la industria y los servicios, teniendo como base la planeación, el control de calidad, investigación y desarrollo, las tecnologías y control de producción así como el equipo humano que interviene en todo el proceso.

Por último quiero poner de manifiesto, que la minimización podrá lograrse cuando se tengan cuadros de niveles de calidad superior, ya que con las actividades comunes ejecutadas por personal de bajo nivel, no será posible lograr la comprensión del proceso y operaciones en todas sus etapas, y por consiguiente no se lograría ninguna modificación encaminada a depurar el proceso para su optimización, control y que significaría trabajar con tecnologías limpias; desde luego el apoyo de los corporativos y directivos de las empresas juega un papel prioritario en la toma de decisiones para realizar las investigaciones, planear procedimientos y ejecutar acciones tendientes a minimizar la generación.

Modificaciones de Tecnología

Optimización de la energía
Uso controlado y racional del agua
Mejorar Controles
Modificaciones de Proceso
Cambios de equipo

Reciclaje Interno/Externo

Recuperación para reuso

DESARROLLO DE PROCESO

Durante el desarrollo de un proceso, es básico prever la minimización de la generación de residuos, seleccionando de manera ordenada y cuidadosa las materias e insumos que estarán involucradas en el mismo, los equipos y recipientes donde se desarrollará el proceso, la instrumentación para el control y los protocolos de operación, tomados de la escala piloto de la planta.

INFORMACION DEL PROCESO Y LA PLANTA NECESARIA PARA INTENTAR LA MINIMIZACION

- **Información de diseño**

Diagramas de flujo del proceso
Balances de materia y energía
Manuales de descripción y operación del proceso

- **Información ambiental**

Reportes legales de residuos
Inventarios de emisiones
Reportes de auditorías
Análisis químicos de los residuos

- **Información de Materias Primas y Productos Terminados**

Composición de productos
Hojas de especificación en seguridad
Procedimientos operativos

- Información económica

Costos de disposición y tratamiento de residuos

Costos de operación

Costos de materia prima, servicios y producto

- Otra información

Prácticas de trabajo seguro

Organigrama

FUENTES DE DATOS DE BALANCES DE MATERIA Y ENERGIA

- Muestras, análisis y mediciones de flujo
- Registro de compras
- Inventario de materiales
- Limpieza de equipo
- Registro en repuestos intermitentes
- Especificaciones de producto
- Balances de materia en el diseño
- Registros de producción
- Procedimientos operacionales
- Reportes legales de residuos

CONSIDERACIONES PARA PRIORIZAR CORRIENTES DE RESIDUOS

- Características de peligrosidad y/o toxicidad
- Cumplir con la legislación de la materia
- Cantidad de generación
- Puntos de generación
- Causas de generación
- Costos de manejo
- Afectación a la calidad del producto terminado

CRITERIOS TECNICOS

- ¿ Es el sistema seguro para los trabajadores?
- ¿ La calidad del producto será mantenida?
- ¿ Hay espacio disponible?
- ¿ Requiere mano de obra adicional?
- ¿ Son disponibles servicios de agua, vapor, etc?
- ¿ Cuanto tiempo se requiere para instalar el sistema?
- ¿ Se requiere especialistas para operar el cambio?

- ¿ El proveedor da servicio aceptable?
- ¿ El sistema crea otros problemas al ambiente?

AHORROS EN LA OPERACION

- Reducción de costos en el manejo del residuo
- Ahorros en el costo de material de entrada
- Ahorros en fianzas y seguros
- Cambios en costos asociados con la calidad
- Cambios en costos de servicios de energía
- Cambios en mano de obra
- Cambios en gastos de operación y mantenimiento
- Cambios en gastos administrativos
- Cambios en beneficios por aumento o disminución de producción
- Aumento de beneficios en subproductos

Para visualizar de manera más objetiva la necesidad de hacer los cambios al proceso, materias primas, equipo e instrumentos, encaminados a minimizar la generación de residuos, deberá hacerse un análisis de costo-beneficio sobre el manejo de los residuos, tomando en cuenta los volúmenes de generación y sus características.

Cabe resaltar que al hacer la relación del costo-beneficio habrá siempre un punto que no podrá ser cuantificado en pesos de manera precisa, y esto es el beneficio ecológico y la minimización del riesgo a la población.

Si el grupo directivo y técnico decide recurrir a la minimización podrá optar por alguno de los procedimientos siguientes o a técnicas innovadoras:

REDUCCION EN LA FUENTE

- Uso de materias primas de mejor calidad.
- Cambio de materias primas por otras que den mejores resultados.
- Cambio o modificación de la tecnología.
- Dosificación de materias primas.
- Optimizar la velocidad de dosificación, para procesos continuos.
- Conocer y observar con precisión los tiempos de residencia.
- Condiciones y control de temperatura y presión.
- Limpieza de equipo y recipientes a través de programa que debe ser aplicado con rigor.
- Balance de energía, para conservación de la misma.
- Balance de agua para conservación.
- Balances de masa, para conocer la eficiencia del proceso.

- Supervisión estrecha para vigilar el cumplimiento de los protocolos de operación.
- Buenas prácticas de operación.
- De acuerdo con la intensidad de uso de materias primas y productos terminados diseñar el envase o embalaje.

MINIMIZACION PARA LA DISPOSICION FINAL DE RESIDUOS INDUSTRIALES PELIGROSOS

La recuperación para el reuso, que constituyen el reciclaje significando darle una vida útil mayor a las materias primas es otro de los procedimientos importantes dentro de las actividades productivas, incluye desde luego la utilización de la energía intrínseca de los residuos, que puede ser aprovechada para procesos productivos como es el caso de los combustibles alternos.

CONSIDERACIONES QUE DEBEN DE TOMARSE PARA PROCEDER A LA RECUPERACION PARA REUSO

- Características físico-químicas y toxicológicas del residuo
- Composición
- Cantidad generada
- Demanda interna o externa para el reuso del material recuperado
- Tecnología disponible
- Costos en la producción
- Costos de manejo
- Seguridad e higiene
- Restricciones de la legislación para el manejo

Características fisicoquímicas

Desde el punto de vista fisicoquímico para el manejo, los aspectos más importantes son el estado, y el tipo de recipiente en que deberá envasarse para su almacenamiento y transportación.

Toxicología del residuo

Si el residuo es altamente tóxico, deberá manejarse de manera cuidadosa y almacenarse en sitios de alta seguridad, lo que significa costo adicional.

Composición

La composición es importante ya que los niveles de peligrosidad para muchos residuos se da en mg/l, y a las concentraciones de los niveles máximos permisibles ningún proceso es viable desde el punto de vista de recuperación.

Cantidad generada

La cantidad generada es importante, por la escala que deberá manejar el proceso de recuperación para que sea viable.

Demanda interna o externa para el reuso del material recuperado

Si existe la posibilidad de ser usado en la misma empresa que lo generó resulta ser más atractivo y económico, de no ser así tendrá que buscarse el mercado externo que lo requiera para reuso, en la cantidad que se trate, de lo contrario no será posible su recuperación.

Tecnología disponible

La tecnología es la base para el tratamiento de recuperación de cho. No existir la tecnología disponible y en la escala que se necesita, deberá hacerse lo posible por desarrollarla si es viable económica y técnicamente.

Costos en la producción

Deberán hacerse los estudios necesarios conducentes a conocer los costos de la generación en el proceso y las implicaciones en el control de calidad del producto terminado.

Costos de manejo

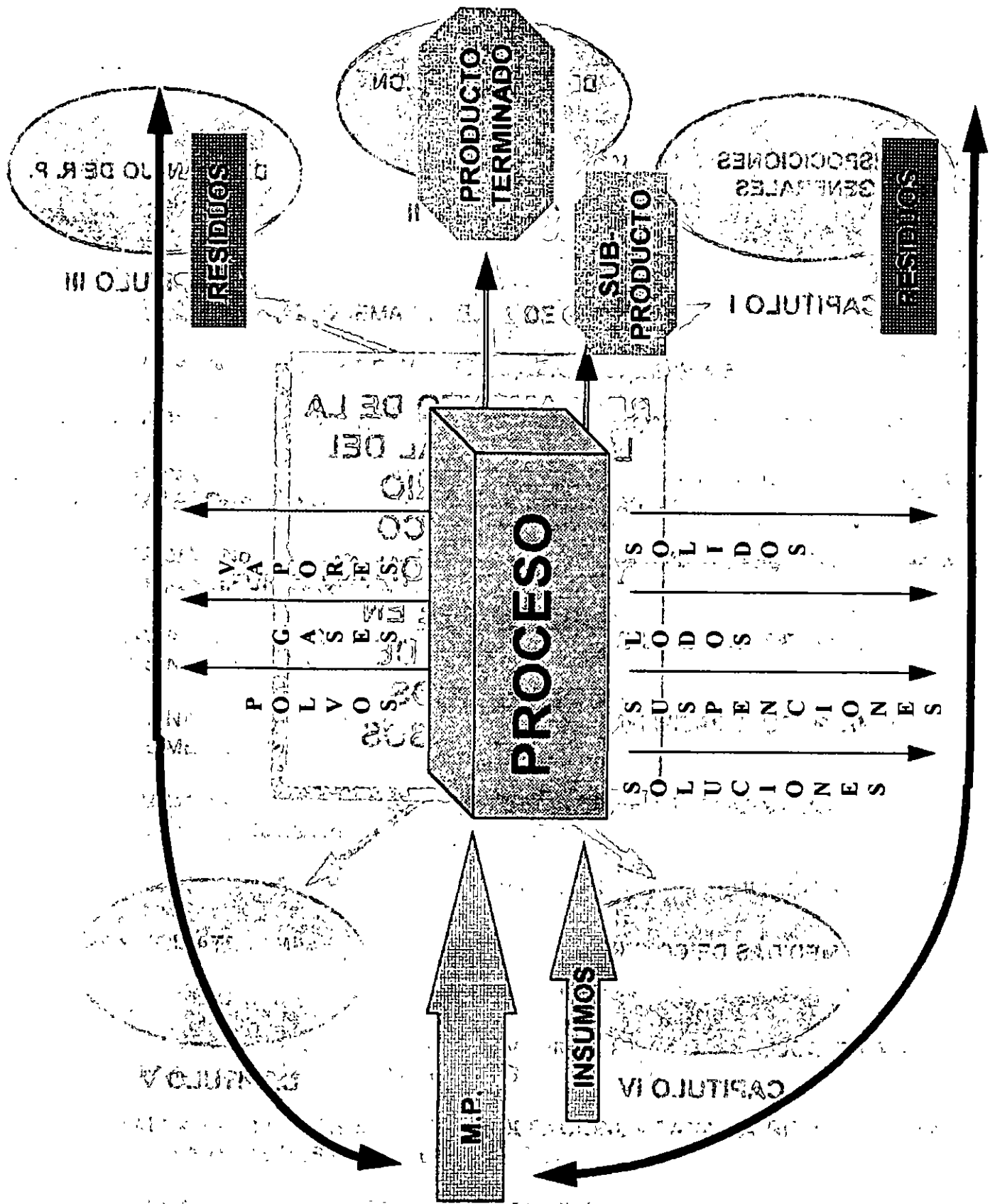
Hacer los estudios necesarios para conocer los costos de manejo que incluyen: recolección, envasado, almacenamiento, transporte y disposición final del residuo.

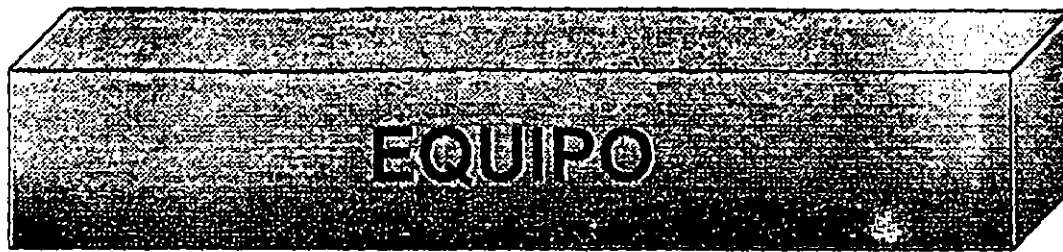
Seguridad e higiene

El personal técnico deberá conocer con exactitud los riesgos asociados que contempla el manejo de los residuos industriales peligrosos y su costo de equipo de protección personal para los empleados que deben manipularlo, las áreas especiales de almacenamiento y todos los procedimientos de contingencia que deberá tener previstos.

Restricciones de la legislación para el manejo

Si la legislación contempla restricciones para algunos de los segmentos del manejo de los residuos industriales peligrosos e impide que pueda ser tratado o procesado para su recuperación.



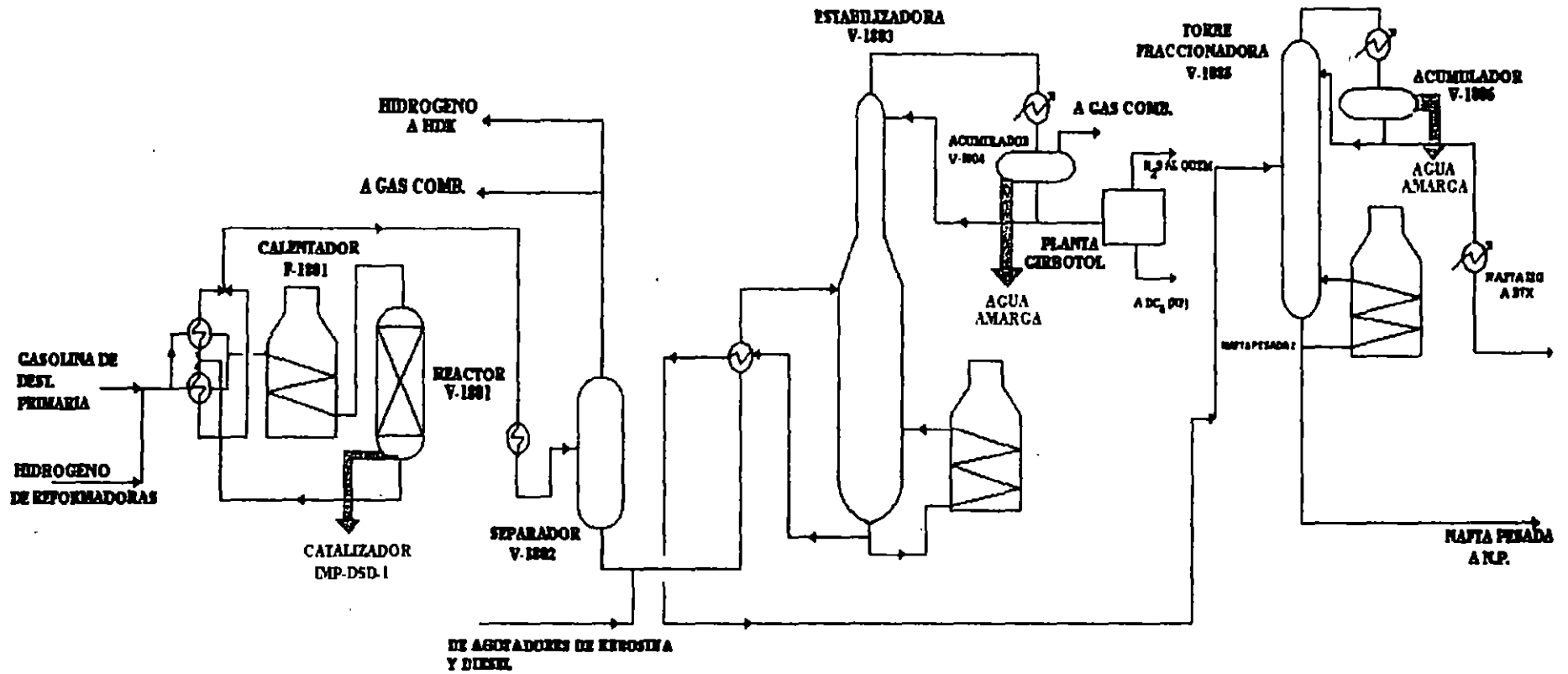


- REACTOR
- TIPO DE MATERIAL
- RECUBRIMIENTO
- EMPAQUES Y SELLOS
- TRANSPORTADORES
- MECANICOS O
- NEUMATICOS
- BOMBAS Y TUBERIAS
- PESAJE Y ENVASADO
- TANQUES Y RECIPIENTES

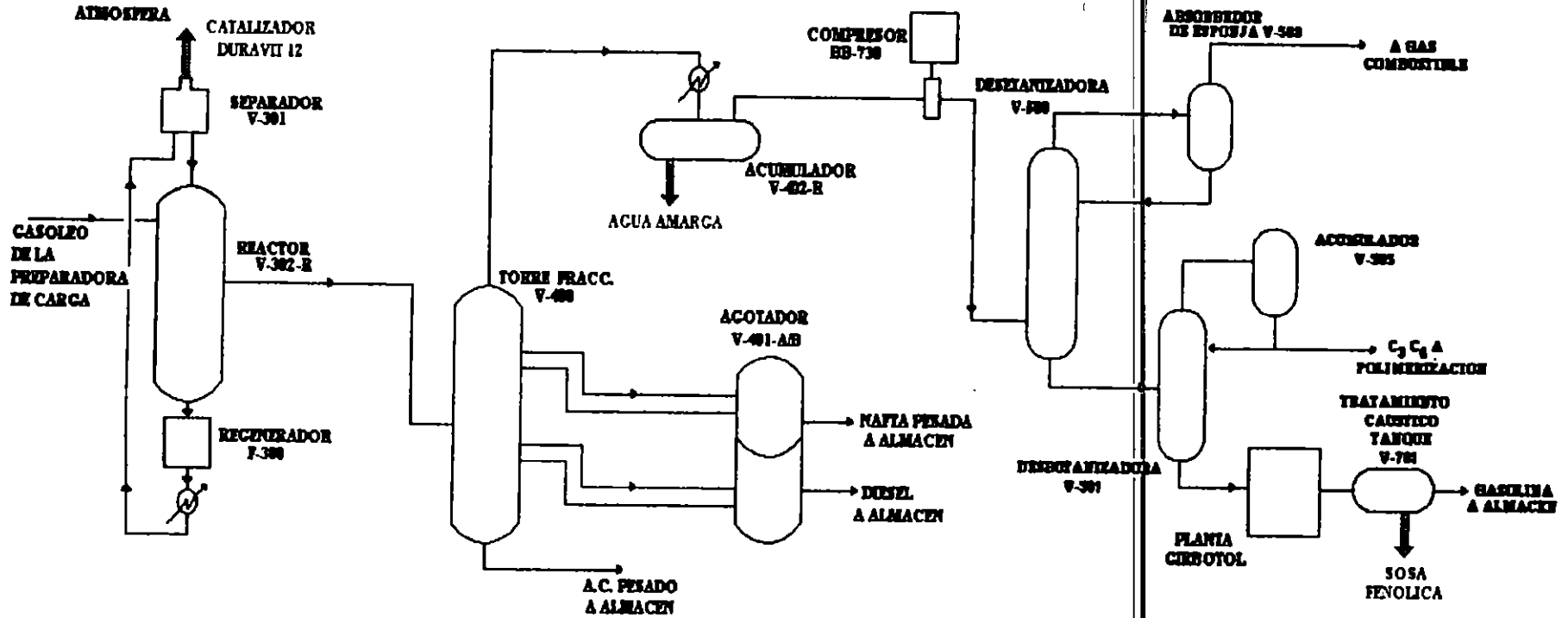
OPERACIONES UNITARIAS

- DECANTACION
- LAVADO
- CENTRIFUGADO
- FILTRADO
- EVAPORACION
- SECADO
- DESTILACION

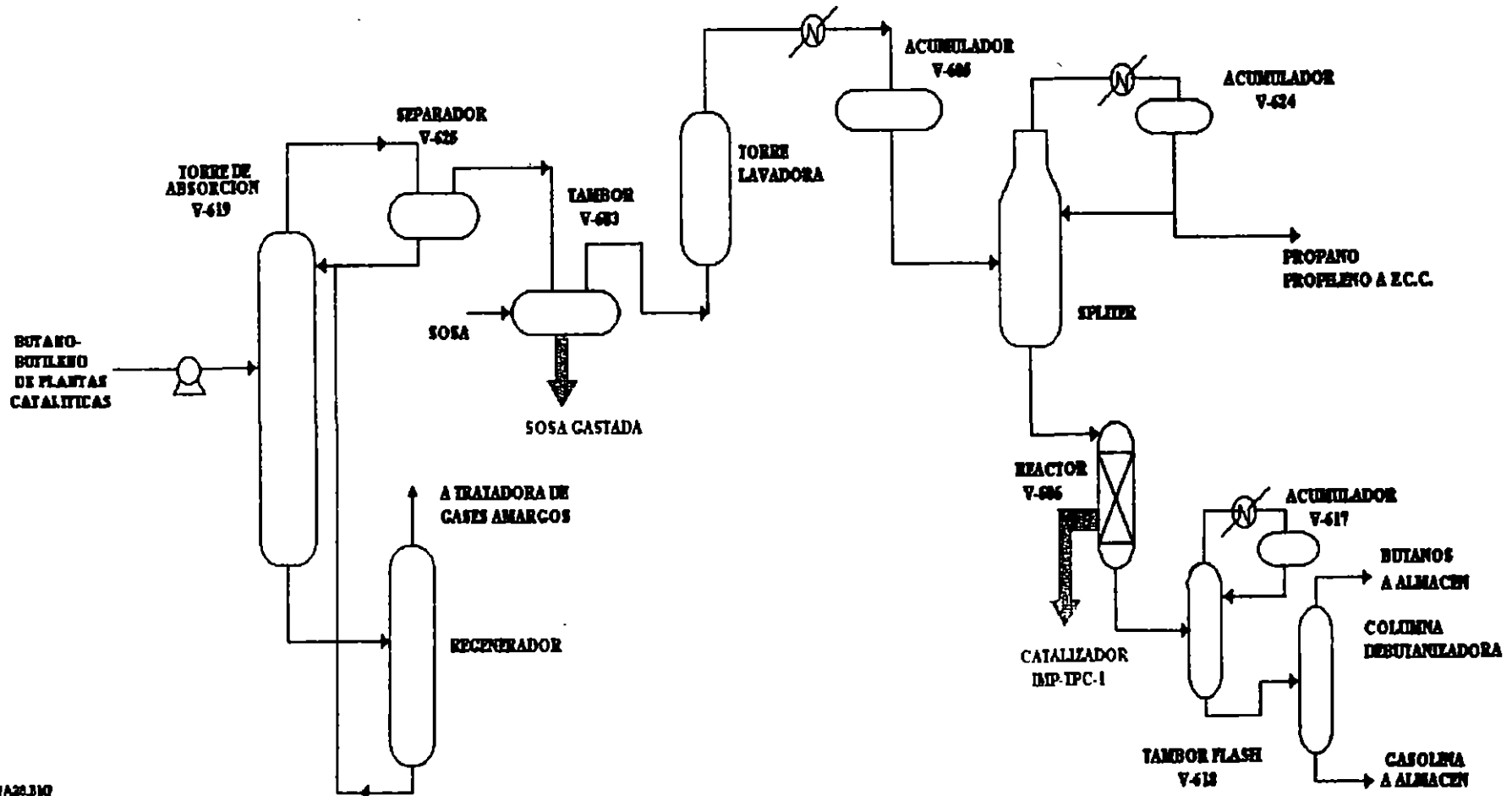
PLANTA HIDRODESULFURADORA DE GASOLINA



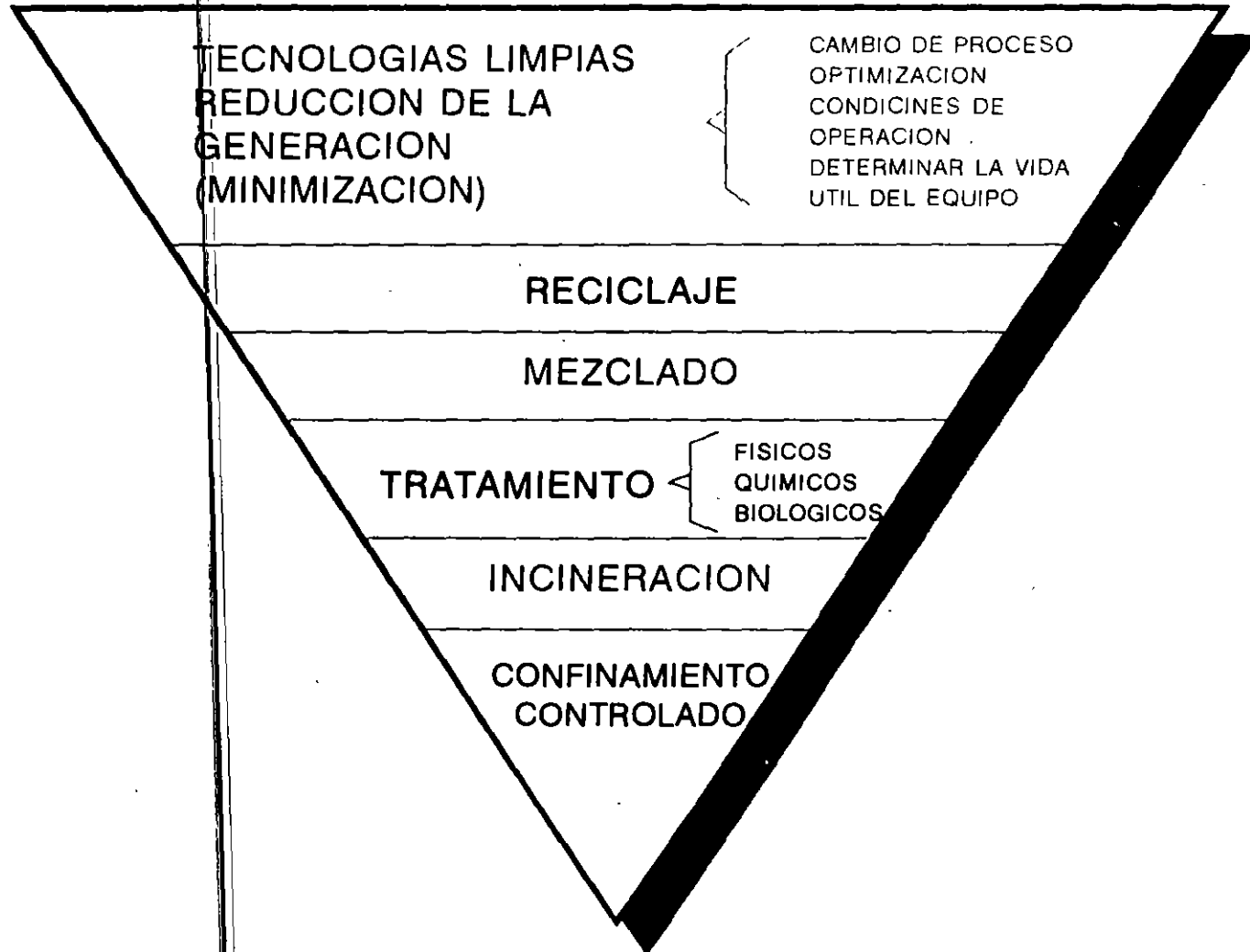
PLANTA DESINTEGRACION CATALITICA



PLANTA DE POLIMERIZACION



ESTRATEGIA DE ELIMINACION DE LOS RESIDUOS INDUSTRIALES



MINIMIZACION DE LA GENERACION

La minimización significa la reducción de la generación en la fuente de cualesquier descarga o emisión contaminante. La reducción de la generación se puede lograr de diferente manera, buscando la opti-

mización y limpieza en el proceso.

De no ser posible la minimización en el proceso, la recuperación para el reuso de los componentes que tengan valor es importante para la ~~reducción posterior a la~~ generación es otra forma de controlar lo generado.

REDUCCION EN LA FUENTE

- **Uso de materias primas de mejor calidad.**
- **Cambio de materias primas por otras que den mejores resultados.**
- **Cambio o modificación de la tecnología.**
- **Dosificación de materias primas.**

- **Optimizar la velocidad de dosificación, para procesos continuos.**
- **Conocer y observar con precisión los tiempos de residencia.**
- **Condiciones y control de temperatura y presión.**
- **Limpieza de equipo y recipientes a través de programa que debe ser aplicado con rigor.**
- **Balance de energía, para conservación de la misma.**

- **Balance de agua para conservación.**
- **Balances de masa, para conocer la eficiencia del proceso.**
- **Supervisión estrecha para vigilar el cumplimiento de los protocolos de operación.**
- **Buenas prácticas de operación.**
- **El envase y embalaje de materias primas y productos terminados.**

CONSIDERACIONES PARA LA RECUPERACION

- **CARACTERISTICAS FISICO-QUIMICAS Y TOXICOLOGICAS DEL RESIDUO**
- **COMPOSICION**
- **CANTIDAD GENERADA**
- **DEMANDA INTERNA O EXTERNA PARA EL REUSO DEL MATERIAL RECUPERADO**
- **TECNOLOGIA DISPONIBLE**
- **COSTOS EN LA PRODUCCION**
- **COSTOS DE MANEJO**

- **SEGURIDAD E HIGIENE**
- **RESTRICCIONES DE LA LEGISLACION PARA EL MANEJO**



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**DIPLOMADO DE ACTUALIZACION EN
SISTEMAS DE CONTROL DE RESIDUOS SOLIDOS Y PELIGROSOS**
Cursos Abiertos

**MODULO III : "PROCESOS DE TRATAMIENTO PARA EL CONTROL DE RESIDUOS
SOLIDOS MUNICIPALES Y PELIGROSOS"**

T E M A :

SISTEMAS Y EQUIPOS PARA EL TRATAMIENTO DE RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES

Presenta :

ING. VICTOR FLORES VALENZUELA

ING. MARGARITA GUTIERREZ ROJAS

**DIPLOMADO DE RESIDUOS SOLIDOS
MODULO III PROCESOS DE TRATAMIENTO
PARA EL CONTROL DE RESIDUOS SOLIDOS
MUNICIPALES Y PELIGROSOS**

**" SISTEMAS Y EQUIPOS PARA EL TRATAMIENTO DE RESIDUOS
SOLIDOS MUNICIPALES "**

P o n e n t

**Ing. Victor Manuel Flores Valen
Ing. Margarita Gutiérrez I**

Julio de

TRATAMIENTO.

I. GENERALIDADES

El tratamiento de los residuos sólidos se presenta como una alternativa frente a la disposición final de éstos, ya sea en tiraderos a cielo abierto o bien en rellenos sanitarios. Lo interesante de esta alternativa puede deberse a varias razones. Primeramente, se tiene la elevación en los costos de disposición final de los residuos sólidos dada la cada vez mayor dificultad para obtener terrenos aptos para ello cercanos a las ciudades, lo que ocasiona que se tengan que recorrer grandes distancias para transportar la basura a los sitios de disposición final. Se tiene también, la oposición de ciertos sectores de la población hacia esta práctica, ya que si bien un relleno sanitario considera en su diseño todas las medidas necesarias para prevenir los impactos en la salud y en el medio ambiente, el hecho de que la basura permanezca enterrada provoca una desconfianza ya que puede representar un riesgo con el paso de los años o en la eventualidad de una inundación, terremoto, etc.

Asimismo, debido a la degradación y escasez de los recursos naturales, así como a la elevación en los costos de ciertas materias primas y energéticos necesarios para la fabricación de productos diversos, se considera a los residuos sólidos como una fuente alterna de materia para algunos procesos de fabricación, alternativa que se cancela cuando los subproductos factibles de ser reciclados son dispuestos y enterrados permanentemente en los rellenos sanitarios.

Como consecuencia de lo anterior, existe a nivel mundial una tendencia que se ha iniciado en los países

industrializados hacia el reciclaje y tratamiento de los residuos sólidos municipales, buscando con ello la racionalización y protección de los recursos así como minimizar los posibles efectos negativos en el medio ambiente.

El tratamiento de los residuos sólidos municipales puede ser definido como el conjunto de técnicas o métodos de procesamiento, físicos, químicos o biológicos, que se aplican a los desechos sólidos con la finalidad de modificar sus características. Los objetivos últimos del tratamiento de los residuos sólidos pueden ser varios, contándose entre los más comunes a los siguientes:

- reciclaje de subproductos
- reducción de volumen
- recuperación de energía
- eliminación de agresividad de los residuos
- facilitar su manejo

II. INCINERACION.

1. Introducción.

La incineración de los residuos sólidos municipales es un proceso de tratamiento que consiste en la transformación de la fracción combustible de aquéllos en un producto gaseoso (fundamentalmente bióxido de carbono y vapor de agua), y un producto sólido relativamente inerte y libre de microorganismos compuesto por escorias y cenizas, en base a una combustión controlada vía oxidación a altas temperaturas. En la práctica, el producto gaseoso puede contener además otro tipo de compuestos, como son el monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, bióxido de azufre, ácido clorhídrico, etc., y aún compuestos tóxicos como

pueden ser las dioxinas y ciertos metales pesados. Por su parte, las escorias generalmente están compuestas por materiales incombustibles, tales como latas, piedras, vidrios, residuos de construcción, etc.

Mediante la incineración de los residuos sólidos municipales, se logran los siguientes objetivos básicos:

- reducción de volumen
- destrucción de gérmenes patógenos
- en ciertos casos, recuperación de energía

Este método de tratamiento se presenta como una alternativa interesante cuando no hay disponibilidad de terrenos para sitios de disposición final, o bien éstos se encuentran localizados a distancias considerables de las fuentes generadoras.

A continuación se enlistan las principales ventajas y desventajas de la incineración de residuos sólidos municipales.

Ventajas.

- permite una reducción del 80 al 90% del volumen original de los desechos.
- elimina completamente los microorganismos dadas las elevadas temperaturas de combustión (800-900 °C) y tiempos de residencia (de uno a dos minutos como mínimo, por lo general alrededor de treinta minutos).
- las condiciones climatológicas y meteorológicas no afectan el proceso.
- requiere de poco espacio, pudiendo localizarse dentro de una zona urbana.
- en ocasiones, la recuperación de energía es posible.

Desventajas.

- implica altos costos de capital, operación y mantenimiento.
- se requiere de personal especializado para las actividades de operación y mantenimiento.
- durante la combustión se destruyen materiales potencialmente reciclables.
- se requiere de equipos para control de emisiones sumamente eficientes con objeto de prevenir la contaminación ambiental.
- se requiere siempre de la disposición final de las cenizas y escorias.
- para residuos con bajo poder calorífico, no es posible obtener una autocombustión y es necesario utilizar combustible adicional.

2. Parámetros involucrados en la incineración.

La incineración de los residuos sólidos puede ser equiparada a un proceso de combustión normal, en el cual el combustible utilizado es la basura municipal. Sin embargo, a diferencia de un combustible tradicional, la basura presenta características en la composición, compactación y dimensión de sus componentes sumamente heterogéneas, aunado a que contiene un alto grado de humedad y un cierto ~~porcentaje de materiales inertes o incombustibles~~.

2.1 Humedad. El agua contenida en los residuos sólidos no solamente no aporta calor, sino que lo toma de la combustión de éstos para su evaporación, por lo que constituye un parámetro de suma importancia en la incineración.

El contenido de agua de los residuos sólidos municipales es sumamente variable, situándose por lo general en un rango que va del 25 al 60% en peso, dependiendo de la

fuentes y en las condiciones meteorológicas, estación del año, etc. Un factor que influye directamente en el contenido de humedad de los residuos, específicamente en la temporada de lluvias, es el equipo utilizado para almacenar y recolectar a aquéllos, dependiendo de que se trate o no de contenedores y camiones recolectores cerrados.

La humedad contenida en los residuos puede ser disminuida en el proceso de incineración, en la fase de precalentamiento utilizando para ello el calor de los gases generados en el proceso de combustión.

2.2 Material inerte. Este tipo de componente está representado fundamentalmente por material mineral y metales diversos contenidos en los residuos sólidos. El contenido en peso de este tipo de material se encuentra en un rango del 15 al 40%. Aunque en este parámetro se encuentran incluidos componentes como botellas, latas, etc., con frecuencia la mayor proporción en peso se debe a cantidades importantes de escombros y materiales de construcción, que se depositan indebidamente en contenedores o en los camiones recolectores, lo cual a menudo daña los equipos de colección.

2.3 Poder calorífico. El poder calorífico de un combustible (sólido o líquido) se define como la cantidad de calor que se desprende por la combustión completa de la unidad de masa correspondiente. El combustible y el comburente son tomados a una presión y temperaturas de referencia, y los productos de la combustión son llevados a la misma temperatura.

De acuerdo con el Sistema Internacional de unidades, el poder calorífico se expresa en Joules/kg. Sin embargo, en la práctica se recurre con mayor frecuencia a valores expresados en kilocalorías/kg (o bien calorías/g). En el

sistema inglés, la unidad de medida es el Btu/lb. Las equivalencias entre estas expresiones se anotan a continuación:

$$1 \text{ Joule/kg} = 4,185.5 \text{ kcal/kg} = 1.8 \text{ Btu/lb}$$

Existen diferentes categorías de poder calorífico, dependiendo de la aplicación práctica que se considere. Para la incineración de los residuos sólidos, las categorías importantes son el poder calorífico superior y el inferior.

Poder calorífico superior. Se define suponiendo que el agua proveniente del combustible o formada durante la combustión (por combustión del hidrógeno) se encuentra totalmente en estado líquido en los productos de la combustión. Se incluye por lo tanto el calor de vaporización del agua contenido en los productos de la combustión.

Poder calorífico inferior. Se define suponiendo que toda el agua proveniente del combustible, o formada durante la combustión, permanece en la fase última como vapor de agua en los productos de la combustión; no comprende por consiguiente, el calor de vaporización del agua contenido en los productos de la combustión.

En aplicaciones industriales, se utiliza el poder calorífico superior, el cual indica la energía total disponible en el combustible. De hecho, es el único de los dos que puede ser medido directamente, usualmente por medio de una bomba calorimétrica; el poder calorífico inferior se deduce a partir del primero. La relación entre los dos valores se anota a continuación (a 25°C y 1.013 bar):

$$PCI = PCS \left[1 - \frac{H_u}{100} \right] - 5.83 (H_u + 9H),$$

donde H_u y H son respectivamente los porcentajes en masa de los contenidos de agua e hidrógeno de los residuos.

La figura No.1 muestra la carta de combustibilidad de los residuos sólidos, en la cual se relacionan los parámetros siguientes: contenido de humedad, cenizas y materia volátil. Existe una estrecha relación entre las proporciones de estos parámetros presentes en los residuos y el grado de combustibilidad de éstos. Tal relación se muestra en forma gráfica en la mencionada figura 1. La carta de combustibilidad muestra dos polígonos inscritos en el triángulo mayor; estos polígonos determinan la factibilidad de incineración para un tipo de residuos en particular, dependiendo de la combinación de los tres parámetros antes mencionados: los residuos que se ubiquen dentro del polígono No. 1 son factibles de ser incinerados; aquéllos que se ubiquen dentro del polígono No. 2 requerirán de un combustible adicional para su adecuada incineración.

3. Tipos de incineración.

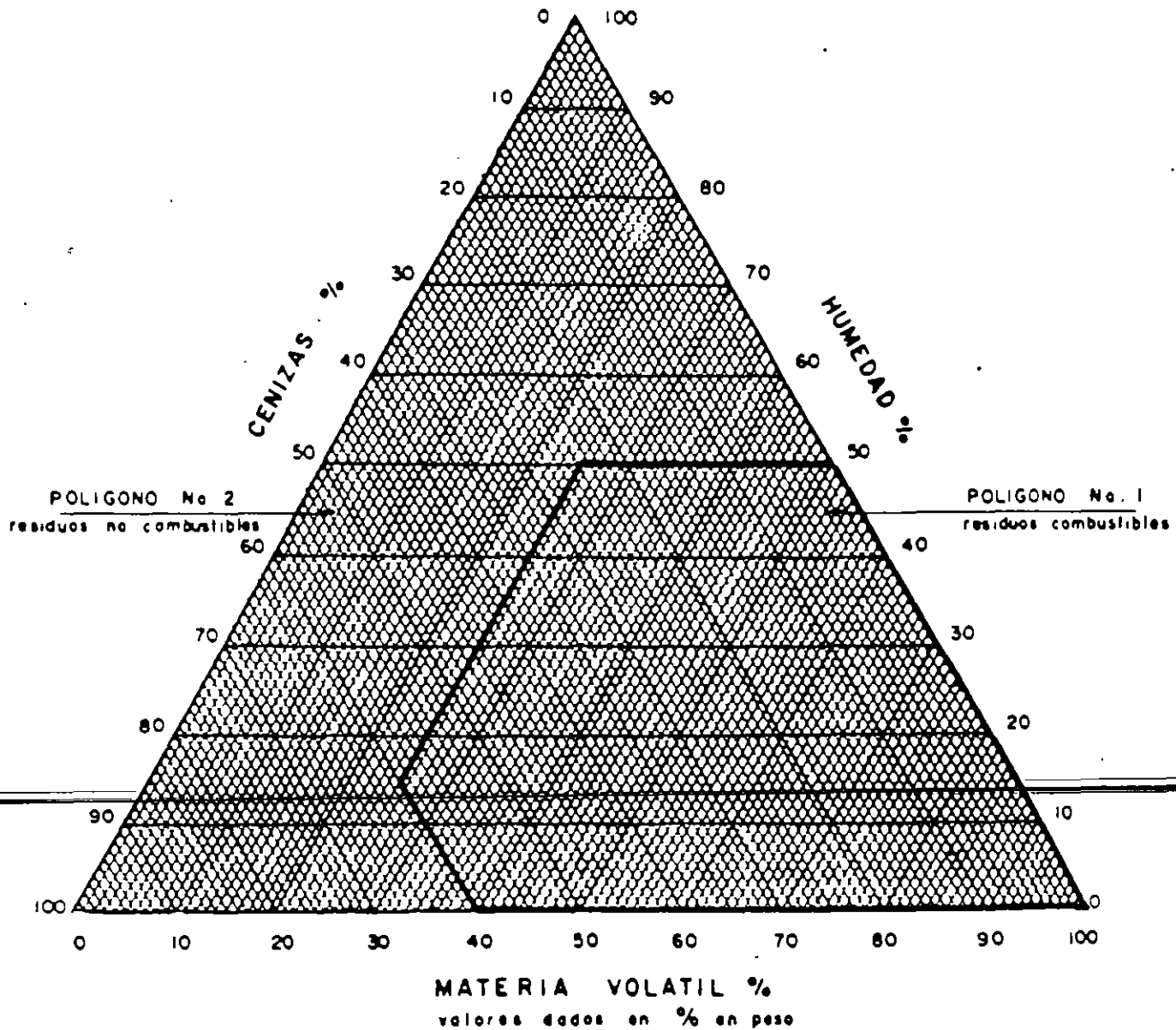
De manera general, y de acuerdo a los equipos de incineración de residuos sólidos actualmente disponibles en el mercado, aquélla puede ser clasificada de dos maneras: continua, y "batch" o intermitente.

a) Método de incineración continua.

Mediante la utilización de este método es posible llevar a cabo, de manera ininterrumpida, la alimentación de los residuos al horno, la combustión de los mismos, y la eliminación de las cenizas a una cierta velocidad predeterminada de acuerdo a las características de los

FIG. 1

CARTA DE COMBUSTIBILIDAD DE LOS RESIDUOS SOLIDOS



residuos. Este método es recomendable para la incineración de grandes volúmenes de residuos, y la planta correspondiente debe ser operada en principio de manera continua 24 horas diariamente.

b) Método de incineración "batch" o intermitente.

Cuando se utiliza este método de incineración, los residuos sólidos se alimentan en cargas de volumen predeterminado al horno, se efectúa la combustión y posteriormente se desalojan las cenizas una sola vez, y luego se repite el proceso. Comparados con los hornos de tipo continuo, los intermitentes cuentan con menos componentes y son de construcción más simple, y su aplicación se recomienda para la incineración en pequeña escala. Dadas las características de este proceso, es difícil asegurar condiciones estables de combustión.

3.1 Descripción del proceso de incineración continua.

El proceso de incineración de residuos sólidos puede sufrir pequeñas variantes dependiendo del país de origen del equipo, la patente utilizada, la ingeniería de diseño, etc.; sin embargo, es posible establecer un proceso general de incineración de tipo continuo, el cual consta básicamente de las siguientes etapas:

a) Abastecimiento de residuos. Esta primera etapa comprende la recepción de los residuos en una fosa de almacenamiento temporal. De esta fosa, los residuos son alimentados al horno, generalmente mediante el uso de una grúa de almeja.

b) Incineración. Es la etapa fundamental del proceso y consiste básicamente en la combustión de los residuos y la generación de gases producto de la combustión, así como de

cenizas y escorias. El equipo donde se lleva a cabo esta operación consta de un horno que puede ser de diferentes tipos, así como de los ventiladores y ductería necesarios para el adecuado abastecimiento de aire.

c) **Enfriamiento de los gases.** Dada la elevada temperatura a la cual comunmente se efectúa la combustión de los residuos (800 - 900 °C), es necesario enfriarlos antes de pasar a otros equipos para su tratamiento y su emisión a la atmósfera. Para lograr esto, se requiere de equipos de radiación de calor o enfriamiento en base a otros principios.

d) **Tratamiento de los gases.** Con objeto de evitar la emisión de gases contaminantes a la atmósfera, es necesario dar a éstos un tratamiento mediante el uso de equipos de control, para eliminar el material particulado y los gases nocivos (SOX, NOX, etc.). Este objetivo se puede conseguir mediante el uso de equipos lavadores de gases, filtros, precipitadores electrostáticos, ciclones, etc.

e) **Expulsión de cenizas y escorias.** Estos productos, generados principalmente en el horno, son extinguidos después de la combustión y transportados a un sitio mediante el uso de bandas y tornillos sin fin, antes de ser evacuados a un contenedor o a un vehículo para su transporte a un ~~sitio de disposición final por lo general.~~ Asimismo, son recolectados los residuos generados en los equipos de tratamiento y enfriamiento de gases.

f) **Aprovechamiento del calor de combustión.** Cuando las características de los residuos permiten la recuperación y aprovechamiento de la energía en el proceso de combustión, es posible utilizar esta última para la generación de vapor o bien de electricidad, mediante el uso de los equipos requeridos (calderas, turbinas). El intercambio de calor que

se efectúa en las calderas permite bajar la temperatura de los gases de combustión.

En este punto conviene resaltar la importancia de la necesidad de efectuar un análisis cuidadoso de las características de los residuos sólidos a incinerar, tales como contenido de humedad, valor calorífico, etc., con objeto de determinar la viabilidad de instalar los equipos necesarios para recuperación de energía. Esto último es especialmente importante desde un punto de vista económico, ya que la diferencia en el costo de adquisición entre una planta incineradora con y sin recuperación de energía, puede significar un incremento de 40 a 50% sobre el costo de esta última.

g) Emisión de gases de combustión. Al término del proceso de incineración de los residuos sólidos, los gases de combustión son emitidos a la atmósfera a través de chimeneas de tiro forzado, las cuales deben contar con la altura necesaria para la adecuada dispersión de los gases emitidos.

3.2 Tipos de horno de incineración continua. Existen básicamente tres tipos de horno que operan bajo el esquema de incineración continua: de parrillas, reactor de lecho fluidizado.

a) Horno de parrillas.

Este tipo de horno es el que se utiliza en la actualidad con mayor frecuencia para la incineración de residuos sólidos municipales.

El principal elemento de este tipo de horno son las parrillas móviles sobre las cuales se realiza la combustión de los desechos; el movimiento de las parrillas dispersa y hace avanzar los residuos favoreciendo su remoción y

combustión. La figura 2 muestra el esquema de una planta incineradora de este tipo.

b) Horno rotatorio.

Los incineradores de horno rotatorio constan, como elemento básico, de un cilindro de construcción robusta cuyo eje longitudinal se encuentra ligeramente inclinado. El cilindro-horno es puesto en rotación y la combustión se realiza durante el avance de los desechos que por gravedad y la rotación se trasladan de un extremo a otro del horno, a lo largo del eje longitudinal de éste.

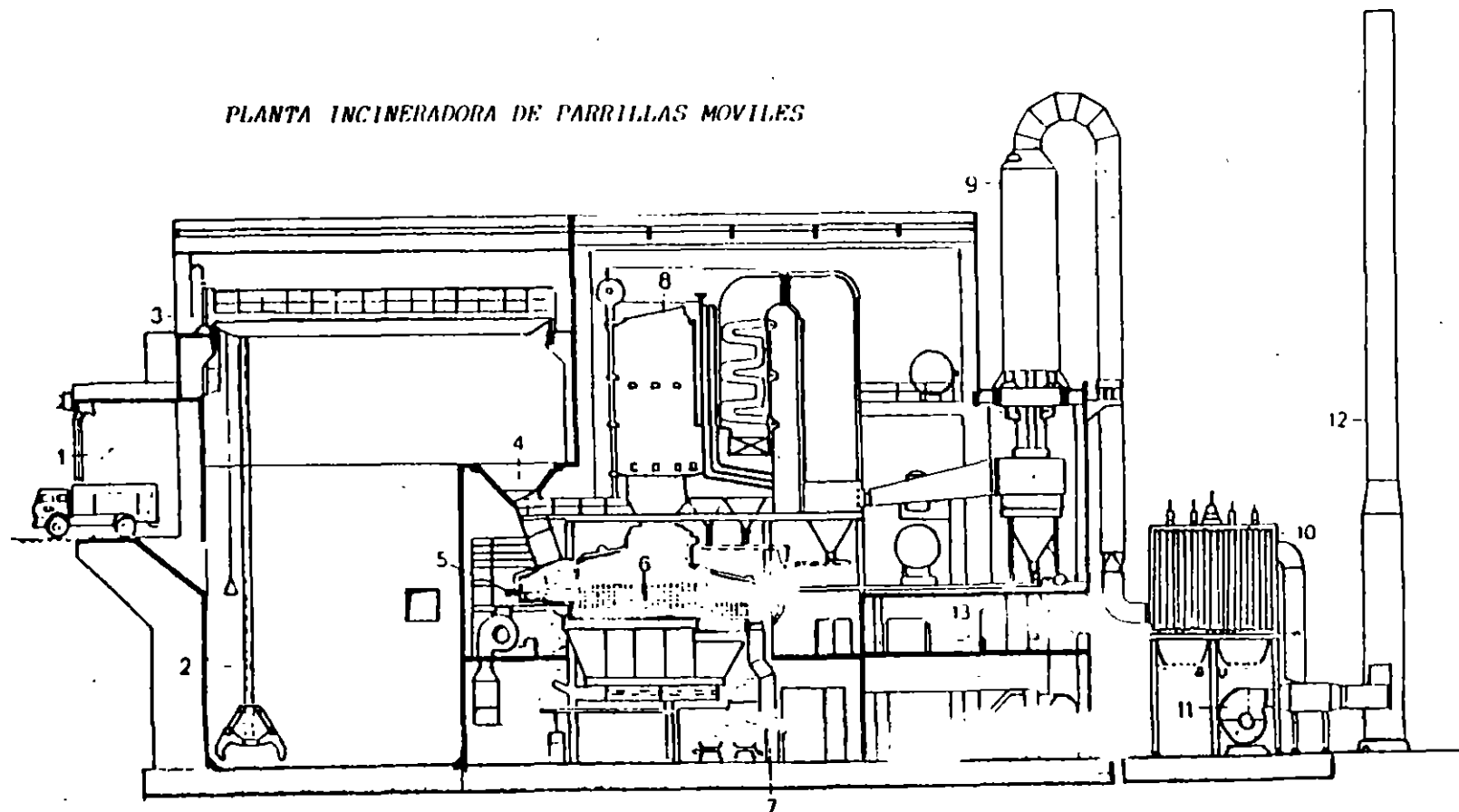
Por lo general, este tipo de horno se utiliza para la incineración de residuos industriales (especialmente los peligrosos); de hecho, es un equipo que tradicionalmente se ha utilizado en procesos industriales de fabricación, como por ejemplo, en la industria del cemento (ver figura 3).

c) Horno de lecho fluidizado.

En este sistema de incineración se forma un medio o "lecho" con arena de cuarzo u otro material de características similares, el cual se mantiene suspendido mediante una corriente ascendente de aire de combustión. Los residuos sólidos son desmenuzados y alimentados al horno; su combustión se inicia al entrar en contacto con el medio del lecho fluidizado que se encuentra a una elevada temperatura (ver figura 4).

Este tipo de horno permite una mayor eficiencia en la combustión de los residuos, debido a que éstos tienen que pasar por una etapa previa de molienda requerida por el tipo de proceso. Asimismo, los tiempos de residencia son muy inferiores a los característicos de los otros tipos de hornos (1 a 2 minutos vs. 30 min.).

PLANTA INCINERADORA DE PARRILLAS MOVILES



1. Zona de descarga

2. Almeja hidráulica

3. Grúa viajera

4. Tolva de alimentación

5. Pistón de alimentación

6. Parrillas móviles

7. Sistema de extracción de
escorias

8. Generador de vapor

9. Torre de absorción

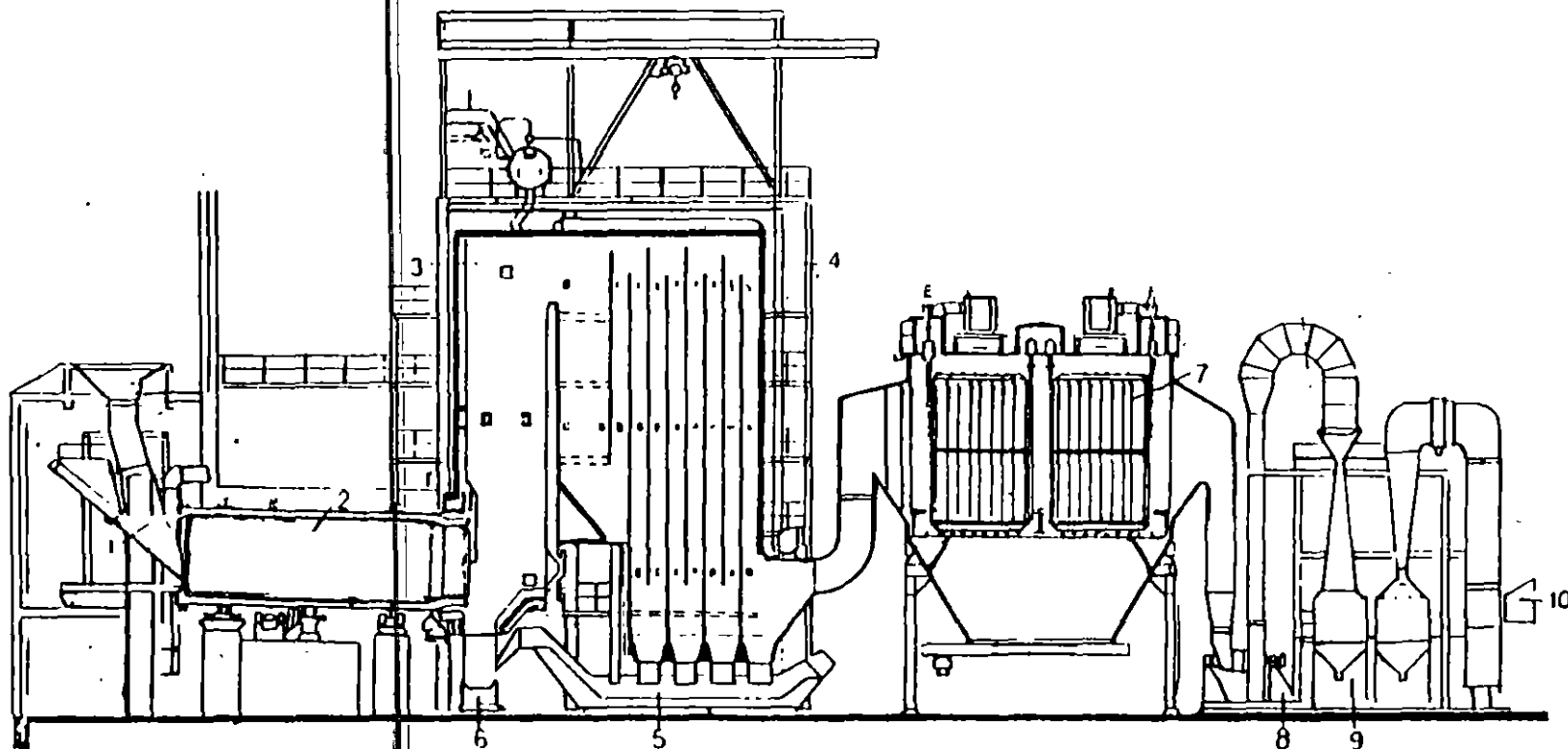
10. Filtro de bolsas

11. Ventilador de tiro

12. Chimenea

13. Turbina

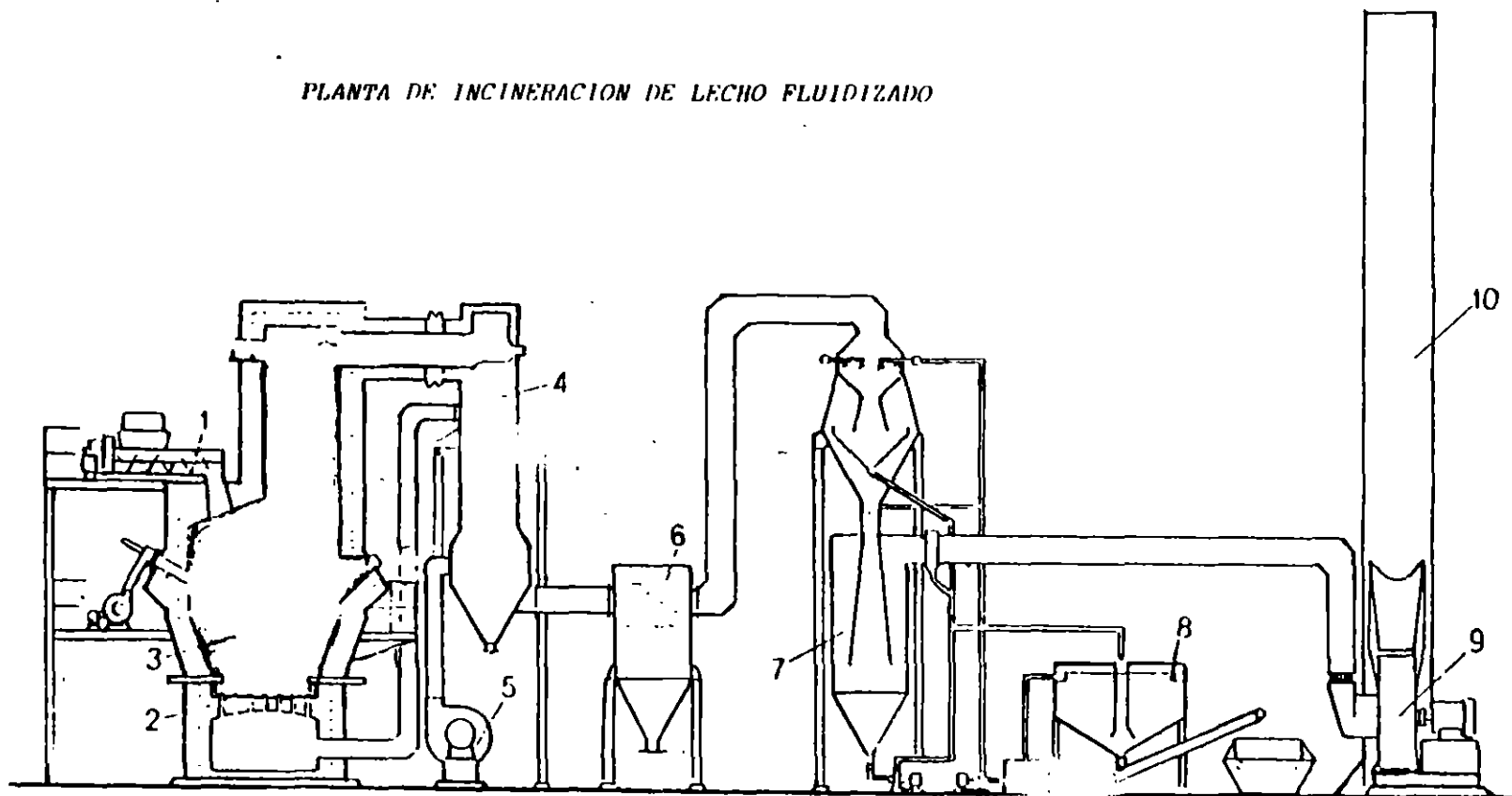
PLANTA INCINERADORA DE HORNO ROTATORIO



1. Dispositivo de alimentación
2. Horno rotatorio
3. Cámara de post-combustión
4. Caldera
5. Captación de cenizas

6. Descorificador
7. Precipitador electrostático
8. Ventilador de tiro inducido
9. Lavadores (2 etapas)
10. Conexión a la chimenea

PLANTA DE INCINERACION DE LECHO FLUIDIZADO



1. Sistema de alimentación
2. Charola de distribución
3. Combustor de lecho fluidizado
4. Precalentador de aire
5. Ventilador de tiro forzado

6. Ciclón
7. Lavador de gases
8. Tanque de sedimentación y neutralización
9. Ventilador de tiro inducido
10. Chimenea

1.- ESTACION DE DESCARGA DE DESECHOS

2.- PUERTA DEL DEPOSITO

3.- FOSA DE DESECHOS

4.- GRUA

5.- CUARTO DE OPERACION DE LA GRUA

6.- ZONA DE ESPERA DE CARGA

7.- CAMARA DE COMBUSTION

8.- CENICERO DE SECADO

9.- CENICERO DEL QUEMADOR

10.- CENICERO DESPUES DEL QUEMADOR

11.- QUEMADOR AUXILIAR

12.- TECHO RADIOACTIVO

13.- CAMARA DE MEZCLA DE GASES

14.- CALDERA DE QUEMADO DE DESECHOS

15.- ELIMINADOR DE GASES NOCIVOS

16.- PRECIPITADOR ELECTROSTATICO

17.- VENTILADOR DE AIRE INDUCIDO

18.- VENTILADOR DE AIRE FORZADO

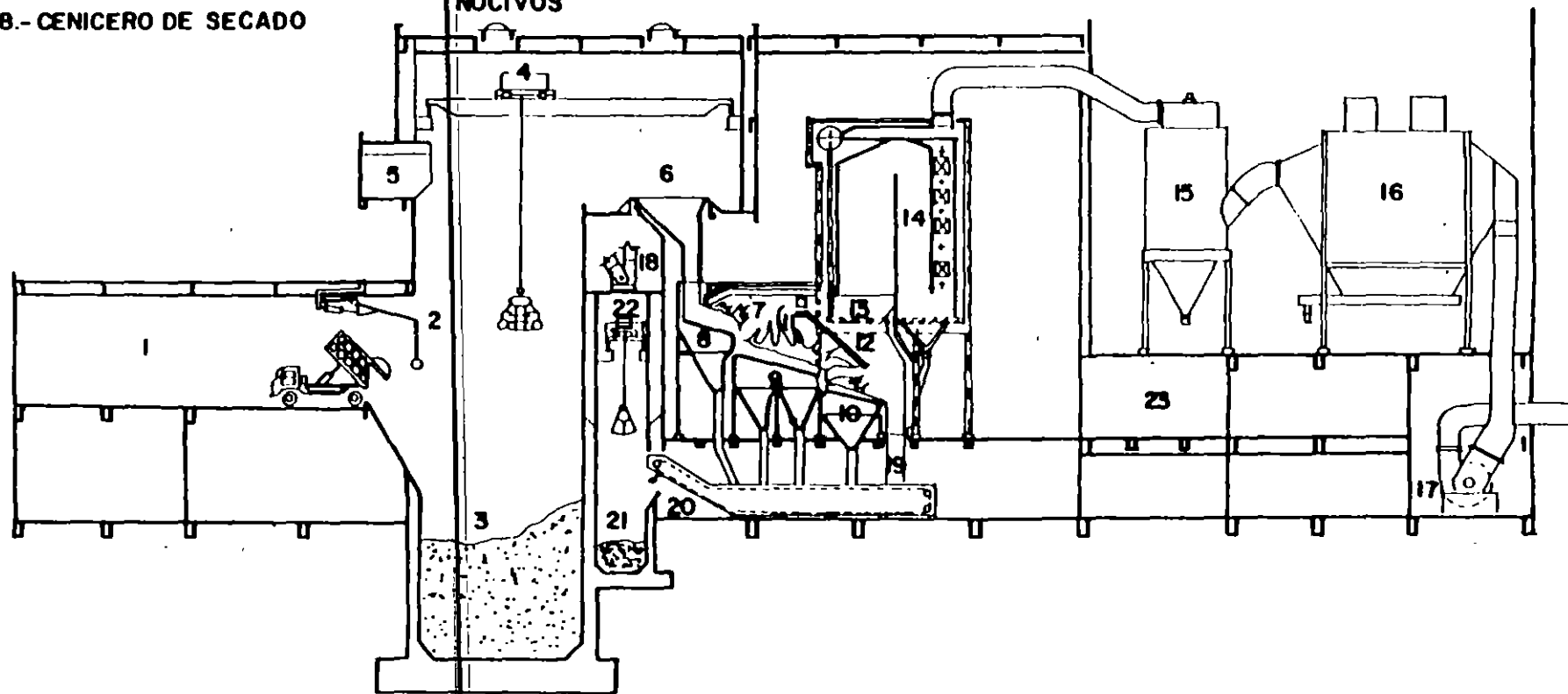
19.- CONDUCTO DE CENIZAS

20.- TRANSPORTADOR DE CENIZAS

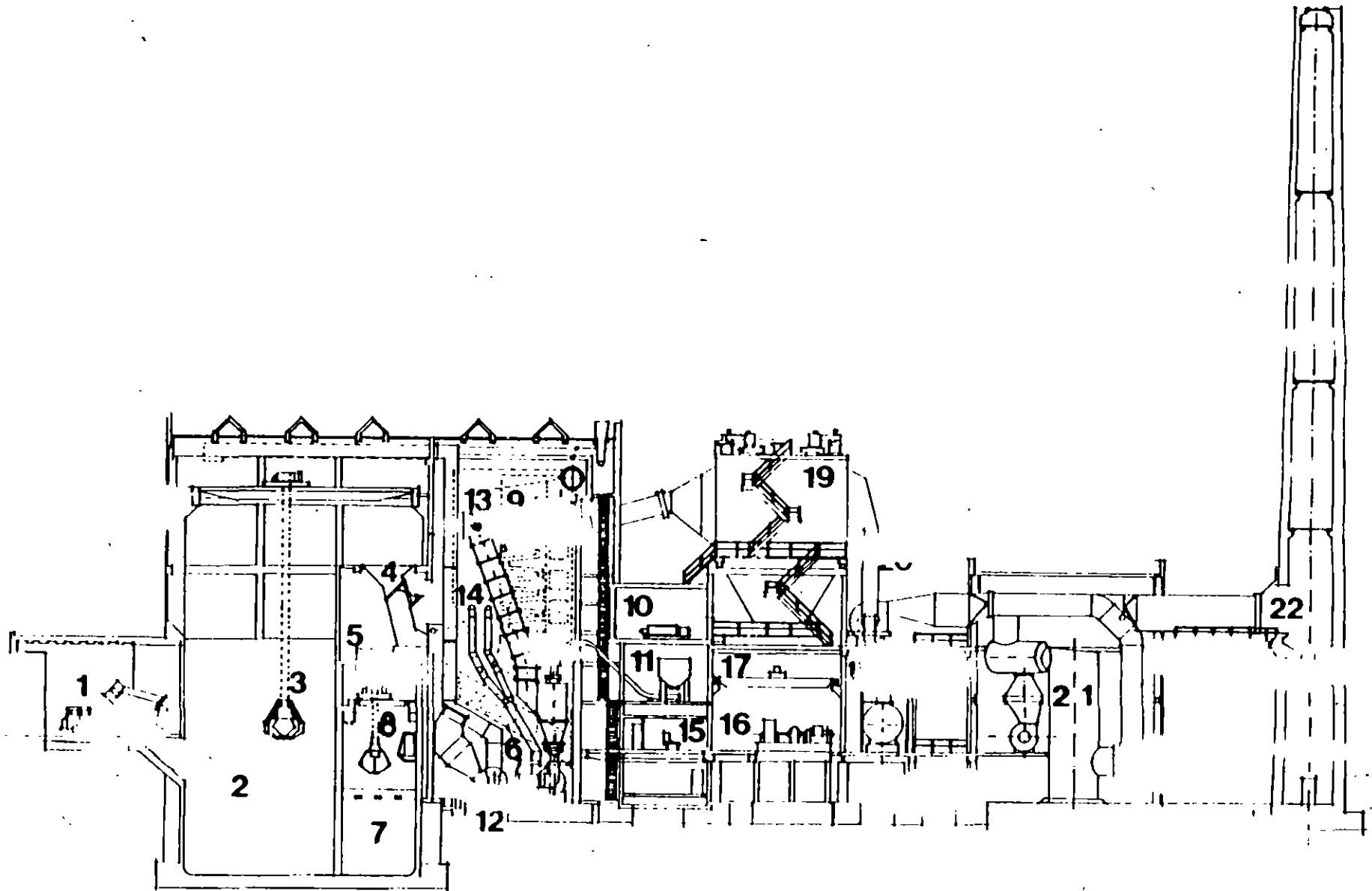
21.- FOSA DE CENIZAS

22.- GRUA DE CENIZAS

23.- CUARTO CENTRAL DE CONTROL



BOSQUEJO DE UNA PLANTA DE INCINERACION DE DESECHOS (NKK).



- 1. CAMION CERRADO
- 2. DEPOSITO DE DESECHOS
- 3. GRUA
- 4. TOLVA DE ALIMENTACION
- 5. ALIMENTACION DE DESECHOS
- 6. PARRILLAS ROTATORIAS DE SISTEMA DUSSELDORF
- 7. DEPOSITO DE CENIZAS
- 8. GRUA DE CENIZAS

- 9. CALDERA DE TUBO VERTICAL RADIANTE
- 10. CENTRIFUGA DE LODOS
- 11. DEPOSITO DE LODOS
- 12. SECADO DE LODOS HUMEDOS SUJOS Y MOLINO DE QUEMADO DIRECTO
- 13. DUCTO DE RECIRCULACION DEL GAS
- 14. LINEA DE DRENAJE DE LODOS PARA QUEMARSE
- 15. CUARTO DE CONTROL

- 17. GRUA LOCAL DE TURBINA
- 18. TANQUE DE ALIMENTACION DE
- 19. COLECTOR DE POLVOS DE GAS DEL DUCTO
- 20. TUBO DE SUCCION
- 21. SCRUBBER DEL GAS DEL DUCTO
- 22. CHIMENEA

PLANO DE INCINERACION DE DESECHOS Y LODOS HUMEDOS SUJOS Y MOLINO DE QUEMADO DIRECTO. KREFELD (BALECK)

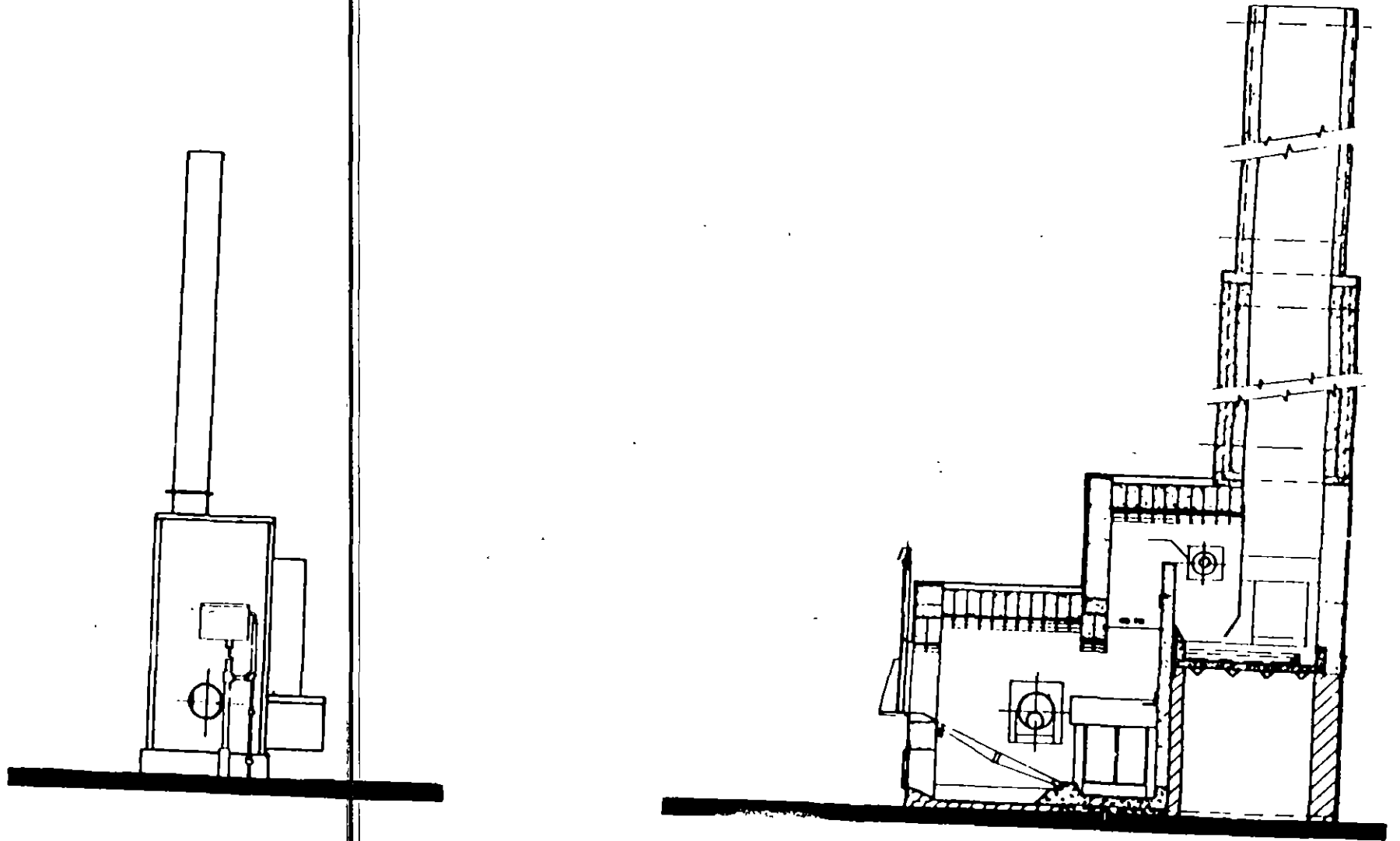
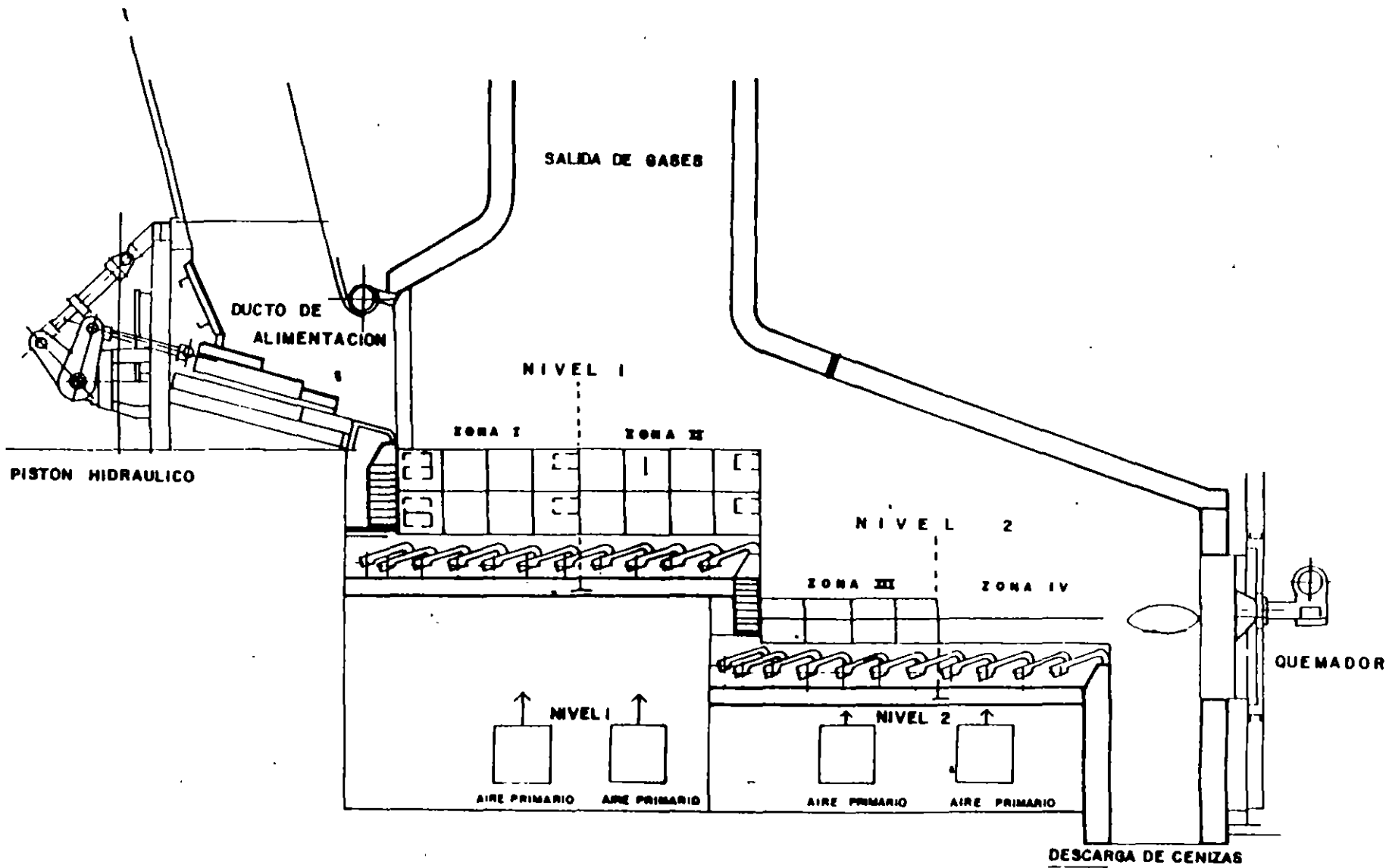
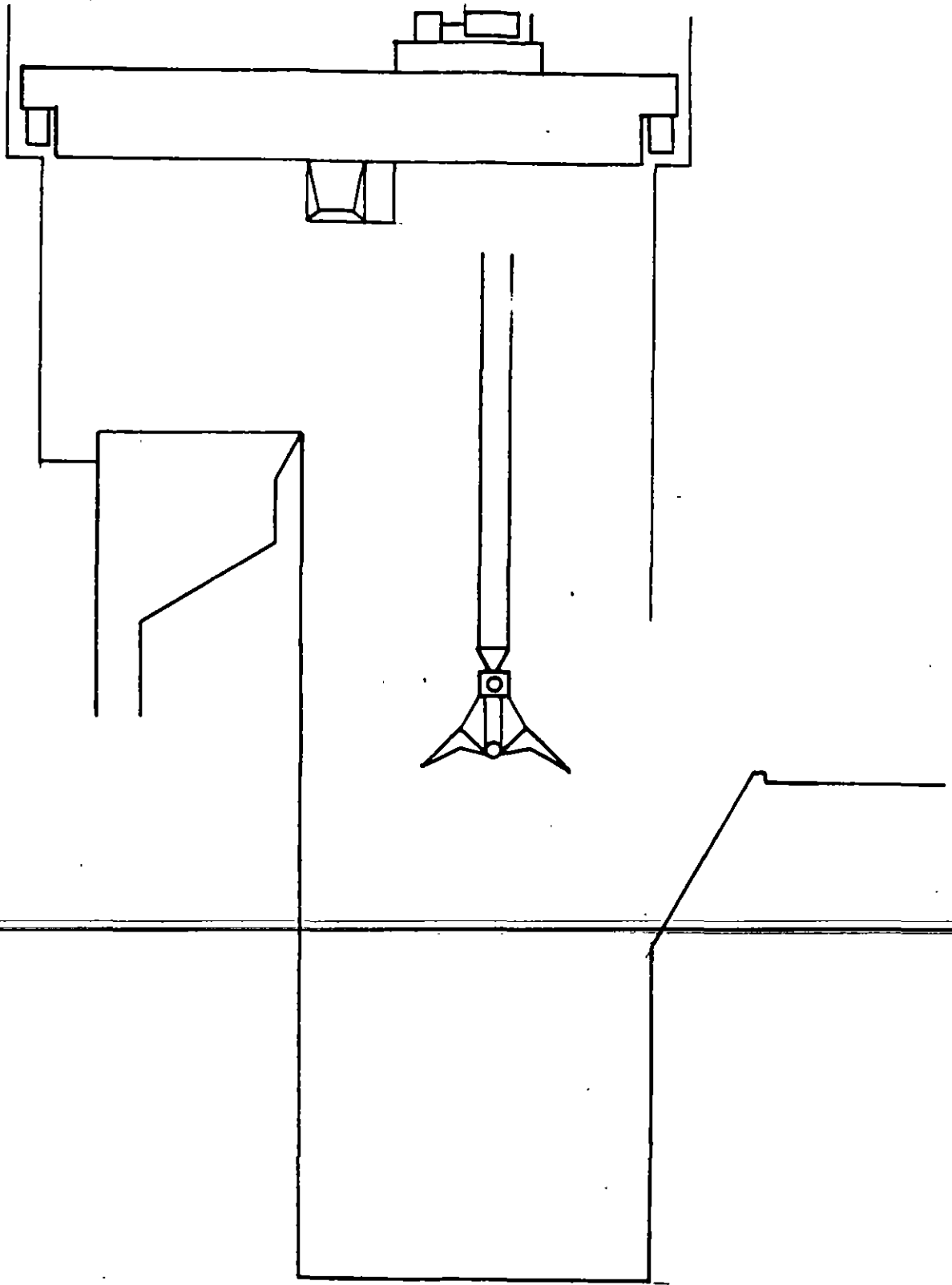
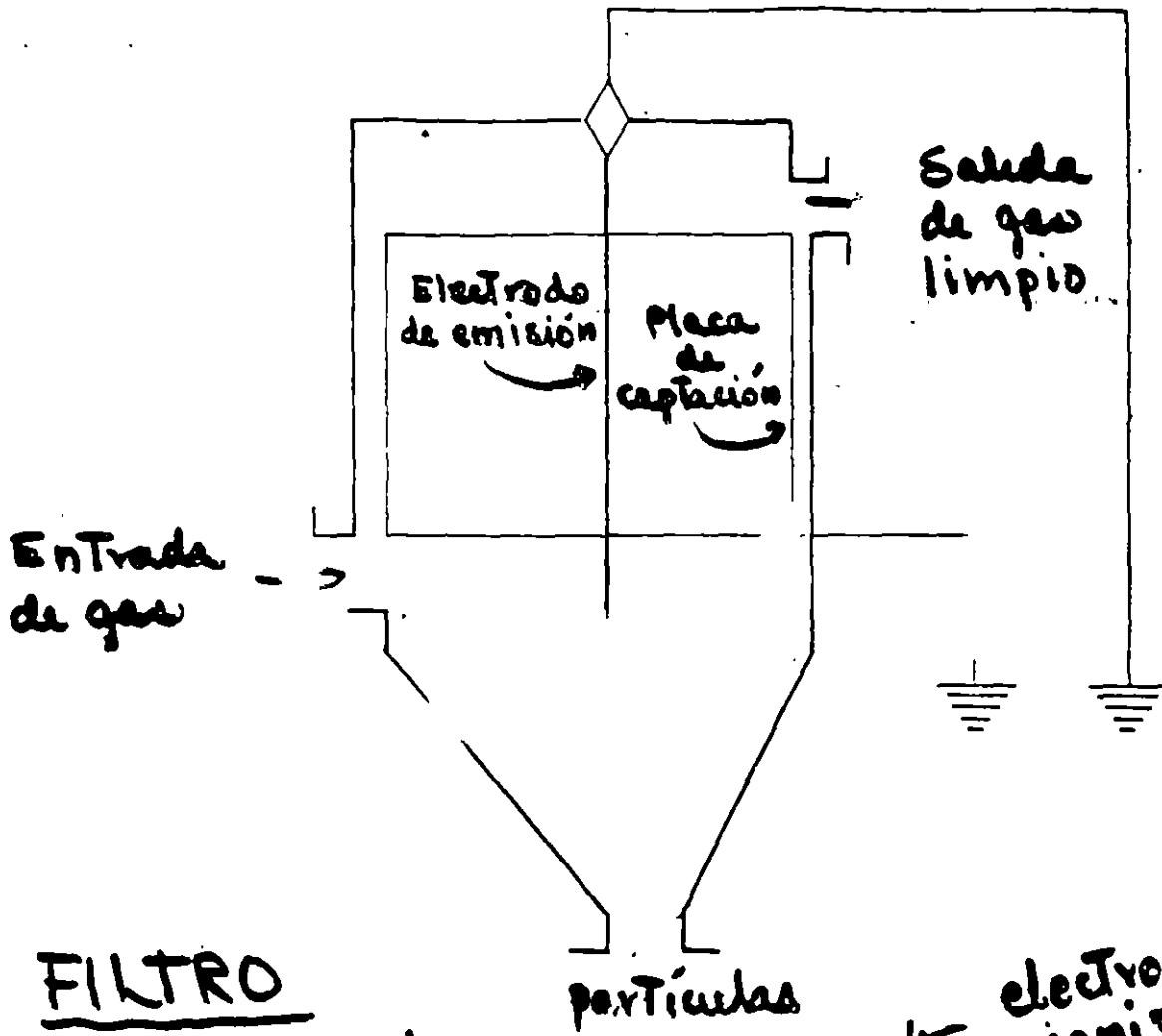


FIG. 5 INCINERADORES INTERMITENTES

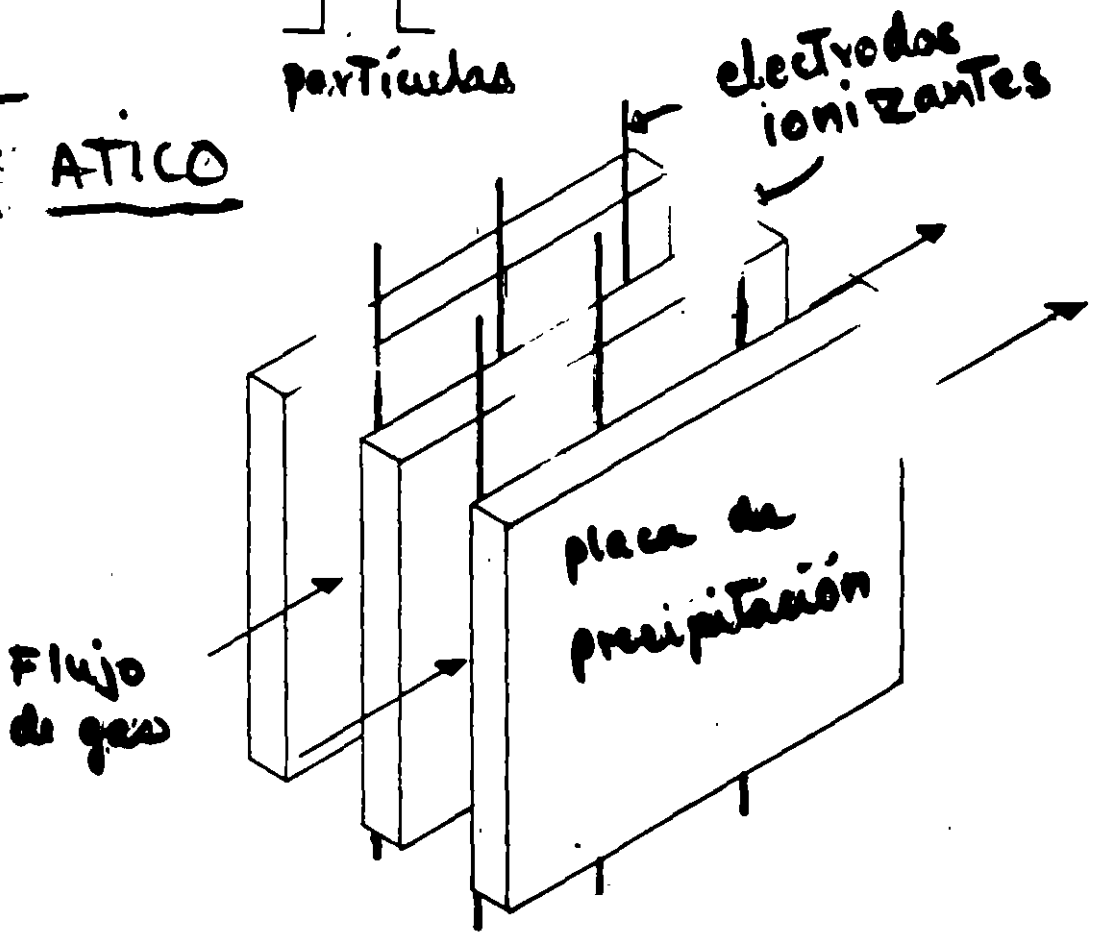


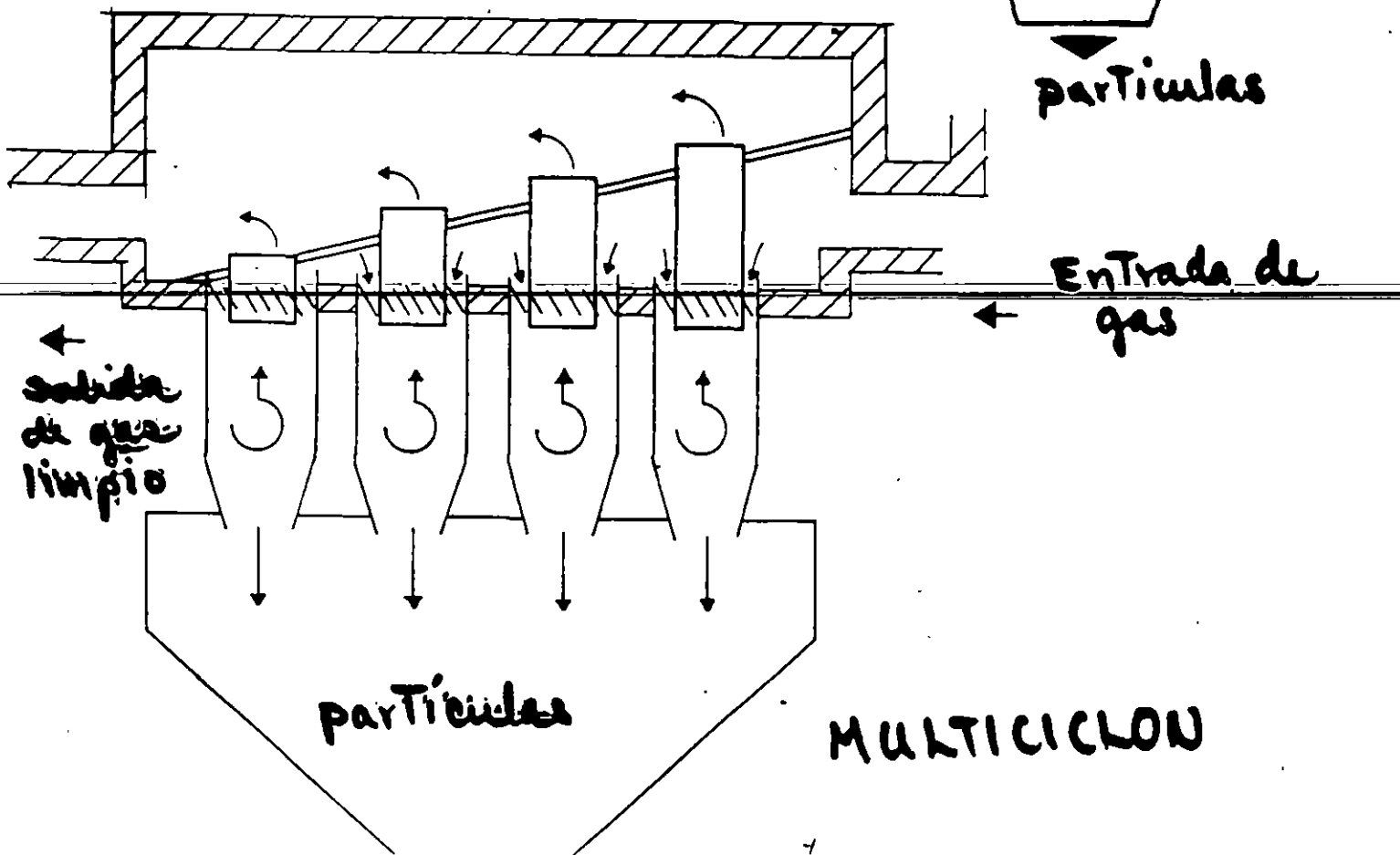
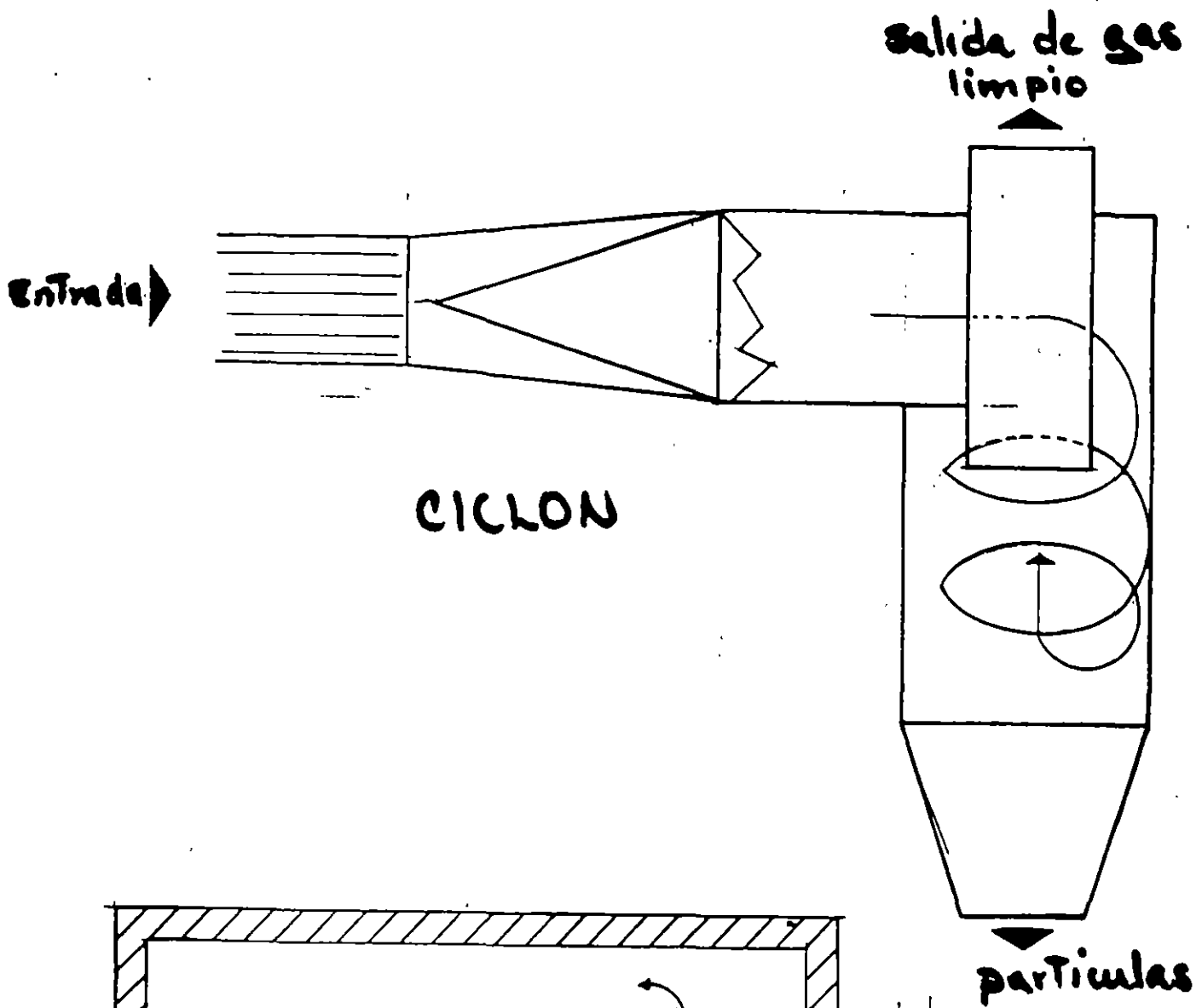
LOCALIZACION DE LAS PARRILLAS



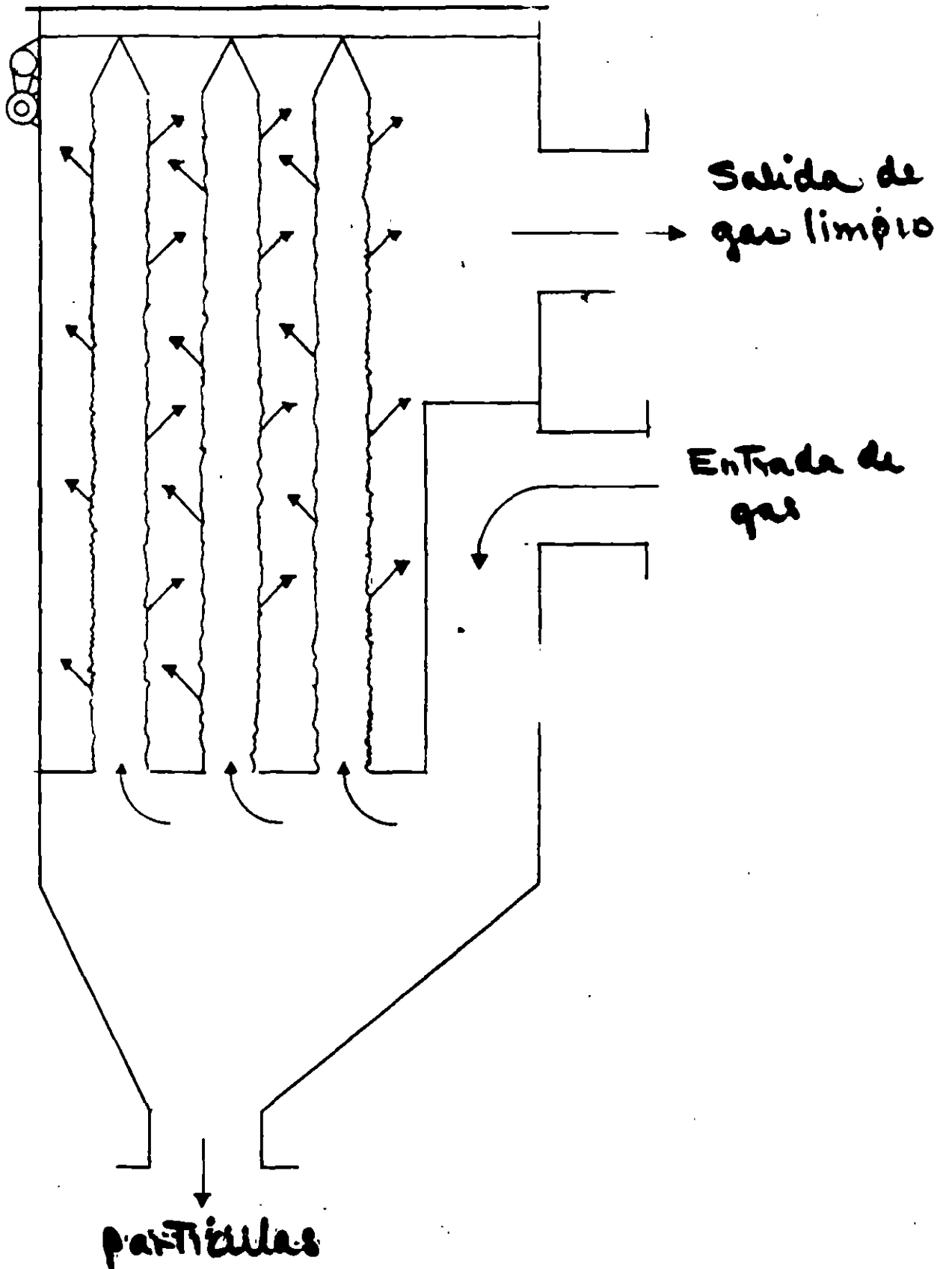


FILTRO
ELECTROSTATICO





FILTRO DE BOLSAS



COMPOSTAJE

II. PRINCIPIOS BASICOS DE COMPOSTAJE

Como una alternativa para resolver el problema de la disposición de residuos sólidos, tomando en cuenta la factibilidad económica, muchas comunidades está optando por el compostaje.

El compostaje se está volviendo popular, una razón de esto, es el alto costo para el manejo de los rellenos sanitarios.

El compostaje se define como una descomposición biológica controlada de la materia orgánica, es un proceso natural, que para que ocurra más rápidamente, es necesario algunas condiciones ambientales, las cuales deben ser controladas.

El producto resultante del proceso citado, es el compost, el cual generalmente de apariencia obscura parecida al humus, con una textura gruesa y olor a humedad y que generalmente se usa como regenerador de suelos. Con el proceso de compostaje se pueden alcanzar, reducciones de volumen de hasta el 50% del volumen original de desechos.

Una buena composta está libre de organismos que pueden dañar a la salud humana y estable para descomposiciones posteriores por los microorganismos. La composta, debido a su alto contenido de materia orgánica, puede usarse como un sustituto de fertilizante para proporcionar los nutrientes necesarios a las plantas. Cuando es mezclado con el suelo, promueve el balance apropiado entre aire y agua de la mezcla resultante.

El compostaje es un concepto que ha sido usado por siglos como un método de estabilización de desechos de la agricultura y humanos. Actualmente, ha sido usado para la estabilización de lodos de plantas de tratamiento, dese-

chos industriales, desechos de jardinería y residuos sólidos municipales.

Para que el proceso de compostaje se lleve a cabo en forma óptima, es necesario que se tengan ciertas condiciones ambientales en la pila de composta; éstas condiciones son del tipo: biológicas, químicas y físicas.

- Oxígeno adecuado
- Niveles de pH aceptables
- Ausencia de sustancias tóxicas que puedan inhibir la actividad biológica.

Carbono: fuente de energía: Los microorganismos en el proceso de compostaje son mini-plantas; tienen más o menos las mismas necesidades nutricionales (nitrógeno, fósforo, potasio y otras trazas de elementos) que las plantas grandes. Hay una excepción notable: los microorganismos de la composta tienen al carbono de la fracción orgánica como su fuente de energía, mientras que las grandes plantas tienen al dióxido de carbono y la luz solar.

El carbono contenido en los materiales orgánicos naturales o sintéticos pueden ser o no biodegradable. La relativa facilidad con la cual un material es biodegradable depende de los microorganismos y de la molécula orgánica. Por ejemplo, el carbono en azúcares puede ser descompuesto fácilmente por muchos microorganismos, el carbono presente en las ligninas contenidas en el papel y fibras de madera, puede ser descompuesto por algunos microorganismos; y el carbono en los plásticos puede ser no biodegradable.

La mayoría de los desechos de agricultura, jardinería y municipales contienen cantidades suficientes de formas de carbono biodegradable. La relativa facilidad de descomposición y forma en la cual el carbono original está presente puede ser un factor más limitante en el compostaje que la cantidad de carbono en los desechos. Por ejemplo, considerando al carbono como un sólo factor, los chips de madera son más difíciles para compostear que los

residuos alimenticios.

Como las formas fáciles de degradar del carbono son descompuestas, una pequeña porción del carbono es convertido a células microbiales, mientras una fracción significativa es convertida a dióxido de carbono y se escapa a la atmósfera. Cuando el proceso de compostaje progresa, la pérdida de carbono disminuye en peso y volumen a los residuos.

Las formas de carbono que son fácilmente descompuestas formarán la base para la estructura física del producto final (composta).

Nutrientes: De todos los nutrientes de las plantas (nitrógeno, fósforo y potasio), el nitrógeno es el más importante debido principalmente a su ausencia en los residuos. La relación C/N es considerada crítica en la determinación del grado de descomposición.

La relación debe ser establecida sobre el carbón degradable en lugar del carbono total. Generalmente, una razón menor de 30:1 (carbono:nitrógeno) es considerada ideal. Relaciones superiores tienden a retardar el proceso de descomposición.

Quando el proceso de compostaje continua, se pierde carbono a la atmósfera, y esta relación disminuye. La composta terminada puede tener razones de 10:1 a 15:1.

Para disminuir la relación C/N, desechos ricos en nitrógeno tales como estiércol de animales o lodos de desechos pueden ser adicionados. Asimismo la adición de residuos composteados o parcialmente biodegradados puede disminuir esta razón.

La adición de fertilizantes con contenido de nitrógeno, puede crear problemas adicionales, modificando la concentración de sales en la pila, la cual impide la actividad microbial. Aunado a esto aumenta la temperatura de la

pila y el nitrógeno fertilizador se pierde en forma de gas hacia la atmósfera.

Los demás nutrientes no son un factor limitante para los residuos municipales. Sin embargo cantidades excesivas de residuos tóxicos, principalmente metales pesados, puede afectar la actividad microbial.

Las condiciones ambientales citadas son interdependientes, por lo que se debe de tener especial atención para que se cumplan estas condiciones, dentro de los niveles aceptables requeridos por el proceso biológico.

- Ambiente biológico

Los microorganismos tales como bacterias, hongos y actinomicetos juegan un papel activo en la descomposición de los materiales orgánicos, en comparación con organismos mayores como insectos y gusanos; los cuales tienen una actividad menor.

Los microorganismos comienzan a descomponer la fracción orgánica, en esta etapa el carbón es convertido a bióxido de carbono, agua y humedad. Algo de carbón es consumido por los microorganismos para formar nuevas células microbiales, por lo que aumenta su población. El calor es rechazado durante el proceso de descomposición.

Los subproductos humicos resultantes de la actividad metabólica de un tipo de microorganismos pueden ser usados como alimento o energía por otra fuente o tipo de microorganismos. Esta cadena de descomposición continua hasta que se mantiene un poco de material orgánico. En este punto, al material orgánico remanente se le denomina composta, y esta composta principalmente de células microbiales, esqueletos microbiales y subproductos de descomposición microbial y partículas de origen orgánico e inorgánico no descompuestas.

Los microorganismos tienen ciertas preferencias en cuanto al tipo de materiales orgánicos que ellos consumen. Cuando las moléculas orgánicas de su elección no están disponibles, ellas permanecen en estado latente o pueden morir. Un proceso de selección natural obliga al organismo a continuar la descomposición, primero a expensas de una pequeña población. Pero como la población crece, los organismos rápidamente consumen el material orgánico presente en los desechos.

Cuando se presentan condiciones desfavorables para los organismos dominantes, rápidamente aparece otro grupo de organismos a ser dominante. Esta sucesión de sucesiones continua hasta que exista una materia orgánica adecuada para descomposición.

Generalmente el tipo de microorganismos, o el tipo de organismo, no es un factor ambiental limitante en el compostaje de desechos de agricultura no tóxicos, de jardinería, residuos municipales. Sin embargo, las poblaciones microbiales pueden ser un factor limitante, si los desechos fueron generados en un ambiente estéril o de composición química única debido a la falta de una diversidad de microorganismos. En tales situaciones podría ser necesario la adición de un inóculo de microbios para hacer el trabajo.

La adición de un inóculo generalmente no es necesaria para residuos sólidos municipales o de jardinería. Algunas veces desechos composteados parcial o totalmente pueden ser agregados para servir como un inóculo y conseguir que el proceso de compostaje inicie rápidamente.

Los microorganismos son la clave en el proceso de compostaje. Si todas las condiciones son ideales para que la población microbiana se desarrolle hasta su máximo potencial, el compostaje ocurrirá rápidamente. Por lo tanto el proceso de compostaje, deberá ajustarse a las necesidades de los microorganismos, y promover las condiciones que ayuden para la rápida estabilización de la fracción orgánica de los desechos.

Los organismos patógenos deben ser destruidos antes de que la composta sea distribuida en el mercado; principalmente esta destrucción se lleva a cabo controlando el ambiente físico en la operación de compostaje, el cual será discutido posteriormente.

AMBIENTE QUIMICO

El ambiente químico es determinado principalmente por la composición de los residuos a ser composteados. En síntesis, deben realizarse varias modificaciones para crear el ambiente químico ideal para la descomposición rápida de los desechos orgánicos.

Entre los factores que determinan el ambiente químico, los más importantes son:

- Presencia de una adecuada fuente de alimento/energía
- Cantidad de nutrientes balanceados
- Agua

Humedad

El agua es un factor esencial para todas las formas de vida. Generalmente los desechos no contienen el contenido de humedad suficiente, por lo que, ~~el proceso puede ser más lento si no se agregan líquidos para compensar esta~~ deficiencia de humedad. Normalmente, el agua es usada para aumentar el contenido de humedad. Sin embargo en algunos casos también han sido usados residuos ricos en humedad (como lodos de aguas).

Un contenido de humedad del 50-60% es considerado ideal. El contenido de humedad debe ser tal que haya suficiente humedad para evitar el flujo excesivo de agua y el movimiento debido a la gravedad; lo cual formaría lechada, creando un problema para la disposición del líquido.

El exceso de humedad también impide la transferencia del oxígeno, presente en el aire contenido en los espacios vacíos de la pila, hacia las células microbiales. Asimismo, una humedad excesiva puede provocar putrefacción y malos olores.

La humedad es uno de los subproductos de la actividad microbiana y aumenta su contenido en la pila durante el proceso de degradación. Así como aumenta la humedad, también se pierde una parte debido a la evaporación. La cantidad de agua evaporada generalmente es mayor a la producida por el proceso de descomposición, lo que resulta en una pérdida neta de humedad en la pila de composta. Esto requiere de humedad adicional para mantener el proceso de compostaje en su óptimo desarrollo.

La evaporación en las pilas de composta puede ser minimizada controlando el tamaño de la pila, esto es, pilas con grandes volúmenes tendrán una pequeña superficie de evaporación en comparación con pilas pequeñas.

Oxígeno:

El compostaje es considerado generalmente como un proceso aeróbico (requiere oxígeno). Las condiciones anaeróbicas (deficiencia de oxígeno) pueden causar olores desagradables. La descomposición aeróbica ocurre a una velocidad de reacción más rápida.

La pila debe tener suficientes espacios vacíos para permitir la entrada de oxígeno atmosférico. Con estos espacios vacíos, los residuos gaseosos, tales como dióxido de carbono pueden ser venteados a la atmósfera. En algunas operaciones de compostaje, puede ser introducido de una manera forzada aire hacia las pilas para mantener niveles adecuados de oxígeno. En otras la pila es volteada frecuentemente para dejar los microbios expuestos a la atmósfera y alzar la pila para crear más espacios vacíos.

Una concentración de oxígeno del 5 al 15% es considerada adecuada. Aunque altas concentraciones no tendrán un impacto negativo en el proceso de compostaje, esta condición puede requerir exceso de aire. El exceso de aire también removerá el calor, lo que enfriará la pila, y promoverá una evaporación excesiva; provocando un proceso de compostaje lento.

pH:

La acidez/alcalinidad del proceso de compostaje es crítica. El nivel de acidez/alcalinidad afecta la disponibilidad de los nutrientes para los microorganismos, la solubilidad de los metales pesados, y la actividad metabólica de los microorganismos.

El pH puede ser ajustado adicionando cal, lo cual generalmente no es necesario. El proceso de compostaje produce dióxido de carbono, el cual combinado con el agua, produce ácido carbónico. Este último puede disminuir el pH de la composta.

AMBIENTE FISICO

El ambiente físico en el proceso de compostaje incluya factores como, tamaño de partícula, temperatura, mezclado y tamaño de la pila. Cada uno de estos procesos son esenciales para que el proceso de compostaje ocurra de manera efectiva.

El tamaño de partícula del material a ser compostado es crítico. La degradación biológica inicia en la superficie de la partícula de los desechos; como los microbios se alimentan a través de las partículas, dichas partículas son descompuestas. Por lo tanto a través del proceso, se presenta una disminución en el tamaño de partícula.

Generalmente, partículas pequeñas tienen mayor superficie de área por uni-

dad de peso, por lo que, permite una mayor actividad microbial en las superficies, produciendo una rápida degradación.

Sin embargo, si todas las partículas son molidas, se compactarán entre ellas y sólo existirán pocos espacios vacíos para que circule el aire. Esto es crítico especialmente cuando los materiales siendo composteados tienen un contenido de humedad óptimo. El tamaño de partícula deberá tener suficiente área de superficie para una actividad microbial rápida, teniendo espacios vacíos para permitir la circulación de aire para la respiración microbial.

Por ejemplo, los lodos de aguas residuas tienen tamaño de partícula pequeña y grandes superficies de área, los chips de madera (tamaño de partícula grande) son agregados al proceso de compostaje como un agente voluminoso para incrementar los espacios vacíos y la circulación de aire. Para residuos municipales o de jardinería, la combinación de espacios vacíos y su superficie de área puede ser lograda por una reducción en el tamaño de partícula. Esto a veces se hace después de terminado el proceso de compostaje para darle una mejor presentación al producto terminado en su venta al mercado.

Todos los microorganismos tienen un rango de temperatura óptima. Cuando la temperatura se incrementa arriba del máximo, la destrucción térmica de las células comúnmente provoca la muerte de los microorganismos. De igual manera temperaturas por abajo del mínimo requerido para un grupo de microorganismos afectan el mecanismo metabólico regulatorio de las células.

Las temperaturas termofílicas pueden estar entre 40 - 80°C, con un rango óptimo de 55 - 75 °C. Las temperaturas termofílicas son preferidas por dos razones: promueven un compostaje rápido y destruyen los organismos patógenos.

Las temperaturas en el rango 55 - 60°C son las mejores para el compostaje. Normalmente no es necesario adicionar calor externo ya que los microorga-

nismos generan calor en el proceso de degradación. Este calor es retenido en la pila por el agua en la pila de composta. Asimismo los espacios vacíos actúan como una capa aislante, manteniendo el calor que se encuentra dentro de la pila.

Pilas grandes producen y mantienen de mejor manera el calor que las pilas pequeñas. Temperaturas extremas no son ideales para el compostaje. Actualmente se utiliza la circulación de aire controlado como un medio para mantener la temperatura en la pila, así como para proporcionar aire a los microbios.

Destrucción de patógenos:

Temperaturas mayores de 55°C son necesarias cuando menos durante tres días consecutivos para asegurar la destrucción de organismos patógenos. Es importante que toda la pila sea expuesta a tales temperaturas para asegurar la destrucción de todos los organismos patógenos.

Las temperaturas del aire ambiente tienen poco efecto en el proceso de compostaje por lo cual la masa de material composteable puede retener el calor generado por los microorganismos.

Mezclado:

~~Todos los factores deben tomarse en cuenta en las pilas de composta para un proceso rápido. El mezclado adecuado del agua con los desechos permite la actividad microbiana así como una circulación de aire uniforme.~~

REFERENCIA:

Waste Age/University of Wisconsin Solid Waste Composting course:

A. BIOLÓGICO.

Actividad de microorganismos (bacterias, hongos, actinomicetos)

- Carbono es convertido a CO_2 , agua, humedad por microorganismos.
- Carbono también sirve como fuente de alimento/energía.
- Generación de calor por la actividad microbiana.
- Sucesión de microorganismos dominante mientras existen las condiciones para su alimento y sobrevivencia, hasta que existe sólo material orgánico remanente.
- Microorganismos tienen preferencia sobre el tipo de alimento a consumir, por lo que cuando no existe el alimento adecuado están latentes o pueden morir.
- La población de microorganismos crece rápidamente alimentándose del material orgánico presente en los desechos, tan pronto como son desfavorables las condiciones para el microorganismo dominante emerge otro para ser el dominante.
- En algunas ocasiones es necesario un inóculo para que inicie el proceso de descomposición y los microbios realizan su trabajo.
- El proceso de compostaje se sujeta a las necesidades de microorganismos y promover condiciones que promueven la estabilización rápida de la fracción orgánica de los desechos.
- Existen microorganismos nocivos para el compostaje, los cuales son dañinos a salud humana, estos organismos patógenos deben ser destruidos antes de la comercialización del producto en el mercado.
- La destrucción de los organismos citados generalmente se realiza, controlando el ambiente físico del proceso de compostaje.

A. QUÍMICO.

El ambiente químico está determinado por la composición de los residuos sólidos a ser composteados, así como otros factores tales como:

- Presencia de una fuente adecuada de alimento/energía.
- Cantidad balanceada de nutrientes.
- Agua.
- Oxígeno adecuado.
- Niveles de pH aceptables.
- Ausencia de sustancias tóxicas que podrían inhibir la actividad Microbial.

Carbono/fuente de energía para microorganismos, además de los nutrientes (N, P, K, otros elementos).

- El carbono contenido en los materiales a compostear puede ser fácilmente degradable (azúcares), regularmente biodegradable (Ligninas presentes en la madera y pulpa de papel) o no biodegradable (plásticos).

Carbono Descomposición por microorganismos.
 Convertido a células microbiales.
 Formación de CO₂ escapa a la atmosfera.
 Decremento en volumen y peso de los residuos.

Carbono que no es fácilmente composteable, esta base para la estructura física del producto final (compost).

NUTRIENTES: (N, P, K,) El principal N,

-
- Relación C/N el inicio 30:1
 - Relación C/N a final 10:1 15:1
 - Perdida de carbón aumenta la relación C/N.
 - Adición de residuos ricos en nitrógeno y/o residuos parcialmente descompuestos para aumentar la relación C/N
 - No es recomendable la adición de fertilizantes porque:
 - 1.- Modifica las concentraciones de sal.
 - 2.- Impide la actividad microbial.
 - 3.- Cuando aumenta la temperatura, el nitrógeno se pierde hacia la atmosfera.

- Los demás nutrientes no son factores importantes si se presentan en cantidades excesivas, excepto por los que pueden ser tóxicos, ya que inhiben la actividad.

HUMEDAD.

Generalmente los desechos no contienen un contenido de humedad suficiente por lo que regularmente es agregado agua o también pueden ser utilizados los lodos de aguas negras para aumentar el contenido de humedad.

Un contenido de humedad del 50 a 60% es considerado ideal para:

- 1.- Evitar el flujo excesivo de agua y el movimiento debido a la gravedad.
 - 2.- Evitar la formación de lechada lo que provocaría un problema para la disposición del líquido.
 - 3.- Evitar la formación de malos olores y putrefacción.
- Así como se produce humedad, también se pierde debido a la evaporación. Generalmente la evaporación excede a la humedad producida en si por el proceso, por lo que es necesario agregar una cierta cantidad de agua.
 - Por otra parte la evaporación puede ser controlada controlando el tamaño de la pila, a mayor tamaño de pila, menor pérdida de agua por evaporación.

OXIGENO

La composta es un proceso aeróbico, por lo que es necesario la presencia de oxígeno para evitar la formación de malos olores y putrefacción, lo

lo cual convertiría al proceso de compostaje hacia un proceso anaeróbico.

Cabe señalar que la degradación aeróbica ocurre a mayor velocidad que la anaeróbica.

Para que se pueda conseguir una pila aerada, es necesario que la misma tenga los suficientes espacios vacíos, que permitan la entrada de aire y la salida de productos de la degradación como dióxido de carbono hacia la atmosfera.

Otra manera de aumentar el contenido de oxígeno en la pila es el volteo de las mismas, lo que permite la exposición de los microorganismos. Así mismo se utilizan sistemas de ventilación forzada.

Concentraciones de oxígeno del 5 a 45% son consideradas adecuadas.

Concentraciones mayores no tienen un efecto negativo en el proceso de compostaje, pero pueden provocar lo siguiente:

- Remoción del calor.
- Enfriamiento de la pila.
- Evaporación excesiva.

~~- Disminuir la velocidad del proceso.~~

PH.

Un nivel de acidez /alcalinidad de 6 a 8 es considerado ideal. El pH afecta la disponibilidad de los nutrientes para los microorganismos, la solubilidad de metales pesados, y la actividad metabólica de los microorganismos.

El proceso de compostaje produce CO_2 y este en contacto con agua forma ácido carbónico, el cual puede disminuir el pH en el compost.

A medida que el proceso continua el valor del pH desciende, aunque la naturaleza orgánica del material conposteable no permite cambios bruscos en el pH.

A. FISICO

Para el proceso de compostaje, influyen factores físicos, dentro de los más importantes tenemos: tamaño de partícula, temperatura, mezclado, y tamaño de la pila.

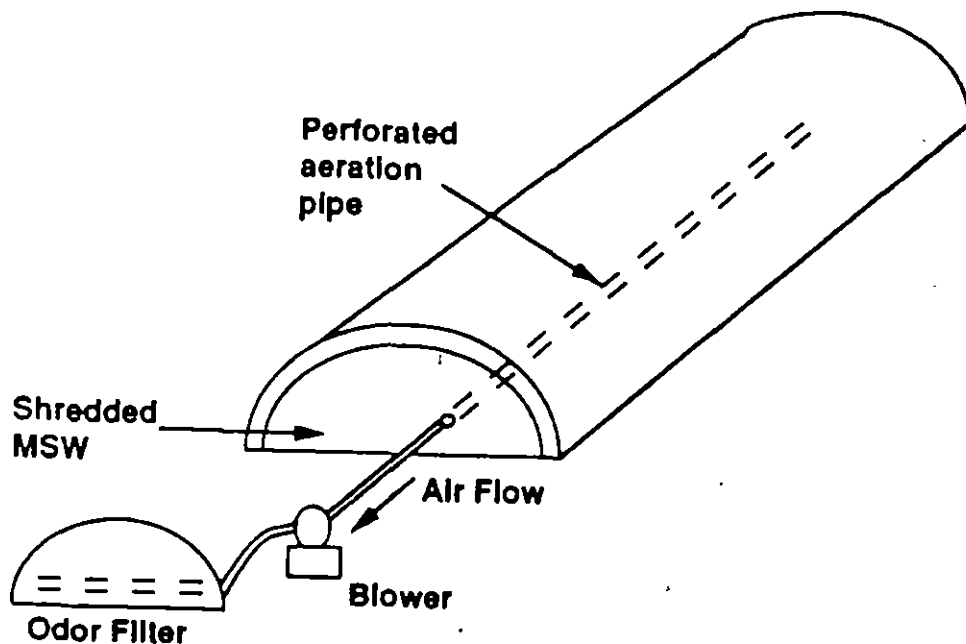
El tamaño de la pila afecta al proceso de compostaje de la siguiente manera:

- Un tamaño de partícula menor, tiene una menor superficie por unidad de peso.
- A mayor superficie de área, mayor actividad microbial lo que genera una rápida descomposición.
- Aunque también un tamaño de partícula demasiado pequeña, evita la formación de espacios vacíos, debido a la compactación de los residuos, lo cual retarda la biodegradación.

En resumen el tamaño de partícula deberá tener suficiente área de superficie para una rápida actividad microbial y tener suficientes espacios vacíos para que el aire circule y permita la respiración de los microorganismos.

SOLID WASTE COMPOSTING

Aerated Static Pile for Composting Municipal Solid Wastes



Prepared by Phillip O'Leary, Patrick Walsh, and Aga Razvi.

Correspondence Course articles reprinted from Waste Age, 1989-90.

For further information contact:

Philip O'Leary
Engineering Professional Development
University of Wisconsin-Madison
432 North Lake Street
Madison, Wisconsin 53706
(608) 262-0493

COMPOSTEO

1. DESCRIPCION DEL PROCESO

Este proceso, comunmente denominado como "COMPOSTEO", consiste en la degradación aerobia y termófila de materiales putrescibles, - por acción de los micro-organismos, dando como resultado un mejorador orgánico de suelos, cuyo valor energético y nutritivo es superior a cualquier estiércol.

Existen dos tipos de descomposición aerobia, la lenta o natural y la acelerada o inducida.

Según las experiencias en diversos países, la degradación acelerada con lleva costos de operación más elevada que los correspondientes a la degradación natural.

1.a FERMENTACION ACELERADA

- . Este proceso requiere de instalaciones y equipos especiales-cerrados.
- . Se facilita controlar los parámetros que rigen el proceso.
- . Las instalaciones cuentan con equipos de agitación mecánica.
- . Se evita el uso de grandes extensiones de terreno.
- . Se requieren tiempos de retención 1 a 15 días.
- . Existe en el mercado cámaras ferment. las verticales de piso-múltip las verticales de paletas, las horizontales rotatorias horizontales de paletas.
- . Alta inversión de capital.

1.b FERMENTACION LENTA

- . Se lleva a cabo normalmente a la intemperie.
- . Formando pilas de longitud variable sobre el suelo.
- . Comprende tres fases:
 - . Prefermentación
 - . Fermentación
 - . Maduración
- . Normalmente se obtiene un producto estabilizado de 90-120 días.
- . La agitación se lleva a cabo mediante maquinaria.

- Requiere grandes extensiones de terreno.
- El tiempo de residencia es muy grande.
- Díficil de controlar por estar expuesto a factores climatológicos.

1.c LAS FASES QUE NORMALMENTE INTEGRAN ESTOS PROCESOS SON:

- Recepción de residuos.
- Separación de subproductos.
- Reducción de tamaño por trituración o cribado-
(No en todos los casos).
- Fermentación aerobia lenta o acelerada, según-
el caso.

1.d REQUERIMIENTOS PARA EL PROCESO

La descripción de las unidades que pueden ser consideradas dentro -
del proceso, para el tipo de residuos que se pretenden aprovechar,-
se describen a continuación:

- Fosa de recepción.
- Bandas de recuperación de subproductos reciclables.
- Molino.
- Cribas (vibratorias, rotatorias, etc.)
- Puente formador de pilas.
- traxcauos.

2. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL PROCESO

2.a. Ventajas

- Reducción del espacio requerido para la disposición final de -
residuos urbanos.
- Integración de la totalidad de la materia orgánica al ciclo --
natural.
- Se puede ocupar mano de obra extensiva.
- Recuperación de subproductos con valor comercial.
- La composta se puede usar como material de cubierta para relleno
no sanitario o regenerador de suelos de cultivo.

2.b DESV JA

- . Condición del proceso
- . Se requiere controlar las condiciones físicas, químicas y biológicas del proceso.
- . Existe un mercado reducido para la composta
- . Costos altos para el transporte de la composta
- . Compete con fertilizantes inorgánicos (más baratos), -- por no tener una difusión adecuada para su empleo.
- . Costos de mantenimiento elevados, por el desgaste continuo del sistema de molienda.
- . Requiere de tiempos prolongados para estabilizar -- tiempos mayores en el caso de digestión lenta (normal)
- . Se requiere de áreas grandes.

3. CANTIDAD, TIPO Y CARACTERISTICAS DE LOS RESIDUOS POTENCIALMENTE APROVECHABLES.

3.a CANTIDAD DE RESIDUOS POTENCIALMENTE APROVECHABLES (4 500 TONELADAS DIARIAS DE MATERIA ORGANICA).

3.b CARACTERISTICAS DE LOS RESIDUOS POTENCIALMENTE APROVECHABLES.

H	=	6	%
C	=	3	%
N	=	1.5	%
O	=	30	%

4. TIPOS DE COMPOSTA

De acuerdo al avance de degradación bioquímica y procesamiento
Feinl

4.a COMPOSTA CRUDA

- . Residuos triturados que aún no se encuentran en etapa de descomposición.

COMPOSTA FRESCA

- . Material que se encuentra en las primeras etapas de degradación bioquímica.

4.c COMPOSTA MADURA

. Producto completamente composteado y desinfectado.

4.d. COMPOSTA ESPECIAL

. Composta que ha pasado por etapas posteriores para su refinación y/o adición de sustancias minerales.

5 USOS DE LA COMPOSTA

- a.- Regenerador de suelos agrícolas.
- b.- Material de cobertura para relleno sanitario.
- c.- Sustrato para producción de proteínas.
- d.- Como complemento alimenticio porcícola.
- e.- Jardinería.
- f.- Control de maleza y enfermedades de las plantas.
- g.- Control biológico de daños al suelo.
- h.- Fuente de micronutrientes y macronutrientes para las --
Plantas.

6. RIESGOS POR EL USO DE COMPOSTA

- a.- . Aumento en la concentración de sales
- b.- . Puede incorporar al suelo concentraciones dañinas de -
metales pesados.
- c.- . Incorporación de organismos patógenos.
- d.- . Modificación del pH.
- e.- . Si la madurez no es adecuada empobrece los suelos.

CARACTERISTICAS GENERALES DE LA COMPOSTA
MADURA COMERCIALIZABLE

PROPIEDAD	INTERVALO NORMAL
HUMEDAD (g/100g)	20 - 30
MATERIA INERTE (g/100 g)	30 - 70
CONTENIDO ORGANICO	10 - 30
(DE UNA SUSPENSION 1:10 EN AGUA DESTILADA)	5 - 9
TAMANO MAXIMO DE PARTICULA (mm)	.5
DENSIDAD (gr/ml)	0.5 A 0.8
MATERIA ORGANICA	35.0 % DE MATERIA - SECA.
CARBONO ORGANICO	15 - 25 %
HUMUS	5 - 10 %
NITROGENO	0.9 - 1.5 % DE MATERIA SECA
RELACION C/N	10 - 15
FOSFORO	0 - 0.3 % MATERIA SECA
POTASIO	0.3 - 0.7 % MATERIA SECA
CALCIO	3 - 7 % MATERIA SECA
MAGNESIO	0.2 - 0.5 % MATERIA SECA
OLIGOELEMENTOS	CONCENTRACIONES VARIABLES

CARACTERISTICAS DE LA COMPOSTA

8. CONCENTRACION DE ELEMENTOS EN LA COMPOSTA MADURA

ELEMENTO	INTERVALO NORMAL
ELEMENTOS MAYORES (BASE SECA g/100 g)	
MATERIA INERTE (g/100 g)	0.1-1.8
P (P_2O_5) ORGANICO	0.1-1.7 (0.2-3.8)
K (K_2O) SUSPENSION 1:10 EN AGUA DESTILADA)	0.1-2.3 (0.1-2.8)
S	0.5-3.0
ALCALINIDAD (COMO CaO)	(1-20)
SALES TOTALES (COMO KCl)	(0.5-2.0)
ELEMENTOS MENORES (BASE SECA mg/kg)	
B	50-360
Cd	15-40
Cu	90-260
Fe	8000-15000
Hg	1-5
Mn	300-1300
Mo	10
Pb	200-400
Zn	800-1200

DIGESTION ANAEROBICA

1.- DEFINICION DEL PROCESO

Es un proceso de fermentación de materia orgánica en ausencia de oxígeno, en condiciones anaeróbicas, a partir del cual se obtiene como productos biogas y un lodo estabilizado que es un excelente mejorador de suelos con un alto valor fertilizante.

2.- DESCRIPCION DEL PROCESO

Mediante este proceso es factible procesar residuos orgánicos de tipo agrícola, jardinería y los contenidos en los residuos sólidos urbanos.

El proceso principia con el mezclado de residuos orgánicos con agua para posteriormente introducirlos a un recipiente cerrado llamado digestor, que es donde se realiza el proceso de digestión. El digestor se carga a intervalos regulares de tiempo con una cantidad dada de desechos mezclados con agua y del digestor sale un volumen de lodos fertilizantes igual al de la mezcla alimentada; el biogas se genera en forma continua y va almacenando en la cámara disponible para ello.

La fermentación anaeróbica se lleva a cabo por la acción de diversas familias de bacterias. Usualmente se consideran dos etapas de dicho proceso: en la primera se forman ácidos y en la segunda gases.

2.a ETAPAS DEL PROCESO

- . Recepción de materia prima.
- . Separación de componentes inorgánicos del volumen total de residuos sólidos.
- . Acondicionamiento del material a fermentar.
- . Carga del material al digestor.
- . Digestión anaerobia.
- . Captación de biogas.
- . Descarga del efluente digerido.

2.b. EQUIPO REQUERIDO

- . Tolvas de recepción.
- . Molino
- . Bandas de selección.
- . Tanque de mezclado y carga.
- . Digestor con campana flotante.
- . Tanque de descarga.
- . Línea de conducción de biogas.
- . Secadora de lodos estabilizados.
- . Cribas.

3. PARAMETROS QUE RIGEN EL PROCESO

- . Temperatura.- El proceso se lleva acabo en un amplio rango de temperatura, sin embargo, para que -- las bacterias formadoras de metano trabajen en forma óptima, se requiere mantenerlos en tre 30 y 60° C.
- . Relación Carbono Nitrógeno.- La más recomendable es de 30
- . Porcentaje de sólidos.- Experimentalmente se ha demostrado que una carga que contenga entre 7 y 9 % de sólidos totales es óptima para la digestión.
- . pH .- Su valor debe estar entre 6.7 y 7.5

4. CARACTERISTICAS DE LOS RESIDUOS POTENCIALMENTE APROVECHABLES.

4.a. CANTIDAD

- . 5 900 toneladas de materia orgánica por día.
- . Fuentes de residuos orgánicos.
- . Residuos Domiciliarios.
- . Residuos de jardinería.
- . Residuos de mercados.
- . Residuos de rastros.
- . Lodos de Plantas de tratamiento de aguas residuales.

4.b CARACTERISTICAS DE LOS RESIDUOS

H	57%
C	58%
N	1.3%
O	30%

5. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL PROCESO

5.a. VENTAJAS

- . Obtención de gas metano (combustible).
- . Obtención de un lodo con propiedades fertilizantes y regenerativas del suelo.
- . Control de la contaminación derivada por la descomposición espontánea e incontrolada de materia orgánica.
- . Destrucción de patógenos.
- . Mayor vida útil del sitio de disposición final donde serían confinados los residuos sin procesar.
- . El 100% de los residuos orgánicos alimentados, son degradados.
- . No hay escape de malos olores.
- . No contamina el subsuelo.

5.b. DESVENTAJAS

- . Los lodos pueden tornar ácido el suelo donde son aplicados.
- . Requiere capacitación de personal.
- . Condiciones de operación muy controladas.
- . Competencia en el mercado de abonos naturales.
- . Tiempos prolongados de proceso.
- . Remoción constante de natas.
- . Riesgos en el manejo de gas metano.

6. UTILIZACION DEL BIOGAS.

- El biogas puede utilizarse directamente en quemadores, - - - como por ejemplo en estufas, lámparas, refrigeradores, etc.
- Puede ser utilizado como combustible en máquinas de combustión interna.
- Generación de energía eléctrica.

7. UTILIZACION DEL BIOABONO

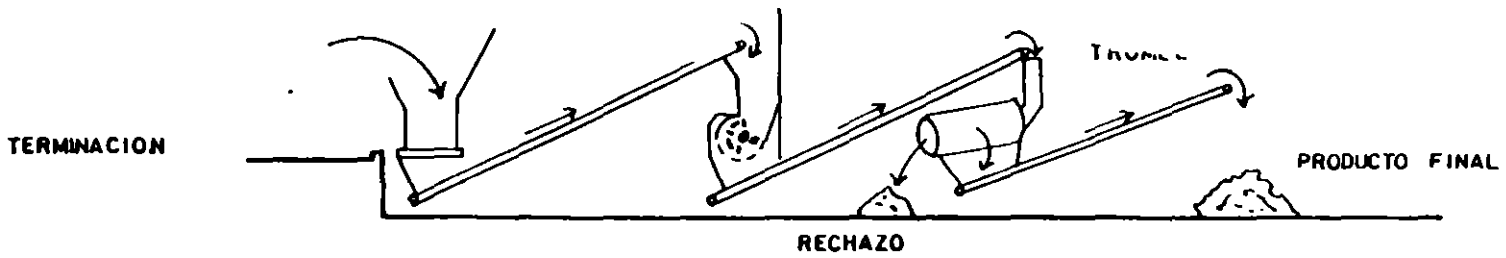
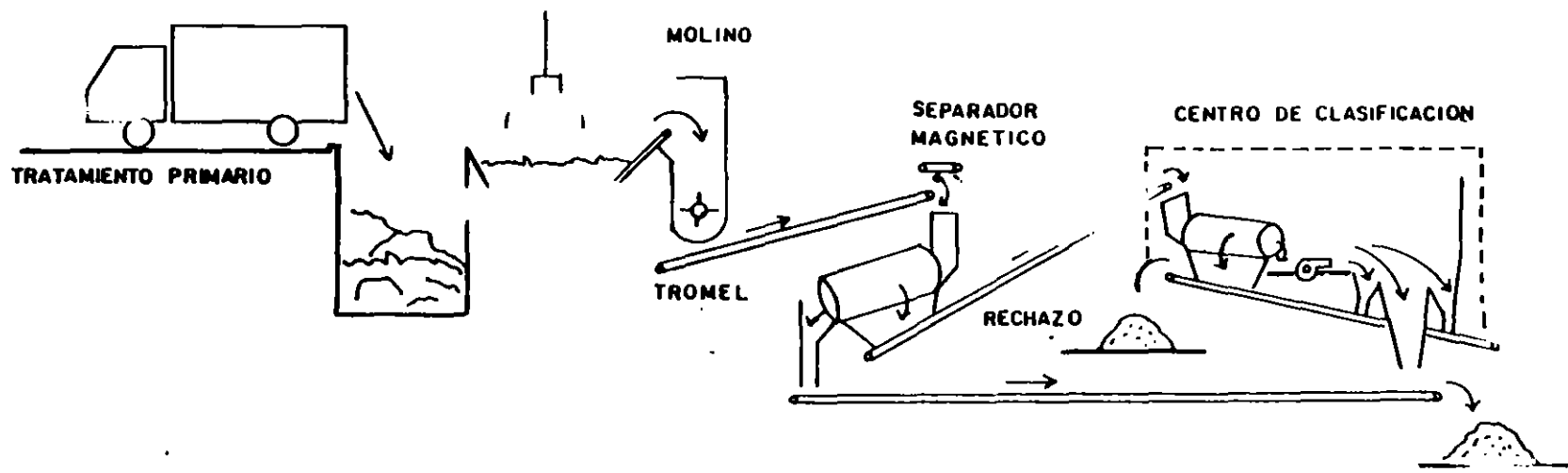
- Puede servir como materia prima para producir compostas.
- Mejorador de suelos.
- Aumento de la producción agrícola.
- Fertilización de estanques de peces.
- Cultivos de hidroponía.

8. COMPOSICION DEL BIOGAS

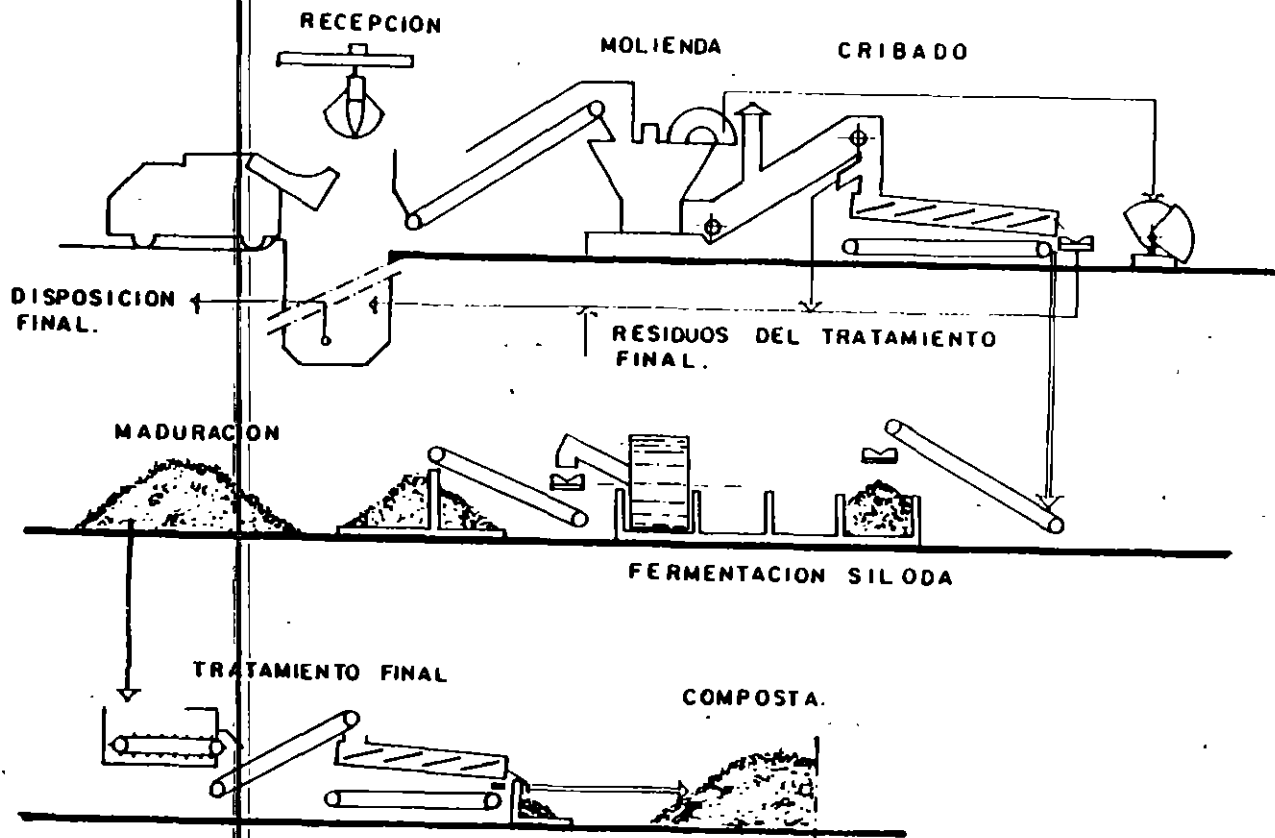
• METANO	54% - 70%
• BIOXIDO DE CARBONO	27% - 45%
• HIDROGENO	1.0% - 10%
• NITROGENO	0.5% - 3.0%
• ACIDO SULFIDRICO	0.1%
• PODER CALORIFICO	5335 KCAL/M3

9. COMPOSICION DEL BIOABONO

• pH	7.5%
• MATERIA ORGANICA	35.0%
• NITROGENO	2.6%
• FOSFORO	1.5%
• POTASIO	1.0%

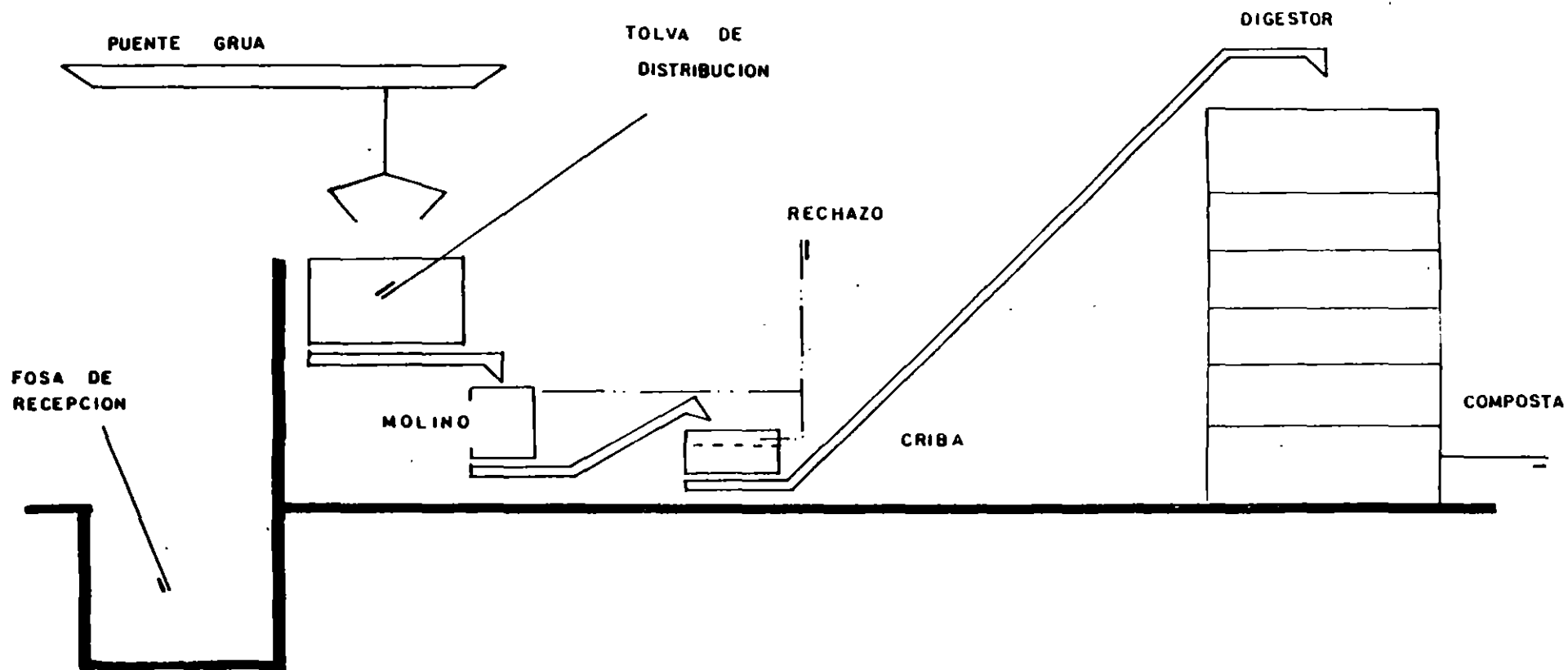


PROCESO DE COMPOSTAJE DE LA SOCIEDAD DE URBANISMO AQUITAINE-LANGUEDOC.(FRANCIA)



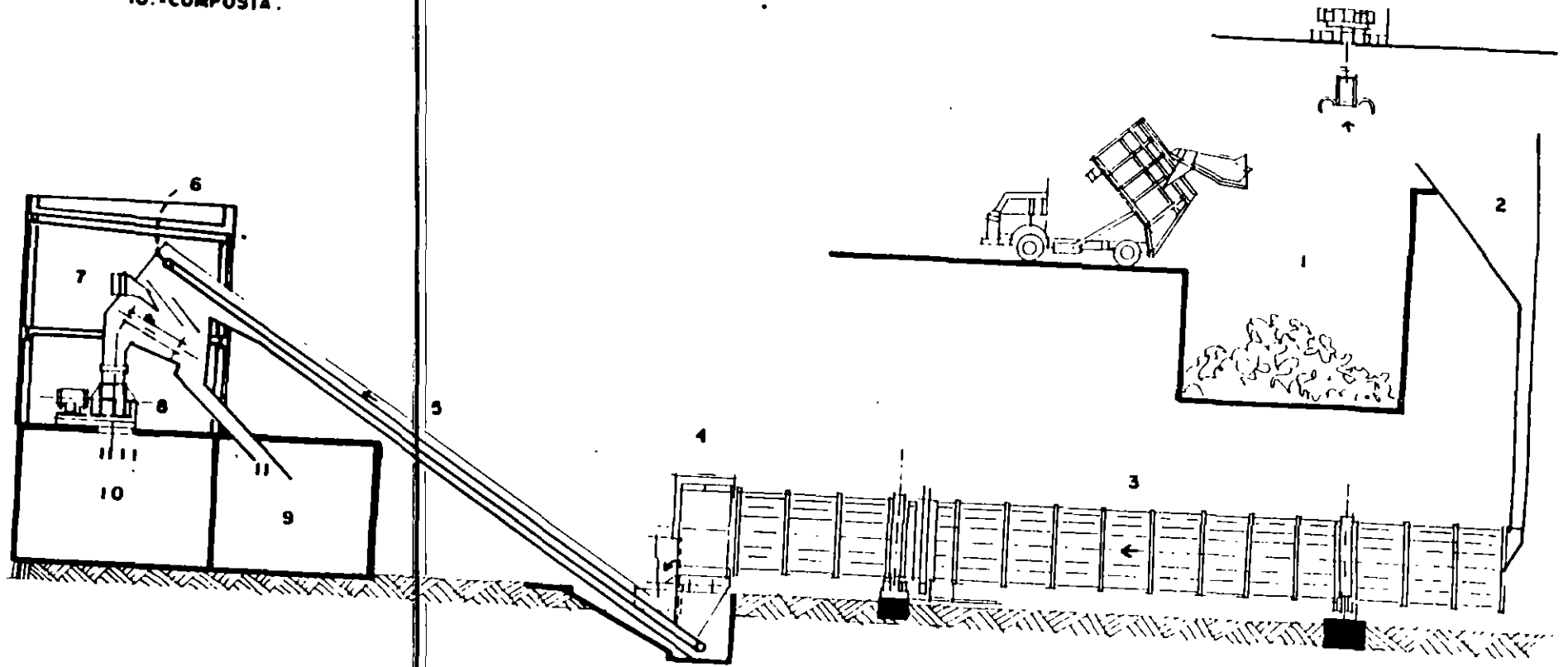
PROCESO DE COMPOSTAJE ACCELERADO " SILODA "

61



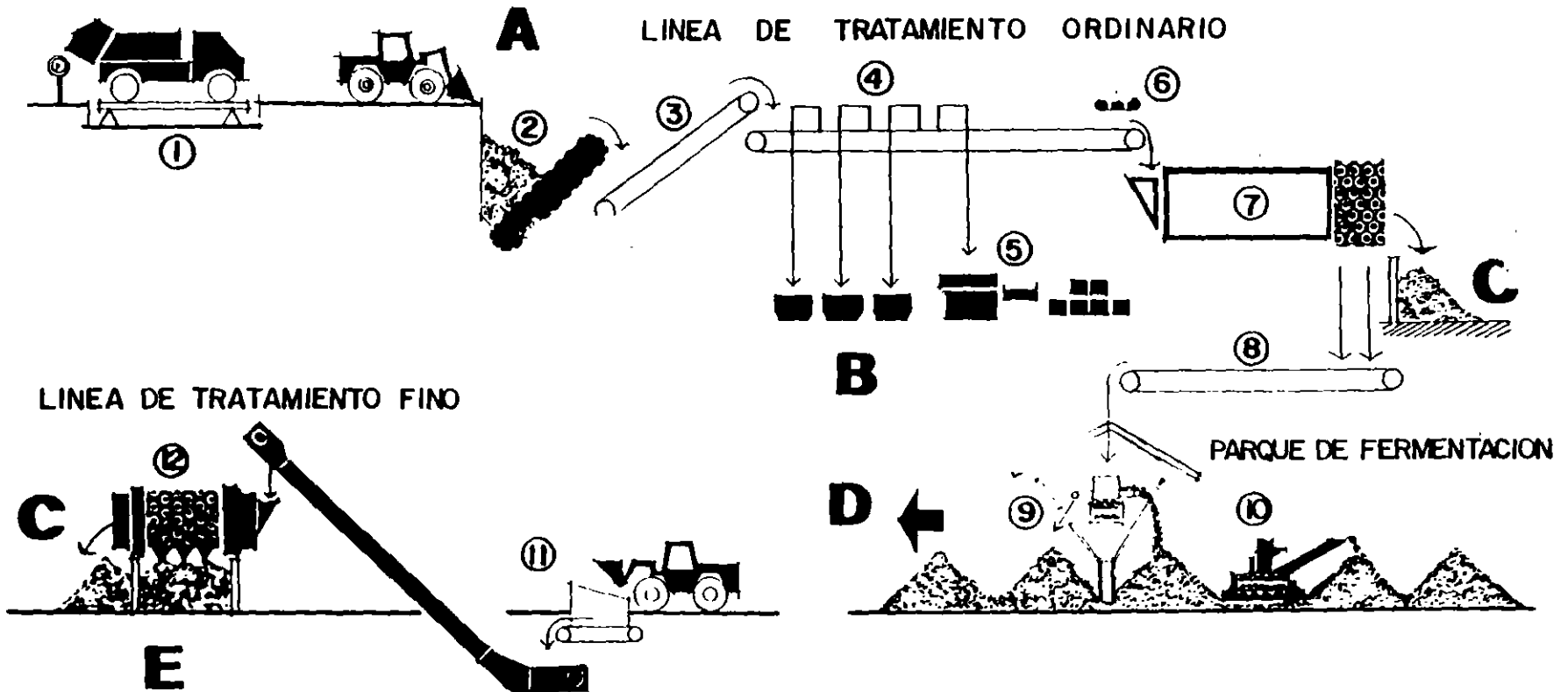
PROCESO DE COMPOSTAJE CAREL - FOUCHÉ (ESQUEMA GENERAL)

- 1.- FOSA DE RECEPCION.
- 2.- TOLVA DE RECEPCION.
- 3.- BRS (BIO-REACTOR SOBEA)
- 4.- TROMEL DEPURADOR
- 5.- BANDA TRANSPORTADORA.
- 6.- POLEA MAGNETICA
- 7.- SOPLADO - BALISTICO
- 8.- TRITURADO DE REFINACION
- 9.- RECHAZO
- 10.- COMPOSTA.



20

PROCESO DE COMPOSTAJE SOCEA-BALENCY (SOBEA)



1. AREA DE PESAJE
2. TRANSPORTADOR DE TABLILLAS DE ACERO
3. TRANSPORTADOR DE CORREA
4. ESTACION DE SELECCION MANUAL
5. COMPRESOR
6. SEPARADOR MAGNETICO
7. TAMBOR MEZCLADOR/HOMOGENIZADOR/TAMIZADOR

8. TRANSPORTADOR DE CORREA
9. PILAS DE FERMENTACION
10. MAQUINA P/REMOVER PILAS DE FERMENTACION
11. CAJA DEL MECANISMO DE ALIMENTACION CON TRANSPORTADOR DE CADENA
12. TAMBOR DE CRIBADO

- A. RECEPCION
- B. MATERIAL RECUPERABLE
- C. RECHAZO
- D. COMPOSTA ORDINARIA (AGRICULTURA, HORTALIZAS)
- E. COMPOSTA FINA (PARQUES, AGRICULTURA, CULTIVO DE HORTALIZAS)

ESQUEMA DE LA PLANTA DE RECICLAJE Y COMPOSTAJE EN SHOUBRA, EL CAIRO, EGIPTO (BL 3R).

III. REDUCCION DE VOLUMEN.

La reducción de volumen de los residuos sólidos se lleva a cabo con objeto de facilitar su manejo y, fundamentalmente, para alargar al máximo la vida útil de los sitios de disposición final. La incineración constituye una manera particular de lograr este objetivo; en este apartado se revisarán otros métodos disponibles para lograr la reducción de volumen, dejando la incineración para un capítulo posterior.

1. Compactación.

Por lo general, en nuestro país este proceso se lleva a cabo principalmente en las etapas de recolección, transporte y disposición final de residuos sólidos, sin embargo, es posible efectuarlo también en otras etapas del manejo de los residuos sólidos, como pueden ser las estaciones de transferencia. En el caso de los sitios de disposición final, el equipo empleado para la compactación de los residuos consiste en tractores de oruga, o bien en compactadores diseñados específicamente para ese fin, los cuales dan varias "pasadas" sobre los residuos hasta lograr su objetivo. De estos equipos y el procedimiento a seguir para la compactación de los residuos en rellenos sanitarios se hablará más adelante, en el capítulo correspondiente a disposición final. De la misma manera, no se revisarán aquí los equipos de compactación integrados en los vehículos de recolección y transferencia, que se encuentran considerados por separado.

Los equipos normalmente utilizados en las estaciones de transferencia para reducir el volumen de los residuos sólidos constan básicamente de una estructura robusta donde se compactan los residuos en base a un sistema hidráulico. Después de conseguir la compactación, existen dos alternativas dependiendo del equipo con que cuente la estación. La primera, consiste en cargar los residuos compactados en una caja de transferencia, dejando que sea la estructura de ésta el único control para mantener el peso volumétrico conseguido por el equipo de compactación. Por consiguiente, al descargar los residuos en el sitio de disposición final, éstos recuperan parcialmente su peso volumétrico anterior a la compactación.

La segunda alternativa considera, como paso adicional a la compactación, el flejado con alambre de acero para evitar que los residuos se re-expandan y mantengan la densidad conseguida aún después de ser dispuestos en un relleno sanitario. De hecho, lo que se consigue es conformar una "paca" de basura de dimensiones relativamente considerables.

Este método se ha utilizado con éxito sobre todo en Estados Unidos y Japón; en este último país se utiliza además una malla de alambre adicional al flejado. La figura No. 1 muestra el esquema de una estación de transferencia con embalaje de subproductos y de rechazo para ser enviado a disposición final u otro tratamiento.

Las ventajas obtenidas con este método son las siguientes:

- el peso volumétrico obtenido es de 1.5 a 2 veces superior al que se obtiene en un relleno sanitario bien consolidado.
- se disminuyen los asentamientos en rellenos sanitarios.
- se disminuye la emisión de olores y el riesgo de proliferación de vectores.
- en ciertos casos, es posible disponer hasta un 60% más de residuos sólidos en un relleno sanitario.
- los requerimientos en material de cubierta pueden verse reducidos hasta en un 75%.
- incremento considerable en la vida útil de un relleno sanitario.
- mayor eficiencia de los vehículos en el transporte de residuos.

Entre las desventajas de este método se pueden mencionar las siguientes:

- altos costos de inversión en el equipo e instalaciones.
- el lixiviado generado puede presentar una mayor agresividad.
- el método no es aplicable cuando los residuos presentan altos contenidos de humedad.

2. Fragmentación.

Dentro del término fragmentación se comprende a todas aquellas técnicas que tienen por objeto la reducción y homogenización del tamaño de las partículas que conforman los residuos sólidos municipales (molido, pulverizado, trituración, desmenuzado, etc.). Normalmente la fragmentación se considera como una actividad de pre-tratamiento, y se lleva a cabo generalmente con el objeto de dar a los residuos una preparación para un tratamiento o destino posterior, mediante la modificación de ciertas características físicas. Esta modificación se traduce en una reducción en el volumen global de los residuos, así como en una homogenización de sus características físicas (tamaño de partícula, peso volumétrico, composición, etc.).

Los efectos conseguidos mediante la fragmentación de los residuos sólidos adquieren mayor o menor importancia dependiendo del tratamiento posterior al que éstos serán destinados. Para el caso de un relleno sanitario, las ventajas se encuentran representados por:

- un mayor grado de compactación
- menores asentamientos locales posteriores a la clausura
- mayor vida útil del sitio
- menores riesgos de incendio, incidencia de vectores y olores
- menor daño a los equipos de trabajo utilizados en el sitio

Para el caso de la incineración, al tener un combustible más homogéneo se puede lograr un mayor control sobre el proceso correspondiente, y con ello una mayor eficiencia en la combustión de los residuos. Asimismo, se evitan riesgos de daño a las partes que conforman el equipo de combustión. En el caso de utilizar hornos de lecho fluidizado, el molido de los residuos es un requisito indispensable (lo mismo que en la fabricación de composta).

En el transporte de los residuos sólidos, se logra una mayor eficiencia al permitir un mejor "acomodo" de éstos en los vehículos de transporte.

Finalmente, y de manera general, el manejo de los residuos se facilita considerablemente cuando son sometidos al proceso de fragmentación.

Los equipos actualmente disponibles para lograr la fragmentación de los residuos sólidos son muy diversos y se basan en distintos principios de operación. Las figuras 2 y 3 muestran algunos de los equipos más comunmente usados con este propósito.

De los equipos mostrados, el más utilizado es el denominado molino de martillos, el cual se compone de una estructura fija en acero o camisa al interior de la cual pueden girar uno, dos o tres rotores sobre un eje vertical u horizontal; dentro de la estructura se encuentran fijadas una o más parrillas cuya posición puede ser regulada. Los rotores son accionados por un motor eléctrico a través de una correa o bien otro mecanismo de transmisión. Sobre los ejes de los rotores se encuentran fijados discos de acero espaciados por lo general a cada diez centímetros; ~~sobre estos discos se encuentran a su vez fijados los martillos~~ formados por barras rectangulares en acero, los cuales pueden girar libremente sobre su eje. Cuando el rotor gira a alta velocidad, los martillos adoptan una posición radial por el efecto de la fuerza centrífuga y golpean todo lo que se encuentra en su radio de influencia, girando sobre su eje después del impacto o cuando se introduzca un objeto sumamente duro o voluminoso evitando así que se dañe u obstruya el equipo.

La granulometría deseada se obtiene regulando diferentes parámetros de operación: número y colocación de los martillos, velocidad de rotación, velocidad tangencial, espaciamiento de las barras de la parrilla, etc.

La velocidad tangencial del martillo en el punto de impacto tiene un efecto determinante en el resultado obtenido. Para la

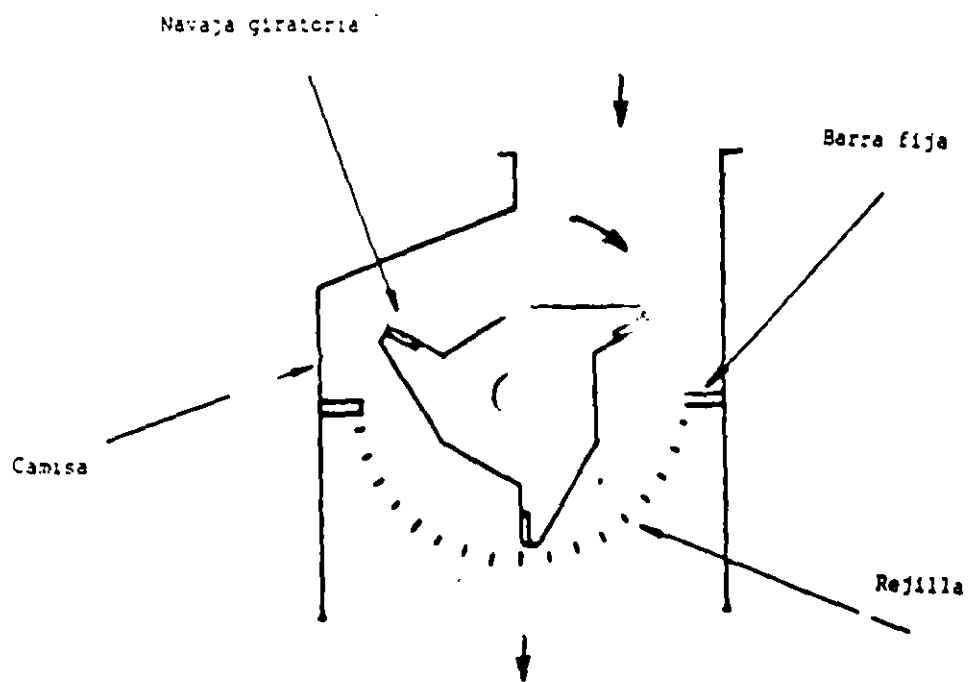
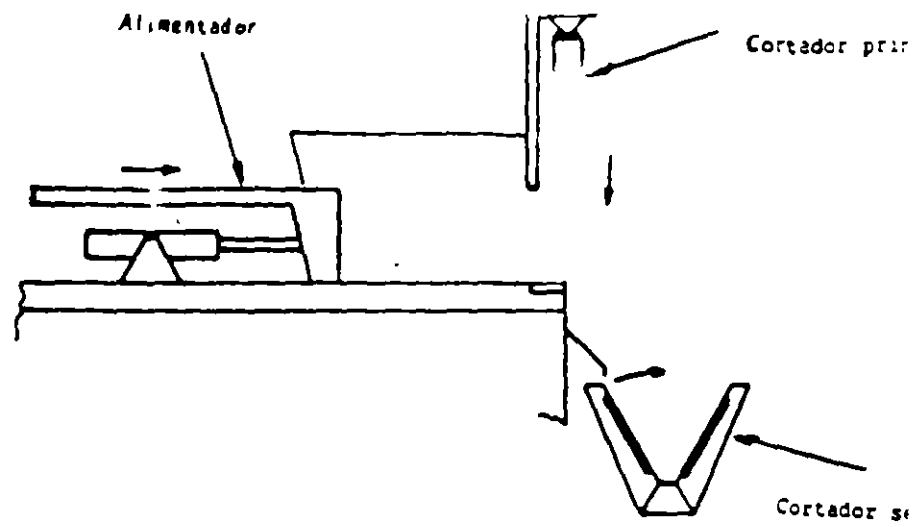


Fig. 8 Cortadores

eliminación completa del vidrio, esta velocidad deberá encontrarse entre 80 y 100 m/s, con lo cual el 80% del vidrio es pulverizado, y el resto es reducido a partículas muy pequeñas sin bordes cortantes. Conociendo el diámetro de los rotores, es posible obtener la velocidad de rotación necesaria que puede variar de 500 a 2,300 rpm dependiendo del equipo.

El molino de martillos consume una gran cantidad de energía, que es variable según el gasto de alimentación y la granulometría deseada. En razón de las características dimensionales de los residuos crudos, la potencia instalada generalmente es superior a 150 CV, ya que los residuos no han sufrido una pre-selección. El gasto horario y el rendimiento granulométrico son función de la potencia. Para una granulometría final de 80 mm, en promedio, la potencia requerida es de 15 CV por ton/hora de alimentación.

Por lo general, los residuos sólidos presentan características de abrasividad elevada, por lo que las piezas sometidas a un desgaste excesivo (martillos, parrillas, placas de protección, etc.) deben ser susceptibles de desmontarse fácilmente y ser reemplazadas rápidamente. El desgaste de estas piezas depende de factores tales como: alimentación horaria de residuos, granulometría deseada, y el tipo de residuos tratados. En ocasiones, la vida de estas piezas se puede prolongar utilizando aleaciones de metales o aceros especiales, lo cual resulta sumamente costoso. Por lo general, los martillos de los molinos son invertidos en su posición cuando presentan medio uso, excepto en los equipos en que es posible invertir el sentido en el giro del rotor. A continuación se anota, de manera indicativa, la vida útil expresada en toneladas molidas por un juego de martillos en acero ordinario, en función de la granulometría deseada:

- 600 toneladas para 35 mm.
- 800 toneladas para 55 mm.
- 1,000 toneladas para 75 mm.
- 1,200 toneladas para 100 mm.

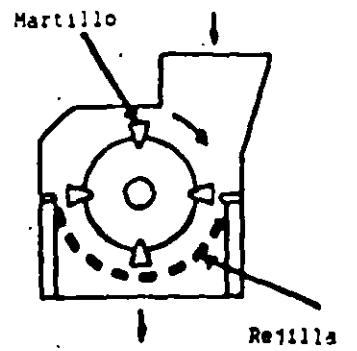
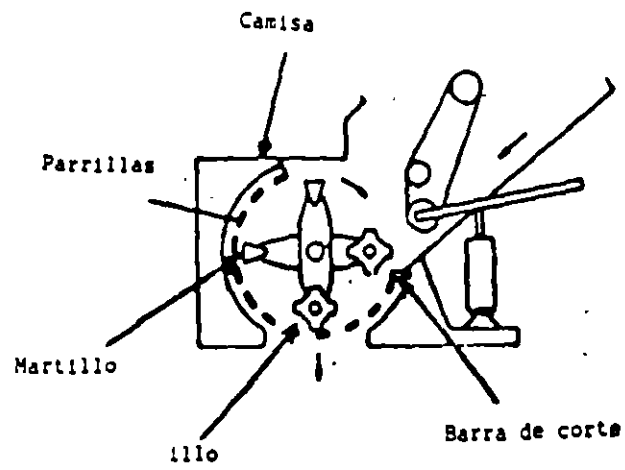
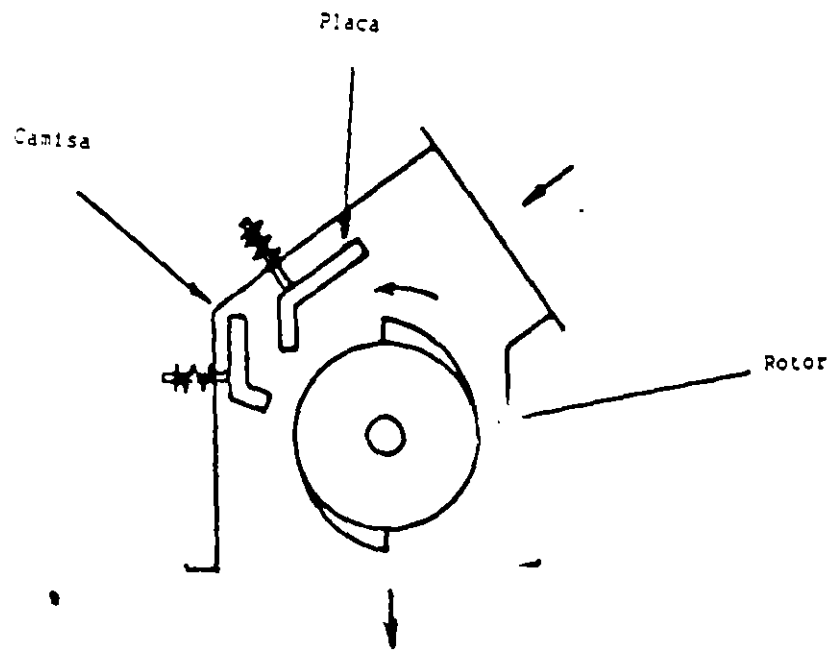


Fig. 9 Molinos

IV. SEPARACION.

Los residuos sólidos que se desechan en los hogares, comercios, parques, etc., se convierten en basura propiamente dicha al ser mezclados con otro tipo de residuos. Este mezclado se lleva a cabo en los recipientes domésticos, contenedores, en los vehículos recolectores o de transferencia, así como en los sitios de disposición final. Desde este punto de vista, la separación de subproductos puede darse desde el inicio del ciclo de los residuos sólidos, es decir, en la fuente generadora, con lo cual se evita el mezclado de residuos de diferentes tipos. La alternativa a este tipo de separación es la que se da de manera posterior a la recolección y transporte de los residuos, que es la más común en nuestro medio.

1. Separación en la fuente.

Es el método de separación más sencillo; de hecho, no se da una separación sino que se evita el mezclado de los residuos en la fuente generadora. Es la alternativa que recientemente ha adquirido más relevancia y más apoyo especialmente en los países industrializados, donde los costos de disposición final y de tratamiento han alcanzado niveles sumamente elevados, aunque también se ha iniciado su desarrollo en países con otras características.

Para lograr el desarrollo de un eficiente programa de separación en la fuente, es necesario cumplir como mínimo dos requisitos fundamentales:

- conciencia ciudadana
- infraestructura de apoyo

El primero de estos requisitos es necesario para que el ciudadano esté convencido de la conveniencia y necesidad de

llevar a cabo la separación en la fuente. Si bien es cierto que se pueden usar ciertos incentivos para el convencimiento del público en general, tales como la remuneración económica mediante la comercialización de subproductos, es necesario de cualquier manera que exista una conciencia y un convencimiento de que con la separación en la fuente se logran ventajas que repercuten en beneficio de la comunidad y el medio ambiente. Ahora bien, si no existe una infraestructura de apoyo, no tiene ninguna ventaja efectuar la separación de residuos en la fuente, ya que éstos serían mezclados en los camiones recolectores o bien el ciudadano no podrá realizar su comercialización. Por lo tanto, es necesario establecer una estrategia completa a efecto de que los subproductos separados puedan ser recolectados en forma adecuada, ya sea mediante vehículos especiales o bien programando la recolección en diferentes días para diferentes tipos de residuos. Asimismo, la estrategia debe considerar el establecimiento de centros de acopio, para la recepción de subproductos de aquellos ciudadanos que prefieran llevarlos a estos sitios.

Por otro lado, y a nivel doméstico, también es necesario contar con la infraestructura requerida para el almacenaje separado de los subproductos reciclables, lo cual generalmente demanda un mayor espacio en el lugar donde se acostumbre guardar la basura en una vivienda.

2. Separación posterior.

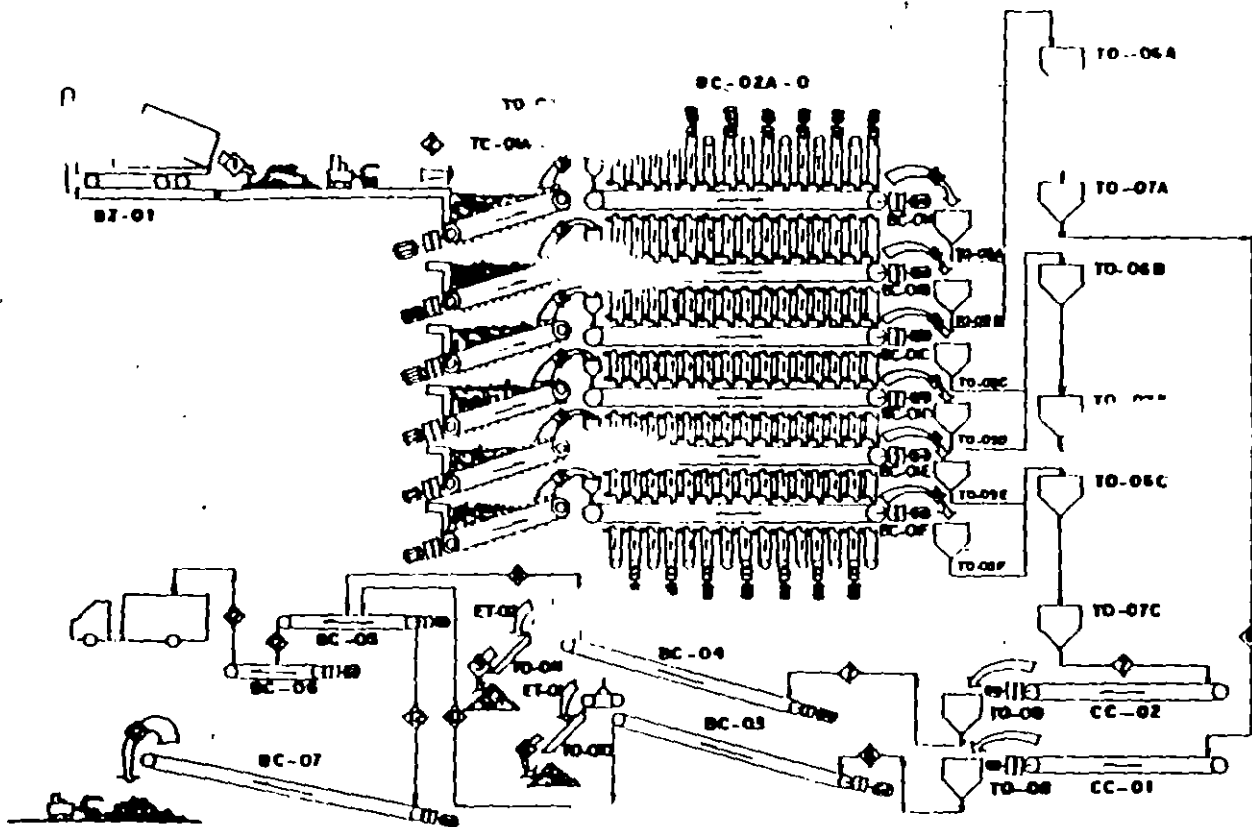
La separación de subproductos a partir de los residuos sólidos, fuera de la fuente generadora, es una práctica que comúnmente se da de la etapa de recolección de dichos residuos y hasta su disposición final. En efecto, la separación de subproductos es efectuada por los barrenderos, la tripulación de los vehículos, y los "pepenadores" que operan en los sitios de disposición final. Sin embargo,

dicha separación se lleva a cabo de manera informal, y frecuentemente en condiciones de insalubridad y de alto riesgo para las personas que llevan a cabo esta tarea, así como con muchas molestias para la población expuesta a este tipo de actividades.

Por otro lado, en la actualidad existen disponibles en el mercado tecnologías y equipos cuyo objetivo es la separación mecánica de los subproductos contenidos en los residuos sólidos. Esta separación puede ser completamente mecanizada o bien una combinación de equipo mecánico y separación manual.

El método de separación combinado utiliza fundamentalmente bandas transportadoras de rodillos accionadas por motores y sobre las cuales los residuos se desplazan a cierta velocidad y con un espesor determinado. A ambos lados de las bandas se colocan operadores que se dedican a separar manualmente un tipo preestablecido de material, el cual van depositando en contenedores o tolvas que se encuentran ubicadas próximas a los operadores. Sobre la banda permanece el material de rechazo que se envía a algún tipo de tratamiento o bien a disposición final.

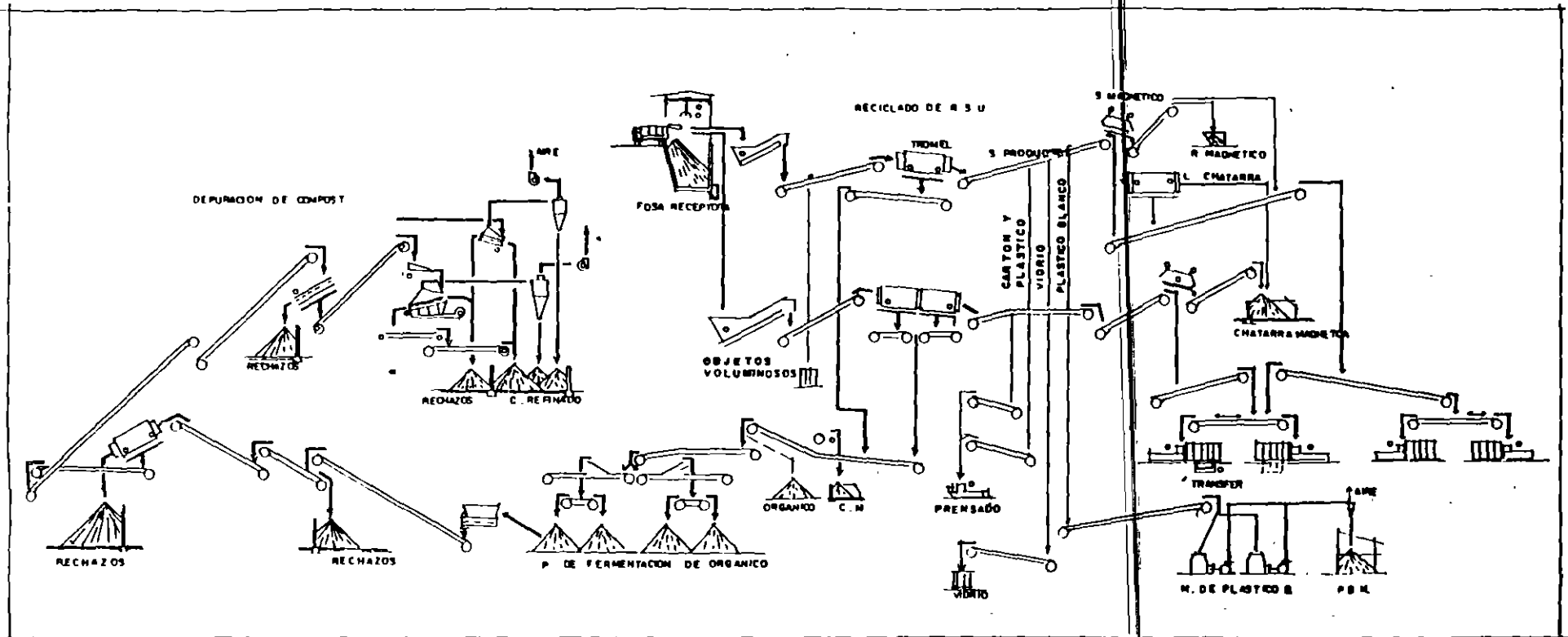
La separación mecanizada utiliza principios de tipo balístico, neumático, magnético y otros para separar los subproductos contenidos en la basura, aprovechando sus características físicas. Las figuras 10, 11 y 12 muestran algunos de los equipos comunmente utilizados en la separación mecánica de subproductos.



RELACION DE EQUIPO

CLAVE	CANT	DESCRIPCION
BC-01	8	TRANSPORTADORES DE CLASIFICACION
BC-02	15	TRANSPORTADORES DE SUBPRODUCTOS SELECCIONADOS
BC-03	1	TRANSPORTADOR A ESTACION DE CARGA LINEAS A-D
BC-04	1	TRANSPORTADOR A ESTACION DE CARGA LINEAS E-F
BC-05	1	TRANSPORTADOR DE DISTRIBUCION REVERSIBLE
BC-06	1	TRANSPORTADOR REVERSIBLE CARGA A CAMIONES
BC-07	1	TRANSPORTADOR DE EMERGENCIA
BZ-01	1	BALAZA PARA CAMIONES
CC-01	1	TRANSPORTADOR DE MATERIAL
CC-02	1	TRANSPORTADOR DE MATERIAL
EI-01	1	ELECTROMAN, LINEAS A-D
EI-02	1	ELECTROMAN, LINEAS E-F
TE-01	6	TRANSPORTADOR A CLASIFICACION
TO-02	6	TOLVA DE ALIMENTACION A SELECCION
TO-03	6	TOLVAS DESCARGA, TRANSPORTADORES DE TARRILLAS
TC-04	180	TARRILLAS
TO-05	6	TOLVAS DE ALIMENTACION A LINEAS
TO-06	3	TOLVAS DE ALIMENTACION A MOLINO
TO-07	3	TOLVAS DE SALIDA DE MOLINO
TO-08	1	TOLVA DE SALIDA DE TRANSPORTADOR
TO-09	1	TOLVA DE SALIDA DE TRANSPORTADOR
TO-10	1	GRUPE ELECTROMAN EI-01
TO-11	1	GRUPE ELECTROMAN EI-02

RECUPERACION SEMI-MECANICA DE SUBPRODUCTOS Y COMPOSTAJE DE RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES
 (PROCESO AEROBIO LENTO)



PRINCIPALES ETAPAS DEL PROCESO DE COMPOSTEO DE RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES

I. SELECCION Y SEPARACION DE RESIDUOS POTENCIALMENTE RECICLABLES Y/O APROVECHABLES (ETAPA DE PREPARACION)

1. Control (Pesaje)

- Básculas tipo camioneras sin fosa (Electrónicas)
- Básculas tipo camioneras con fosa (Mecánicas)
- " " " " (ELECTROMECANICAS)

2. Almacenamiento

- Fosas
 - Capacidad dos días de la capacidad de procesamiento
 - *patios de descarga*
 - Capacidad un día de la capacidad de procesamiento

3. Alimentación de Residuos

- Grúas - Viajera
- Maquinaria
 - Trascavos
 - Almeja hidráulica (*PIJA*)
- Tolvas
 - *con dosificadores*

4. Alimentación Dosificación de Residuos

- Transportadores de Tablillas de Ace
- Transportadores de banda de Neopreno - PVC, etc.
- Transportadores de Plataforma Viva (Tipping - Floor
 - *de Elicoidales*

- Transportadores de Cajilones
- Transportadores de Vibradores

- 5. Separación Mecánica (Primera Etapa)
 - Criba Rotatoria
 - Criba Vibratoria

- 6. Transportadores para Selección Manual
 - Transportadores de Banda
 - Transportadores de Plataforma (Tipping - Floor)

- 7. Separación Mecánica (Segunda Etapa)
 - Magnética
 - Neumática
 - Densimetrica
 - Balística

- 8. Molienda Gruesa
 - Molinos de Martillos
 - ~~Molino de Navajas~~
 - Molino de Cuchillas
 - Molino de Impacto

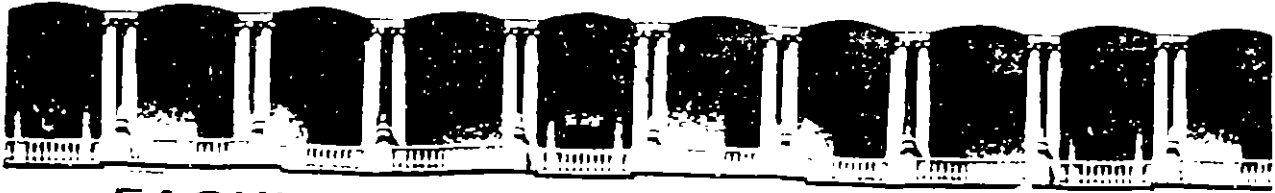
- 9. Depuración
 - Cribas Vibratorias
 - Cribas Rotatorias Trommels
 - Magnética
 - Balística

- Neumática
 - Densimétrica
10. **Transportación de Residuos (TRITURADOS)**
- Bandas
 - CADENA (BKT)
 - Elicoidales
 - . Materia Orgánica para Composteo
 - . Material de Rechazo

II. PROCESO DE COMPOSTEO (FERMENTACION AEROBIA - LENTA)

1. **Formación de Pilas de Prefermentación**
 - Puente Móvil con Transportador de Rastras
 - Con Carros de Volteo
 - Trascavo
2. **Movimiento de Pilas de Fermentación (MAT. ORGANICA)**
 - Máquina Volteadora
 - . Scarbajo
 - Trascavo
 - MANUAL
3. **Maduración**
4. **Acciónamiento de Compos**
 - Alimentación de Compos
 - . Trascavo
 - Transportador de Cadenas (BKT)

- **Molienda Fina**
 - . **Molino de Martillos**
- **Depuración**
 - . **Criba Rotatoria (Tromel)**
 - . **Criba Vibratoria**
 - . **Sepración Balística**
 - . **Separación Neumática**
 - . **Separación Densimétrica**
 - . **Separación magnética**
- **Almacenamiento**
 - . **Embaraje**
 - . **A Granel**



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**DIPLOMADO DE ACTUALIZACION EN
SISTEMAS DE CONTROL DE RESIDUOS SOLIDOS Y PELIGROSOS**
Cursos Abiertos

**MODULO III : "PROCESOS DE TRATAMIENTO PARA EL CONTROL DE RESIDUOS
SOLIDOS MUNICIPALES Y PELIGROSOS"**

TEMA :

**CRITERIOS BASICOS PARA EL DISEÑO Y SELECCION DE EQUIPOS PARA EL
RECICLAMIENTO Y COMPOSTEO**

Presenta :

ING. VICTOR FLORES VALENZUELA

ING. MARGARITA GUTIERREZ ROJAS

**DIPLOMADO DE RESIDUOS SOLIDOS
MODULO III PROCESOS DE TRATAMIENTO
PARA EL CONTROL DE RESIDUOS SOLIDOS
MUNICIPALES Y PELIGROSOS**

**" CRITERIOS BASICOS PARA EL DISEÑO Y SELECCION DE
EQUIPOS PARA EL RECICLAMIENTO Y COMPOSTEO "**

P o n e n t e s :

**Ing. Victor Manuel Flores Valenzuela
Ing. Margarita Gutiérrez Rojas**

Julio de 1995.

CRITERIOS BASICOS DE DISEÑO DE EQUIPOS

Los criterios básicos de diseño son los que se establecen en el desarrollo de un diseño conceptual o en un proceso y se dividen en: básicos de diseño de proceso, diseño de equipo y en criterios generales, en este caso desarrollaremos los criterios básicos para el diseño de los principales equipos que integran el proceso de selección y recuperación de subproductos, así como el manejo del rechazo y materia orgánica para el proceso de composteo, tales como: tran transportador de tablillas, transportadores de banda, separador magnético, criba rotatoria y molino de martillos para refinamiento de composta y básculas.

Es importante señalar que el diseño y fabricación de equipos de proceso se deben sujetar a los códigos técnicos nacionales e internacionales aplicables según sea el caso.

BASCULA

FUNCION :

Pesaje de vehículos que suministran residuos, retiran rechazo; materia orgánica y subproductos.

CRITERIOS :

- El diseño de la báscula debe ser propio para trabajos pesados.
- Considerar que existen horas pico de llegada de

vehículos.

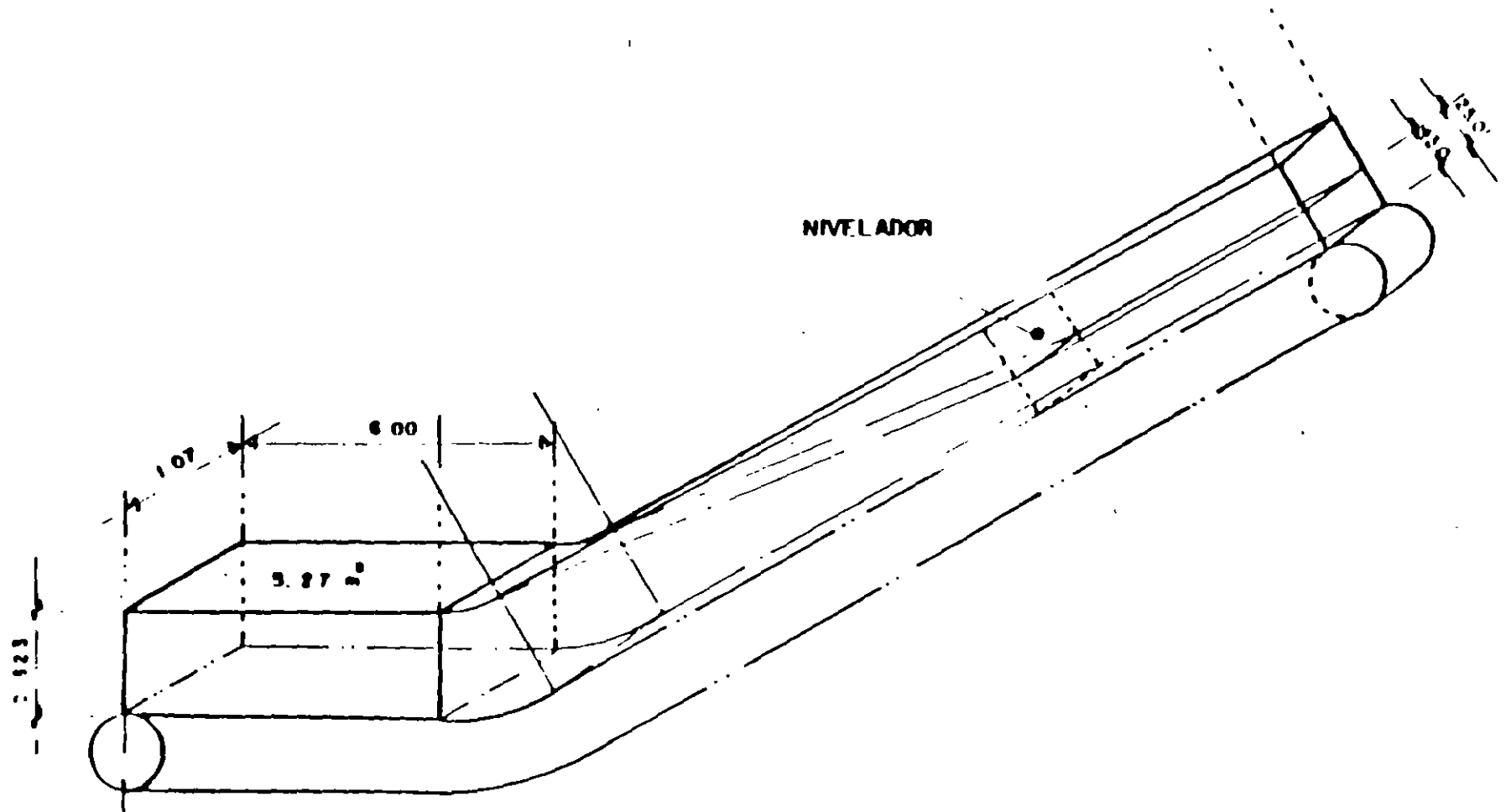
- El equipo estará expuesto a condiciones ambientales severas.
- El equipo debe diseñarse para operar con un mínimo mantenimiento.
- Se requiere velocidad y exactitud en el pesaje.
- La operación y control del equipo debe ser muy simple de operar.
- Protegida para cambios de temperatura.
- Sobrediseñar con un 5 - 10 %
- Control electrónico.
- Impresión de boletos, electrónico.
- Protección contra caídas o sobrevoltaje.
- Preparaciones para integrar una computadora.
- Contemplar un sistema para estabilizar lo más rápido posible la plataforma de pesaje.
- La plataforma de pesaje debe ser de estructura metálica con recubrimiento de concreto.
- Considerar un recubrimiento especial anticorrosivo.

TRANSPORTADOR DE TABLILLAS

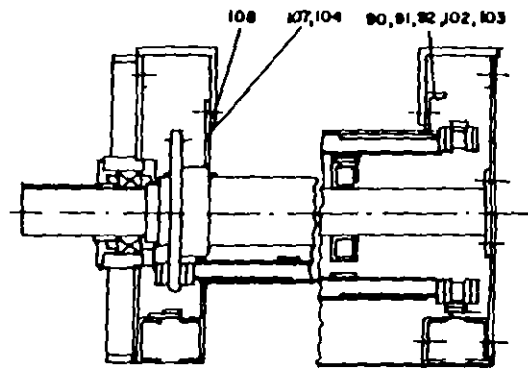
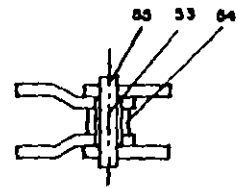
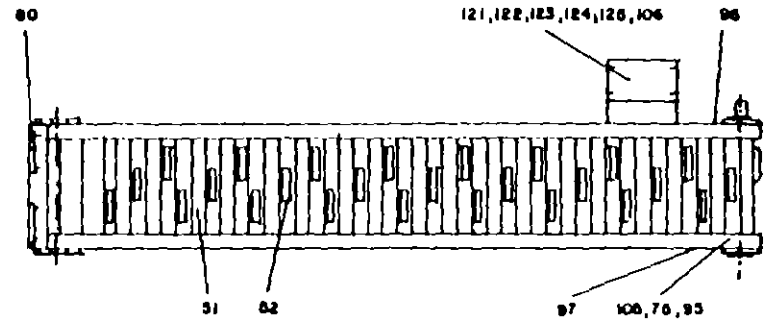
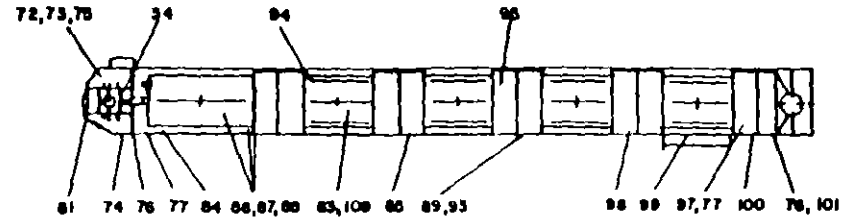
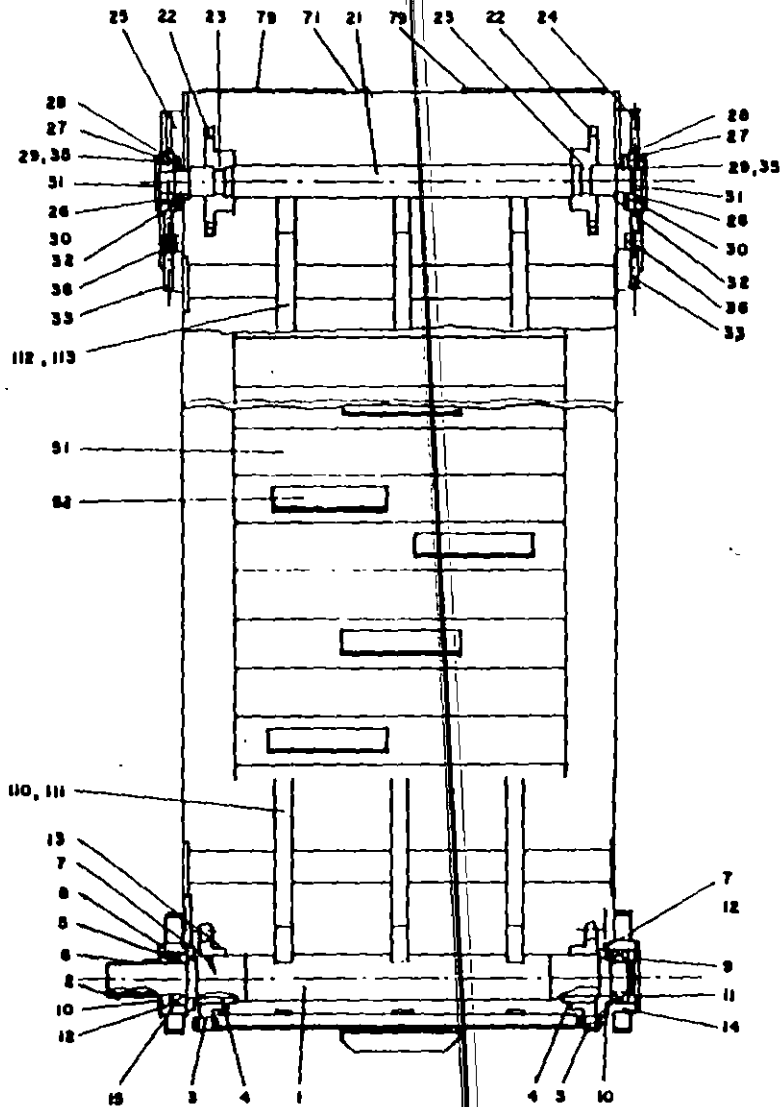
FUNCION :

Transportar los residuos del área de recepción y almacenamiento hasta la banda de selección (5.40 m).

FIG. II.1.3 ESQUEMA GENERAL DEL TRANSPORTADOR DE TABLILLAS



TRANSPORTADOR DE TABLILLAS



CRITERIOS :

- Construcción compacta y rígida, fabricado con placas y perfiles estructurales de acero al carbón de buena calidad.
- Dimensiones y pesos de fácil transportación y manejo, con preparaciones de taller necesarias para su armado en campo con tornillos.
- Soportes al piso con marcos contraventeados.
- Las tablillas de la banda serán metálicas de 3/8" de espesor de acero al carbón con acoplamientos fáciles de montar y desmontar, evitar al máximo el paso de residuos finos.
- Los rodamientos deben diseñarse para lubricarse con grasa, con vida mayor de 6000 hr y con facilidad de lubricación.
- El motor eléctrico para mover el transportador debe calcularse para arrancar con carga.
- El control de la velocidad será con variador de frecuencia.
- Las guías y superficies de apoyo por donde se deslizan las cadenas deben ser lisas y sin obstáculos para evitar esfuerzos súbitos.
- Dosificador fabricado en acero al carbón, cuchilla reguladora de 1/2".
- Los tensores de banda deben considerarse tipo tornillo.
- Interruptor de seguridad de paro de emergencia, con

- cable "tipo hilo hombre muerto", para acondicionamiento del interruptor.
- Colocar estaciones de botones para paro y arranque (ambos lados).
 - La tornillería será galvanizada, alta resistencia con tuercas y arandelas.
 - La parte horizontal del transportador donde se depositarán los residuos debe estar diseñada para recibir cargas severas.
 - La capacidad de la fosa de recepción de residuos en el transportador debe diseñarse para almacenar la cantidad suficiente de residuos para mantener una alimentación continua.
 - Proteger la estructura metálica con un recubrimiento anticorrosivo, de la línea Amercoat.

TRANSPORTADORES DE BANDA DE SELECCION Y RECUPERACION

FUNCION :

Conducir los residuos en tramo de 50 m para que se efectúe la selección y recuperación de subproductos reciclables y/o aprovechables.

CRITERIOS :

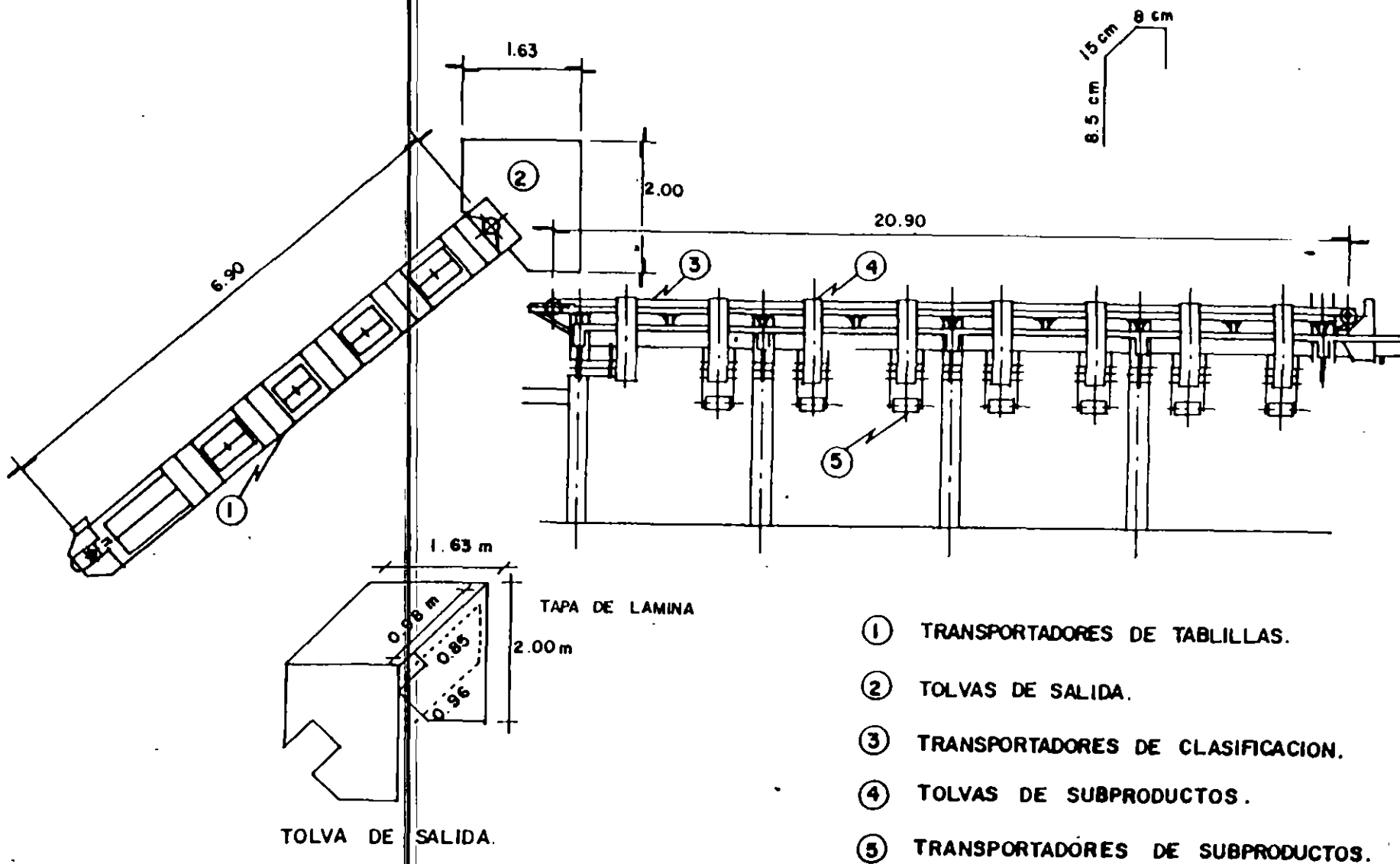
El diseño y fabricación de este tipo de equipos está basado principalmente en el tipo de trabajo que va a desarrollar, las condiciones técnicas ambientales de operación, en los códigos técnicos nacionales e inter-

nacionales aplicables y por otro lado a los lineamientos establecidos por el proceso mismo. A continuación se relacionan una serie de indicadores que deben tomarse en cuenta.

- Construcción compacta, rígida y lo más ligera posible, fabricada con estructuras de acero al carbón.
- Los bastidores deben construirse en secciones menores de 6.00 m longitud, siendo ser canal de acero al carbón tipo liviano y soportes para una altura de 1 m.
- Facilidad de mantenimiento.
- Velocidad variable.
- Considerar un factor de sobrediseño de 5 - 10 %.
- Accionamiento con motorreductor eléctrico.
- Diseñar para temperaturas máximas y mínimas en el área de trabajo.
- Protección frente a sobrecarga y corto circuito.
- Protección contra atascamiento del transportador (perno de corte).
- Considerar un factor de ensuciamiento elevado.
- Los materiales usados deben cumplir con las normas internacionales y nacionales.
- Protección eléctrica contra accidentes de trabajo.
- Paro y arranque a ambos lados del equipo.
- Control eléctrico automático.
- Bandas a prueba de grasas, ácidos, aceites, combustibles y antiestáticas.

TRANSPORTADORES PLANTA INDUSTRIALIZADORA

FALDON TRANSPORTADORES DE CLASIFICACION.



Motores con suficiente potencia para arrancar con carga.

- Los equipos deben ser a prueba de polvos.
- Rodillos prelubricados y sellados de por vida, tipo picking table, C.E.M.A. "D" a 20 grados.
- Variador de frecuencia para motores.
- Las poleas deben tener una guarda metálica como protección.

Faldón lateral a lo largo del transportador fabricado en placa de 3/16", con hule asfáltico.

- Los tensores de banda deberán ser tipo tornillo.
- El recubrimiento del transportador debe ser para protección de la corrosión, grasas, aceites y ácidos diluídos. Recomendándose que sea de línea Amercoat.

TRANSPORTADOR PARA SELECCION Y RECUPERACION ESPECIAL

FUNCION :

Recibe y transporta los subproductos (papel, cartón y plástico) que se seleccionan en bandas horizontales, para una segunda selección y recuperación especial.

CRITERIOS :

El diseño y fabricación de este transportador debe estar basado en la actividad que va a desarrollar, condiciones técnicas ambientales de operación y las que establezca el proceso, a continuación se relacionan con más detalle los criterios básicos que rigen en el

diseño y fabricación.

- Por el tipo de material a manejar se requiere que la estructura sea compacta y rígida.
- Es conveniente que se tome en cuenta un sobrediseño del 5 - 10 %.
- La soportería del transportador (patas) debe ir anclada al piso, por lo que deben considerar que su fabricación contemple la forma de ajustar la altura requerida (holgura de 20 cm).
- El material a manejar es muy voluminoso y tiende a salirse de la banda, por lo tanto tienen que considerar principalmente en los tramos de recepción de las tolvas superiores un faldón de aproximadamente 30 cm.
- Los bastidores deben ser fabricados en secciones ligeras y manejables tanto para la transportación como para el montaje.
- Los bastidores deben tener a lo largo una guarda de lámina ligera para evitar el derrame de polvos.
- Considerar ambos lados del transportador una ~~protección de hule amortiguante.~~
- Los equipos deben fabricarse de tal forma que sea fácil su manejo y un rápido montaje, de preferencia preparado para atornillarse.
- Una parte importante de este equipo son los rodamientos (poleas y rodillos) por lo que deben ser del tipo prelubricados y sellados de por vida.
- Tomando en cuenta la longitud de la banda y la altura

- de montaje es necesario que el sistema tensor de la banda sea del tipo tornillo ajustable.
- La banda debe ser de neopreno, resistente a grasas, ácidos, aceites etc.
 - La unidad motriz debe ser un motor eléctrico seleccionado para arrancar con banda cargada.
 - La transmisión debe ser con cadena.
 - En este tipo de equipos es necesario variar la velocidad de los papeles por lo que deberá considerarse un variador de frecuencia.
 - El control del transportador será eléctrico.
 - Para la protección del personal que labora sobre este equipo, comúnmente a lo largo del transportador se coloca un hilo ("hilo hombre muerto") que acciona un interruptor para paro de emergencia.
 - Los equipos deben tener un recubrimiento anticorrosivo y protección de la línea de contacto.

SEPARADOR MAGNETICO

FUNCION :

Separar la fracción metálica no recuperada manualmente sobre la banda de selección.

CRITERIOS :

El diseño y fabricación de estos equipos principalmente se determinan en base al tipo de material a manejar, la

posición sobre la banda y el sitio de montaje. A continuación se relacionan algunos criterios que pueden tomarse en cuenta por el diseñador y fabricante.

- El equipo debe tener la potencia suficiente para retirar todo material ferroso menor de 10" de tamaño.
- Su colocación debe ser suspendido transversalmente sobre la banda de selección.
- El diseño debe preveer que se realice el mínimo mantenimiento posible.
- Debe ser del tipo autolimpiable.
- El núcleo del imán, debe generar los gaussés suficientes para recoger los residuos metálicos, a una altura de 15 cm.
- Considerar que los residuos sobre la banda tienen un peralte de 10 a 15 cm.
- La estructura para suspender este equipo debe ser ligera y no debe ocupar mucho espacio.
- El control y protección del equipo debe ser eléctrica.

Las partes metálicas deben cubrirse con un material anticorrosivo.

TRANSPORTADOR DE BANDA

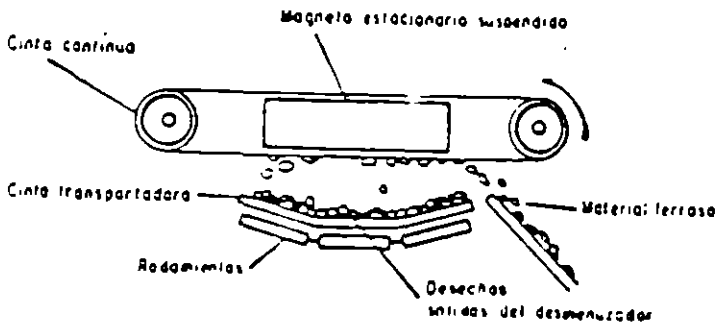
FUNCION:

Movimiento de material de rechazo y materia orgánica para el proceso de composteo.

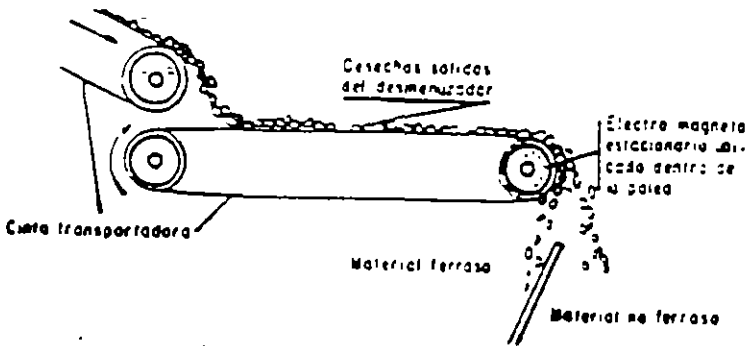
CRITERIOS :

En principio se aplican los mismos criterios señalados para otros transportadores de banda, sólo que en este caso el material a manejar es de diferentes características, la ubicación es a la intemperie y no existe personal para separación, de acuerdo a la actividad que desarrollan, a continuación se relacionan los criterios que se deben tomar para el diseño y fabricación de este equipo.

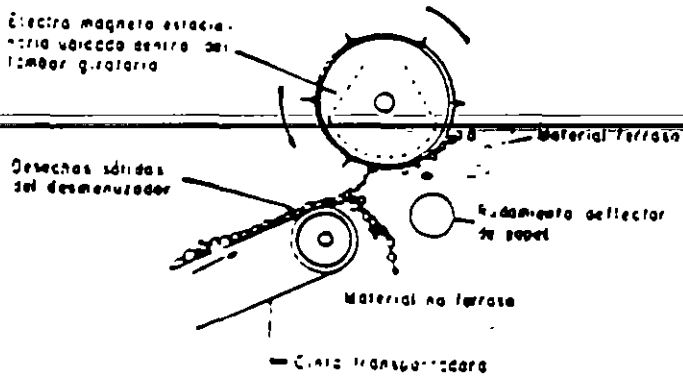
- El montaje de estos equipos es uno a uno, altura mínima de 3.5 m., soportados por una estructura metálica.
- Su fabricación debe considerar que se realice en secciones manejables para carga, montaje y mantenimiento.
- La estructura metálica fabricada en acero al carbón, debe ser lo más resistente y liviana posible.
- El transportador debe ser de tipo artezado con faldones laterales de lámina Cap. No. 10 o similar para evitar derramamiento de material.
- Cubierta de lámina sobre el transportador, para protegerlo del viento y lluvia.
- Protección lateral con hule amorite.
- Rodillos prelubricados y sellados de porcelana, triples montados a 20°.
- Banda con esqueleto de tres caras, resistente a grasas, aceites, ácidos, abrasión y antiestática.



a) MAGNETO SUSPENDIDO



b) POLEA MAGNETICA



c) TAMBOR MAGNETICO SUSPENDIDO

Separadores típicos de magnéticos (Friez Magnéticos).

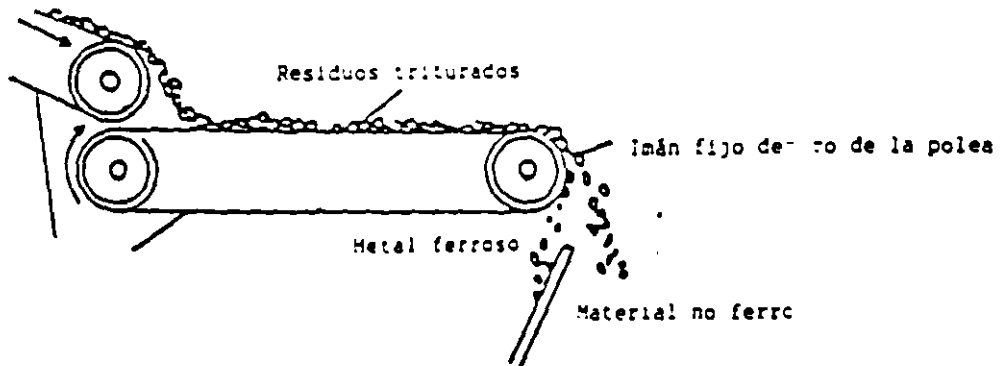
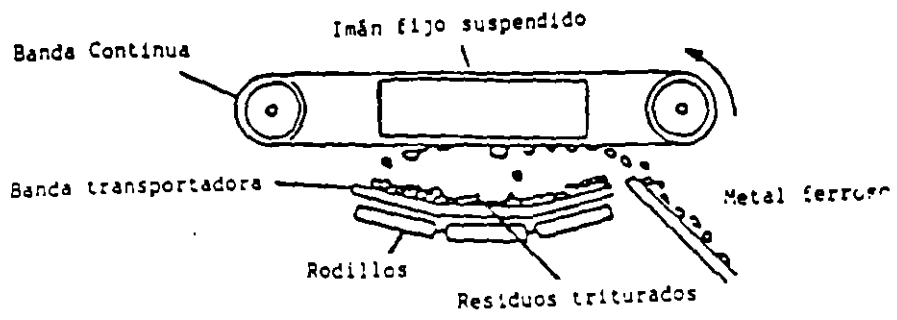


Fig. 10 Separadores magnéticos típicos

- El control de arranque y paro será con estación de botones, asimismo debe considerar un dispositivo para paro de emergencia.
- La unidad motriz se accionará con un motor eléctrico, tipo jaula de ardilla, sellado para operar a la intemperie, a prueba de polvo y lluvia, debe tener la potencia suficiente para mover inicialmente el transportador con carga.
- La transmisión debe hacerse con cadena y estará protegida con una guarda de malla metálica.
- El control de la velocidad se hará con un variador de frecuencia.
- Los empalmes de las bandas serán vulcanizados.
- Las bandas que cargarán los residuos a los vehículos serán de tipo reversible cuyo accionamiento se hará con un inversor de rotación en el motor.
- Los tensores para bandas deben ser tipo tornillo para ajuste.
- Todas las superficies metálicas deben limpiarse con ~~chorro de arena~~ y aplicarse un recubrimiento anti-corrosivo y esmalte alquidálico, efectivos para un ambiente corrosivo y a exposición de aceites y ácidos, recomendándose la línea Amercoat.

CRIBA ROTATORIA

FUNCION:

Separar al máximo la parte orgánica del resto de los residuos que no se separaron en las bandas de selección.

CRITERIOS :

El diseño y fabricación de la criba rotatoria se ha de acuerdo a las características cuantitativas y cualitativas del material a manejar, así como de la eficiencia de cribado que se desee, a continuación se relacionan los principales criterios que se deben considerar para diseñar este equipo.

- El diseño de la criba debe considerar una alimentación continua de residuos durante las 4 hrs. de trabajo. Esta alimentación se hará directamente de las bandas de selección mediante un chute que conducirá los residuos al tambor de cribado, debiendo contener una tolva para la recepción.
- Las perforaciones para el tambor de cribado son de la misma dimensión en toda la superficie.
- La coraza que envuelve el tambor de cribado debe de construirse de preferencia en secciones atornillables, para facilitar el montaje y mantenimiento interior.
- Es necesario que la descarga de residuos que pasaron la malla de cribado se haga mediante dos tolvas que

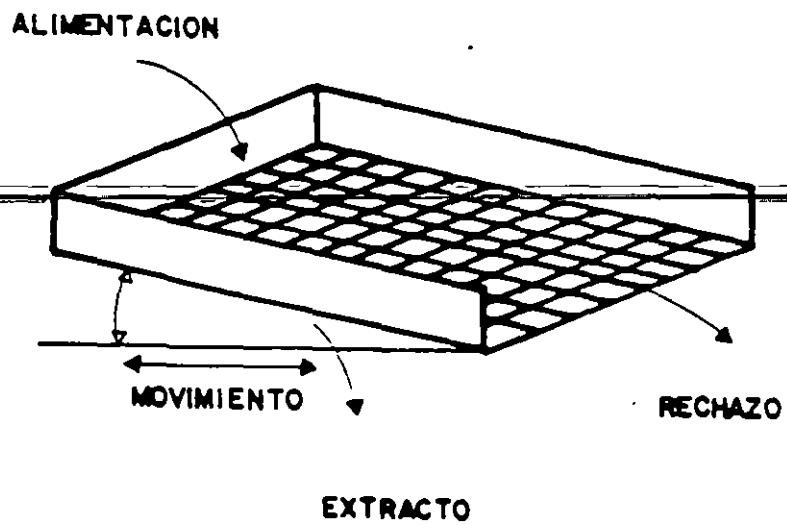
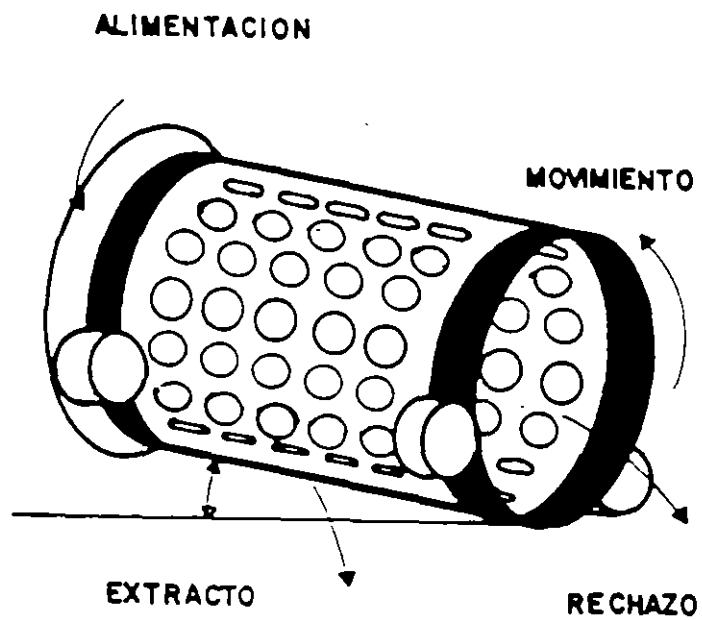


FIGURA I.

Las partículas ligeras suben

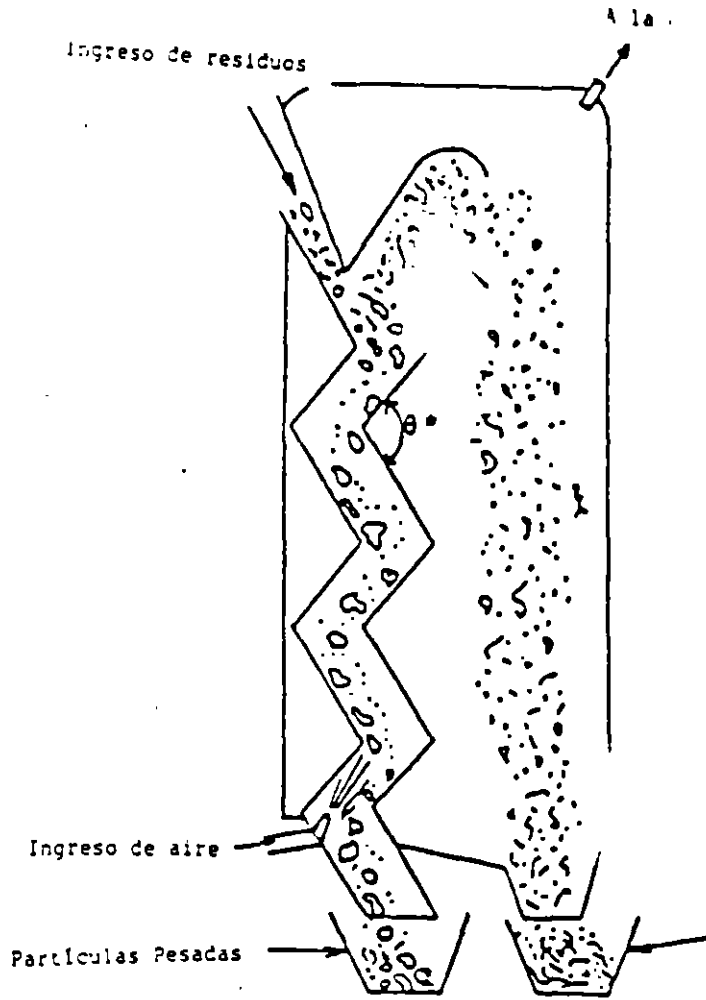
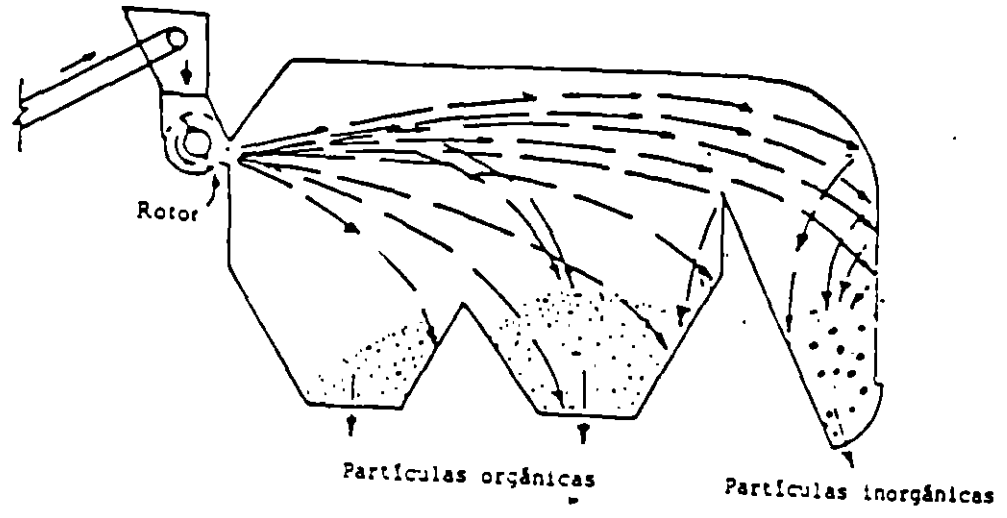
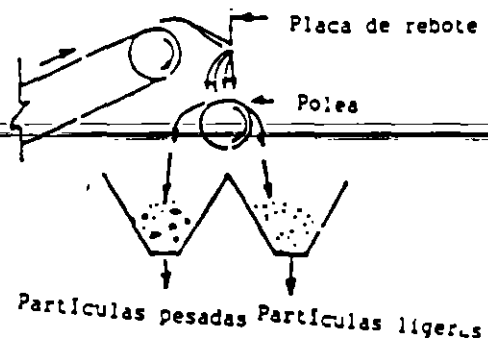


Fig. 11 Separador zig zag

Separador balístico



Separador de rebote



Transportador inclinado

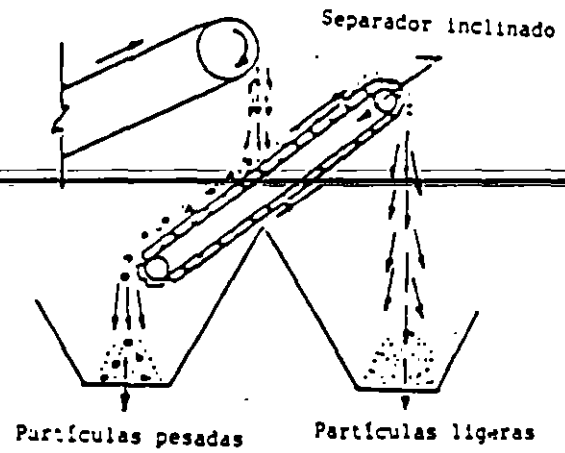
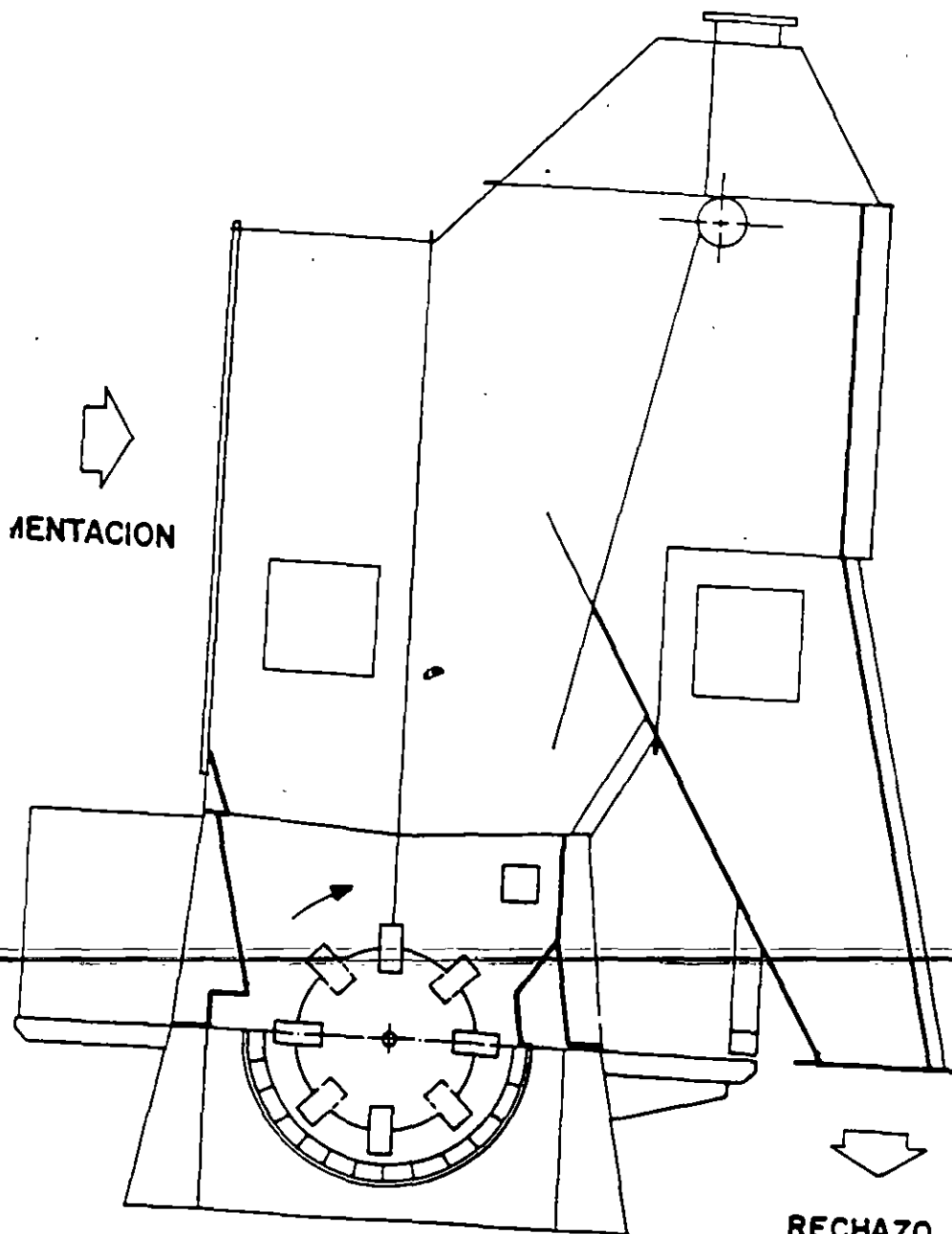


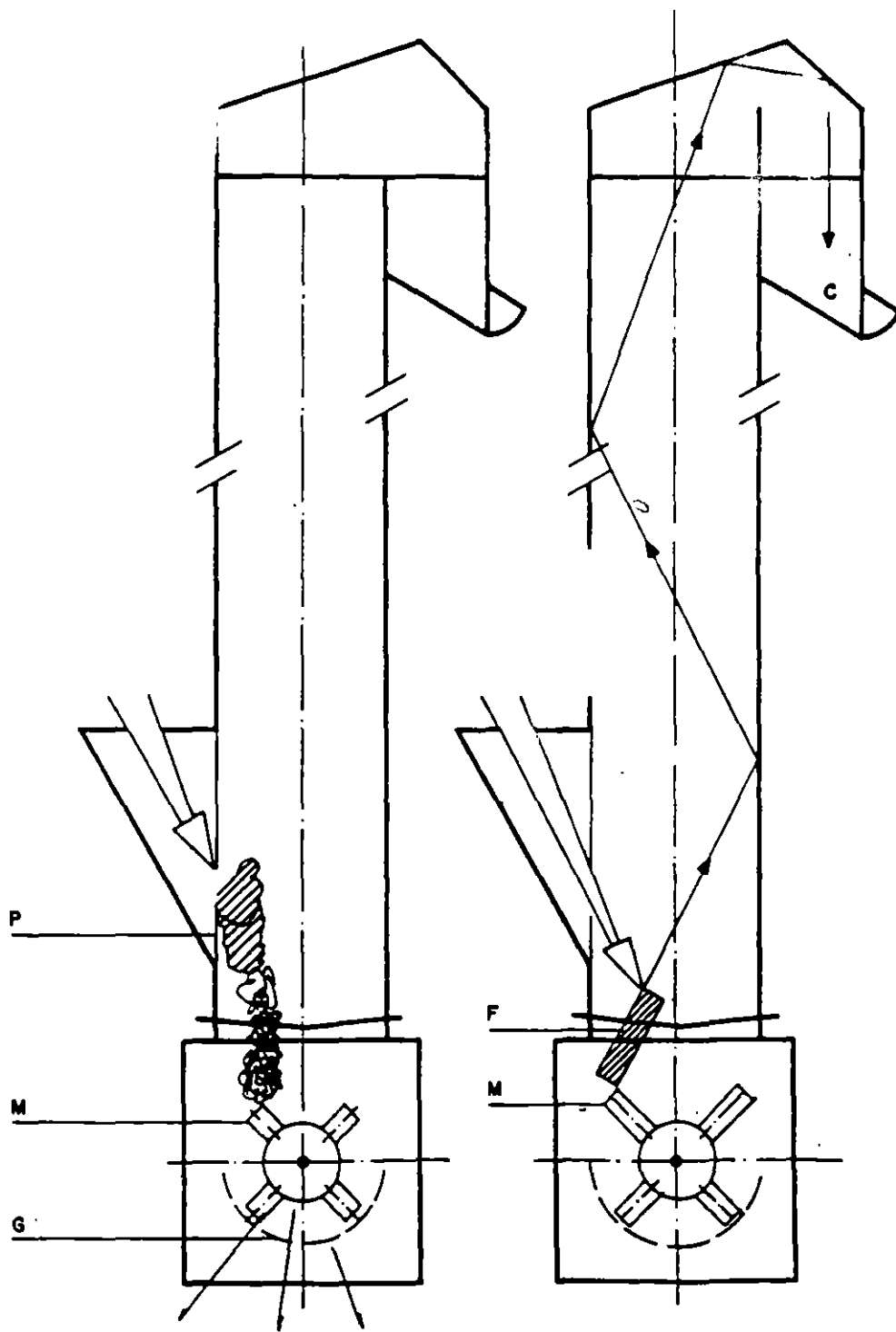
Fig. 12 Separadores inerciales



ALIMENTACION

RECHAZO

PRODUCTOS
TRITURADOS



EVACUACION
DE MATERIALES
NO TRITURADOS

MOLINO GONDARD

CALCULOS

1. Area transversal de la pila = $\frac{\text{base} \times \text{altura}}{2}$

$$\text{Area.} = \frac{5 \times 2}{2} = 5 \text{ m}^2$$

2. Volumen de la pila = Area x longitud

$$\text{Volumen} = 5 \text{ m}^2 \times 100 \text{ m} = 500 \text{ m}^3$$

3. Cantidad de material por pila = Peso volumétrico x volumen

$$\text{Cantidad en material} = 0.45 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^3} \times 500 \text{ m}^3 = 225 \text{ Ton/pila}$$

4. Número de pilas generadas por día =

$$\frac{\text{Cantidad de material a procesar}}{\text{Calidad de material por pila}} = \frac{690.935 \text{ Ton/día}}{225 \text{ Ton/pila}}$$

$$\text{Número de pilas generadas} = 3.070 \text{ pilas/día}$$

5. Cantidad de pilas generadas durante el proceso de fermentación

$$= (\text{Número de pilas generadas por día}) (\text{Tiempo de residencia})$$

$$\text{Cantidad de pilas generadas durante el proceso de fermentación}$$

$$(3 \text{ pilas/día}) (30 \text{ días}) = 90 \text{ pilas}$$

6. ~~Area longitudinal de la pila = b x h~~

$$100 \text{ m} \times 5 \text{ m} = 500 \text{ m}^2/\text{pila}$$

7. Area longitudinal total = Area longitudinal x cantidad de pilas generadas durante el proceso de fermentación

$$\text{Area longitudinal total} = 90 \text{ pilas} \times 500 \frac{\text{m}^2}{\text{pilas}} = 45,000 \text{ m}^2$$

8. Area de separación entre pilas = distancia entre pilas x longitud pila

AREA REQUERIDA PARA COMPOSTAJE.

Etapa de fermentación

A continuación calcularemos el área necesaria para el proceso de compostaje, del balance de materiales, se tiene que se procesarán aproximadamente 690.935 Ton/día. El peso volumétrico estimado para el material a procesar es de 450 Kg/m^3 , el tiempo de fermentación recomendado para este proceso es de 30 días, se colocará el material en pilas con las siguientes dimensiones: 5 m de base, 2 m de alto 100 m de longitud. El tamaño de la pila esta limitado por las dimensiones del volteador mecánico.

DATOS

- | | |
|-------------------------------------|---|
| 1. Cantidad de material a procesar: | 690.935 Ton/día |
| 2. Peso volumétrico del material: | $450 \text{ Kg/m}^3 = 0.45 \text{ Ton/m}^3$ |
| 3. Tiempo de residencia: | 30 días |
| 4. Largo de la pila (Aprox.): | 100 m |
| 5. Ancho de la pila: | 5 m |
| 6. Altura de la pila: | 2 m |

Area de separación entre pilas = $1.5 \text{ m} \times 100 \text{ m} = 150 \text{ m}^2$

9. Area total de separación = Area de separación entre pilas x
Cantidad de pilas generadas du-
rante el proceso de fermentación

Area total de separación = $150 \text{ m}^2/\text{pila} \times 90 \text{ pilas} = 13,500 \text{ m}^2$

10. Area total necesaria para la etapa de fermentación =

Area longitudinal total + Area de separación total

Area total = $45,000 \text{ m}^2 + 13,500 \text{ m}^2$

Area total = $58,500 \text{ m}^2$

De lo anterior, tenemos que se necesitarán $58,500 \text{ m}^2$ de área disponible para la etapa de fermentación, la cual durará 30 días, después de éste período se podrán recoger las pilas que hayan completado su fermentación y se llevarán a la etapa de maduración.

AREA NECESARIA PARA LA ETAPA DE MADURACION

DATOS :

- ~~1. Cantidad a procesar : 483.654 Ton/día~~
2. Tiempo de residencia : 2 meses = 60 días
3. Peso volumétrico del material a procesar : $500 \text{ Kg/m}^3 = 0.5 \text{ Ton/m}^3$
4. Dimensiones de la pila : 8 m de largo x 4 m de alto

Considerando una superficie cónica, tenemos que el diámetro sería de 8 m. de donde podemos sacar el área superficial de ésta pila

45,238.50 m² (etapa de maduración)

Area de compostaje : 58,500 + 45,238.50 = 103,738.5 m²

Area de cribado : 600 m²

Area adicional : 17,200 m²

Area total : 121,538.5 m² ≈ 12.1 Ha.

El producto que se obtenga después de la etapa de maduración, es una composta de calidad media, la cual se puede utilizar como material de cobertura en rellenos sanitarios.

En resumen tenemos que la etapa de fermentación necesita 58,500 m² de área disponible, la etapa de maduración 45,238.5 m²; el área de acondicionamiento se ubicará en una superficie de 600 m² y finalmente un área adicional de 17,200 m² para almacenamiento de los vehículos y productos.

De lo anterior resulta un área global para el proceso de compostaje de 121,538.5 m² o aproximadamente 12.1 Ha.

CALCULOS

1. Area transversal de la pila = $\frac{\text{base} \times \text{altura}}{2}$

$$\text{Area} = \frac{5 \times 2}{2} = 5 \text{ m}^2$$

2. Volumen de la pila = Area x longitud

$$\text{Volumen} = 5 \text{ m}^2 \times 100 \text{ m} = 500 \text{ m}^3$$

3. Cantidad de material por pila = Peso volumétrico x volumen

$$\text{Cantidad en material} = 0.45 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^3} \times 500 \text{ m}^3 = 225 \text{ Ton/pila}$$

4. Número de pilas generadas por día =

$$\frac{\text{Cantidad de material a procesar} \quad 690.935 \text{ Ton/día}}{\text{Cantidad de material por pila} \quad 225 \text{ Ton/pila}} =$$

$$\text{Número de pilas generadas} = 3.070 \text{ pilas/día}$$

5. Cantidad de pilas generadas durante el proceso de fermentación

$$= (\text{Número de pilas generadas por día}) (\text{Tiempo de residencia})$$

$$\text{Cantidad de pilas generadas durante el proceso de fermentación}$$

$$(3 \text{ pilas/día}) (30 \text{ días}) = 90 \text{ pilas}$$

~~6. Área longitudinal de la pila = b x h~~

$$100 \text{ m} \times 5 \text{ m} = 500 \text{ m}^2/\text{pila}$$

7. Área longitudinal total = Área longitudinal x cantidad de pilas generadas durante el proceso de fermentación

$$\text{Área longitudinal total} = 90 \text{ pilas} \times 500 \frac{\text{m}^2}{\text{pilas}} = 45,000 \text{ m}^2$$

8. Área de separación entre pilas = distancia entre pilas x longitud pila

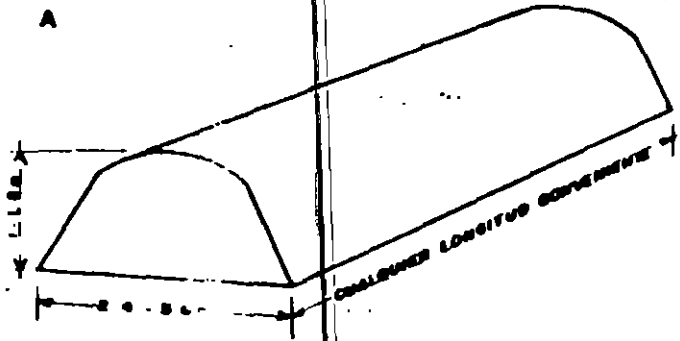
AREA REQUERIDA PARA COMPOSTAJE.

Etapa de fermentación

A continuación calcularemos el área necesaria para el proceso de compostaje, el balance de materiales, se tiene que se procesarán aproximadamente 690.935 Ton/día. El peso volumétrico estimado para el material a procesar es de 450 Kg/m^3 , el tiempo de fermentación recomendado para este proceso es de 30 días, se colocará el material en pilas con las siguientes dimensiones: 5 m de base, 2 m de alto 100 m de longitud. El tamaño de la pila esta limitado por las dimensiones del volteador mecánico.

DATOS

1. Cantidad de material a procesar: 690.935 Ton/día
2. Peso volumétrico del material: $450 \text{ Kg/m}^3 = 0.45 \text{ Ton/m}^3$
3. Tiempo de residencia: 30 días
4. Largo de la pila (Aprox.): 100 m
5. Ancho de la pila: 5 m
6. Altura de la pila: 2 m



A HILERA CON VOLTEOS PARA LA AIREACION.

B. HILERA CON ARMAZON DE CANALES (MADERA, BAMBU, RATAN, ETC.) PARA LA AIREACION POR EL INTERIOR

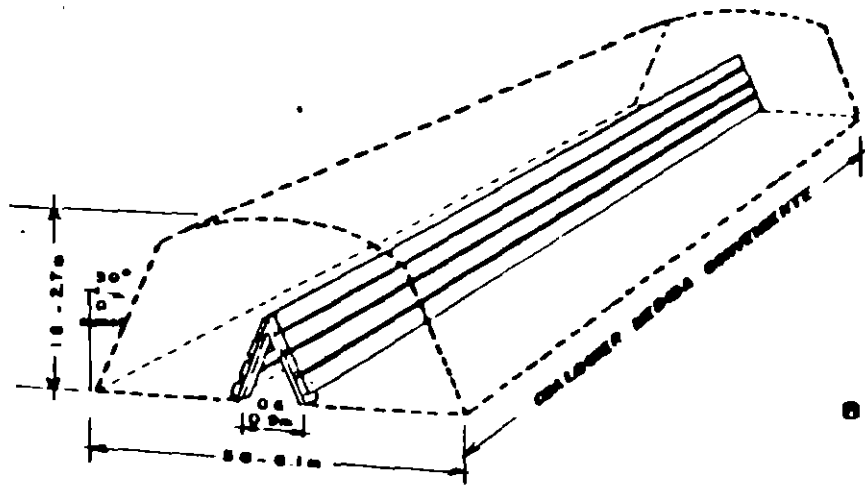
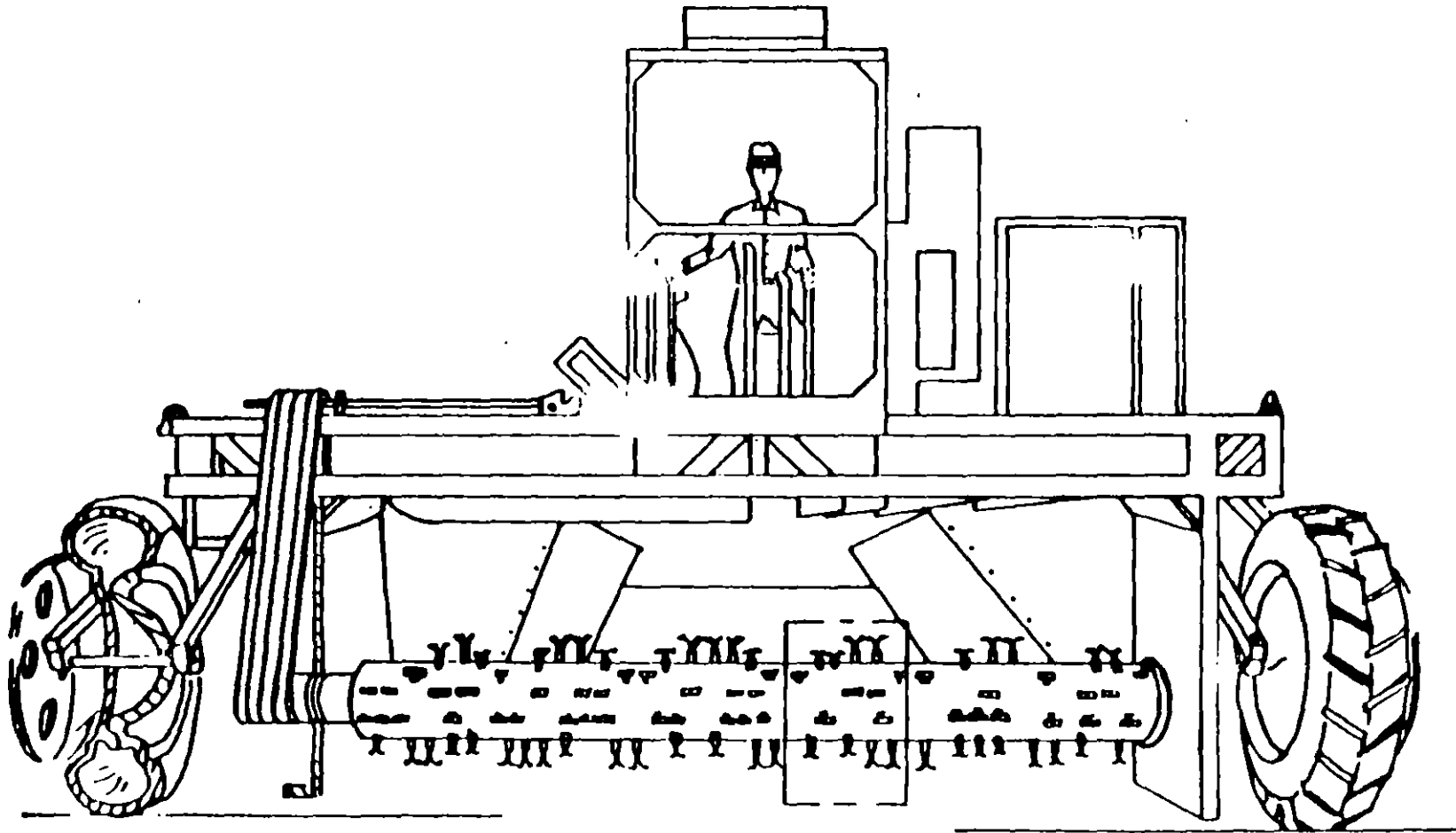


FIG. II.2.3 MAQUINA VOLTEADORA PARA COMPOSTA.





**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**DIPLOMADO DE ACTUALIZACION EN
SISTEMAS DE CONTROL DE RESIDUOS SOLIDOS Y PELIGROSOS**
Cursos Abiertos

**MODULO III : "PROCESOS DE TRATAMIENTO PARA EL CONTROL DE RESIDUOS
SOLIDOS MUNICIPALES Y PELIGROSOS"**

TEMA :

**PROCESOS BIOLOGICOS PARA EL TRATAMIENTO DE RESIDUOS SOLIDOS
MUNICIPALES**

Presenta :

ING. VICTOR FLORES VALENZUELA

ING. MARGARITA GUTIERREZ ROJAS

PROCESOS BIOLÓGICOS PARA EL TRATAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES*

por

Mariano Gutiérrez Rojas y Ernesto Favela Torres

Departamento de Biotecnología, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa, Av. Michoacán y Purísima, México, D.F. C.P. 09340, Tel. 724.49.99; FAX: 724.47.12, MÉXICO

CONTENIDO	página
1. Introducción. El problema y algunas definiciones	2
2. Procesos biológicos para el tratamiento de residuos sólidos municipales.	
2.1 Tratamiento aerobio (Composteo)	5
2.2 Digestión anaerobia	6
2.3 Conversión a proteínas	6
2.4 Fermentación	6
3. Principios básicos de la bioconversión	7
4. Control del proceso de bioconversión	9
4.1 Aspectos prácticos	9
4.1 Aspectos cuantitativos	10
5. Referencias bibliográficas	12

Julio 1995

*Notas para el curso: Procesos de tratamiento para el control de residuos sólidos municipales y peligrosos (Módulo III del DIPLOMADO: Sistemas de Control de Residuos Sólidos y Peligrosos). Facultad de Ingeniería-UNAM 10-14 de julio 1995, Palacio de Minería México, D.F.

1. Introducción. Problema y algunas definiciones.

La acumulación de residuos orgánicos de origen municipal en las grandes urbes constituye uno de los problemas más severos y de difícil solución. En la ciudad de México las cantidades de materia orgánica que deben tratarse superan las 4000 toneladas cada día y la capacidad instalada para estos fines es prácticamente nula. Los problemas sanitarios y el franco deterioro del ambiente que esto implica justifican la búsqueda de soluciones drásticas y complejas que cada día resultan inaplazables.

El término **RESIDUOS SÓLIDOS** comprende a todos los residuos originados en cualquier actividad humana o animal que, bajo condiciones normales, se presentan en fase sólida y que generalmente se desechan por indeseables y/o por que no tienen un uso inmediato. Este término, como se explica en estas notas, contempla a toda aquella masa heterogénea proveniente de cualquier actividad industrial, incluyendo a materiales homogéneos originados por una actividad industrial bien definida.

Las actividades asociadas al manejo de residuos sólidos desde la generación hasta la disposición final, pueden agruparse en seis elementos funcionales (ver figura 1). La identificación de cada elemento funcional permitirá, en la mayoría de los casos, identificar los aspectos fundamentales y las relaciones que guardan entre sí cada uno de los elementos y poder desarrollar, siempre que esto sea posible, un conjunto de relaciones cuantificables que permitan hacer comparaciones desde el punto de vista de la ingeniería y de los costos. Los elementos funcionales son:

Generación de residuos. Comprende aquellas actividades en las que los materiales se identifican como sin valor y de desecho. Desde un punto de vista económico, éste es el mejor lugar para buscar materiales recuperables.

Almacenamiento. Se refiere a aquellas actividades relacionadas con el manejo *in situ* de los residuos sólidos en o cerca del punto en donde se generaron. Este elemento funcional es muy importante por que implica conceptos de salud pública, contaminación, economía y hasta estética.

Separación de residuos. En esta etapa los residuos sólidos se clasifican para su transferencia y/o transporte o bien para rescatar algún valor de ellos o hasta procesarse.

Transferencia y transporte. Este elemento funcional implica dos etapas: (i) la transferencia de residuos de confinamientos temporales o vehículos pequeños a otros de mayor capacidad, y (ii) el transporte subsecuente, usualmente largas distancias hasta los sitios de disposición final.

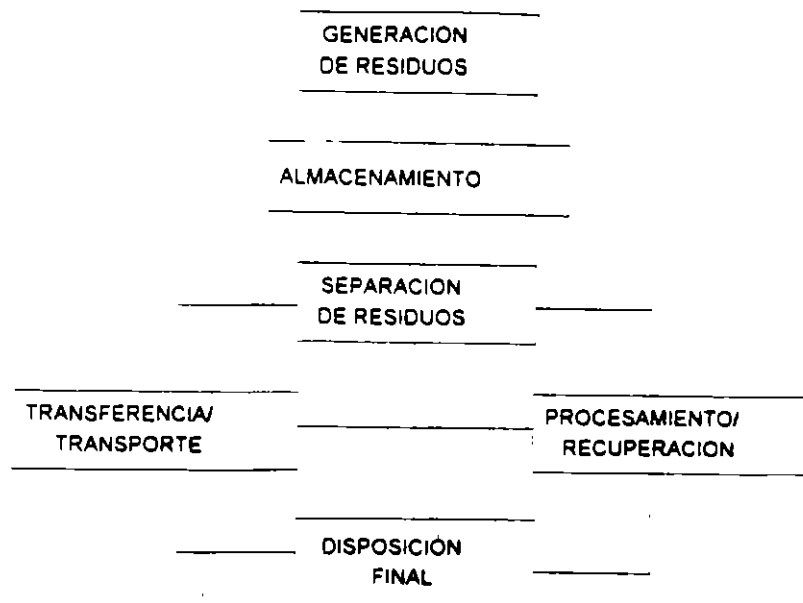


Figura 1. Elementos funcionales del manejo de residuos sólidos.

Procesamiento y recuperación. En este elemento funcional se incluyen todas las técnicas, equipos e instalaciones necesarias para mejorar la eficiencia de los otros elementos funcionales y la recuperación de aquellos materiales de reuso, materiales transformados de un mayor valor agregado o energía obtenida de los residuos sólidos.

Disposición final. Entendido como el destino final de los residuos, este elemento funcional comprende: aquellos sólidos o semisólidos, residuos de incineración, composta, o cualquier otra sustancia colectada o transportada directamente a rellenos sanitarios o a confinamientos industriales.

Uno de los elementos funcionales más costosos es la separación de residuos. En 1990 en Estados Unidos el 50 % del costo total anual del manejo de sólidos urbanos se derivó de este elemento (ver Tabla I).

Tabla I. Estimación de costos de la separación de residuos y disposición final

ELEMENTO FUNCIONAL	ton/año (millones)	Costo unitario \$ USD/ton	Costo total (\$ USD millones)
SEPARACIÓN DE RESIDUOS	190	50	9.500
RECIRCULACIÓN DE RESIDUOS	24	100	2.400
DISPOSICIÓN FINAL	166	40	6.640
TOTAL	166		18.540

Una clasificación de los residuos sólidos no es sencilla, sin embargo, desde un punto de vista, práctico se puede decir que se conocen dos tipos de residuos sólidos: (i) los residuos convencionales y (ii) los residuos peligrosos. Los primeros son casi siempre de origen urbano y agrícola, mientras que los segundos se originan en ramo industrial. Son residuos peligrosos todos aquellos que presentan algún peligro sustancial inmediatamente o después de un cierto tiempo a los seres vivos y que poseen al menos una de las siguientes características: a. inflamable, b. corrosivo, c. reactivo o d. tóxico (ver Tabla II).

Tabla II. Clasificación de residuos sólidos

RESIDUOS CONVENCIONALES	<ol style="list-style-type: none"> 1. Alimentarios: De origen animal, vegetal, etc. (biodegradables) 2. Sólidos combustibles y no combustibles: Plástico, papel, vidrio, metal 3. Cenizas y remanentes de combustión. 4. Demolición y construcción 5. Especiales. 6. Originados en las plantas de tratamiento de residuos. 7. Agrícola.
RESIDUOS TÓXICOS	<ol style="list-style-type: none"> 1. Radioactivos. 2. Químicos. 3. Biológicos. 4. Inflamables. 5. Explosivos.

Entre las alternativas de tratamiento y manejo de residuos sólidos que se han llevado a la práctica, están la incineración, el enterramiento y el composteo. En México sólo se aplica el enterramiento ya que la incineración incide excesivamente en la contaminación de la atmósfera y los problemas técnicos del composteo (fundamentalmente el control del proceso y la calidad del producto final) no se han superado satisfactoriamente. Es importante mencionar que la mejor alternativa de solución es aquella en la que se disminuyen o eliminan los posibles contaminantes, en otras palabras:

EL TRATAMIENTO MÁS BARATO DE RESIDUOS ES AQUEL QUE NO SE TIENE QUE REALIZAR.

2. Procesos biológicos para el tratamiento de residuos sólidos municipales.

Los procesos de transformación biológica de los residuos sólidos comprenden aquellos relacionados con la obtención de productos tales como metano, composta, alcohol y algunos ácidos orgánicos. Es decir, compuestos de un mayor valor agregado en donde se aprovecha la actividad de seres vivos para la transformación. En la Tabla III, se presenta un resumen de las alternativas biológicas conocidas.

TABLA III. Procesos Biológicos para la transformación de residuos sólidos

PROCESO BIOLÓGICO	PRODUCTO FINAL	PRETRATAMIENTO REQUERIDO	COMENTARIOS
COMPOSTEO	Material inerte: Humus	Trituración y separación neumática	Mercado incipiente del producto final. Actualmente en escala comercial
DIGESTIÓN ANAEROBIA	Gas Metano	Trituración y separación neumática	Tecnología en escala piloto.
CONVERSIÓN A PROTEÍNAS	Proteínas, Alcohol	Trituración y separación neumática	Tecnología en escala piloto.
FERMENTACIÓN	Glucosa, furfural	Trituración y separación neumática	Se utiliza acoplado al proceso de hidrólisis

2.1 Tratamiento aerobio (Composteo)

El composteo es un proceso de transformación aerobia en fase sólida en el que se aprovecha el fenómeno de "autocalentamiento" (Hogan, et al 1989) de las diferentes poblaciones microbianas nativas que se suceden para la biodegradación total o parcial de la materia orgánica. El principal objetivo del composteo es el de estabilizar y secar los residuos hasta transformarlos en materiales aceptables desde un punto de vista ambiental y sanitario. Entre las aplicaciones de los residuos tratados se distinguen:

a) las tradicionales i.e. la formación de suelos estables y b) las no convencionales tales como la obtención de sustratos para la producción de hongos comestibles (Derikx et al 1990), la producción de biofertilizantes y la biorremediación de suelos contaminados y/o agotados, entre otros.

El proceso incluye operaciones tales como: el pesaje de residuos, transporte, clasificación, trituración, fermentación, calibración y la disposición final de la composta. Los residuos triturados y seleccionados se disponen en áreas especiales, al abrigo de la lluvia, en donde se realiza la transformación aerobia o composteo propiamente dicho.

2.2 Digestión anaerobia.

La digestión anaerobia es un proceso de transformación en el que se seleccionan poblaciones de bacterias especializadas que estabilizan los residuos. El objetivo final de la digestión anaerobia es llevar a los residuos sólidos hasta metano y bióxido de carbono. Esta transformación la realizan tres grupos de bacterias en tres etapas distintas: un grupo es el responsable de realizar la hidrólisis de los polímeros orgánicos contenidos en los residuos, la segunda etapa la realizan bacterias que transforman hasta ácidos orgánicos y, finalmente, otras bacterias producen metano y bióxido de carbono.

2.3 Conversión a proteínas.

En este proceso se aprovechan los azúcares solubles contenidos en los residuos sólidos, para que microorganismos, generalmente inoculados de manera exógena, se desarrollan para modificar la composición del medio en el que crecen, para favorecer el enriquecimiento en nitrógeno en forma de proteínas. El objetivo del enriquecimiento en proteínas es generar un producto de un alto valor agregado que pudiera ser útil en la alimentación animal. El proceso consiste en someter a algún pretratamiento el desecho para hacerlo más fácilmente accesible a los microorganismos, seguido de una inoculación masiva de cultivos de microorganismos. Después de un proceso controlado de incubación (entre 3 y 5 días) los nutrientes se agotan y el proceso finaliza. En este caso la separación de las proteínas, dependiendo de la aplicación final, generalmente no es necesaria.

2.4 Fermentación

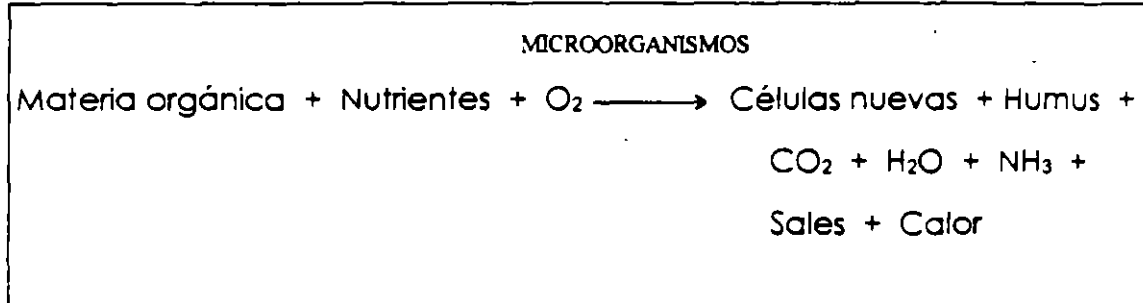
Los residuos sólidos que son susceptibles de fermentarse son aquellos, como en el caso anterior, que contienen cantidades importantes de azúcares reductores solubles. Los

microorganismos que se utilizan para una fermentación son específicos, por ejemplo para la formación de un producto preestablecido. En este caso el principal objetivo es generar productos de un mayor valor agregado. El proceso es básicamente el mismo que se describe en el punto anterior, la diferencia primordial radica en que el producto final que se genera, en la mayoría de los casos, requiere de una separación y eventualmente de una purificación.

En tanto que el proceso de producción de composta se reconoce como una de las alternativas de mayor viabilidad técnica por su aplicación y operación comprobada a niveles industriales, a continuación se detallan los aspectos técnicos más relevantes del mismo.

3. Principios básicos del composteo.

En el composteo se aprovecha el nivel de reducción de los compuestos orgánicos a tratar y se llevan, vía microbiana, hasta su más alto nivel de oxidación. En este caso se emplean todo género de desechos orgánicos biodegradables para convertirlos en humus. De manera esquemática el proceso se puede describir como una reacción química:



En la Figura 2 se presenta un esquema que contiene los fundamentos de este proceso, en donde destaca la complejidad del mismo.

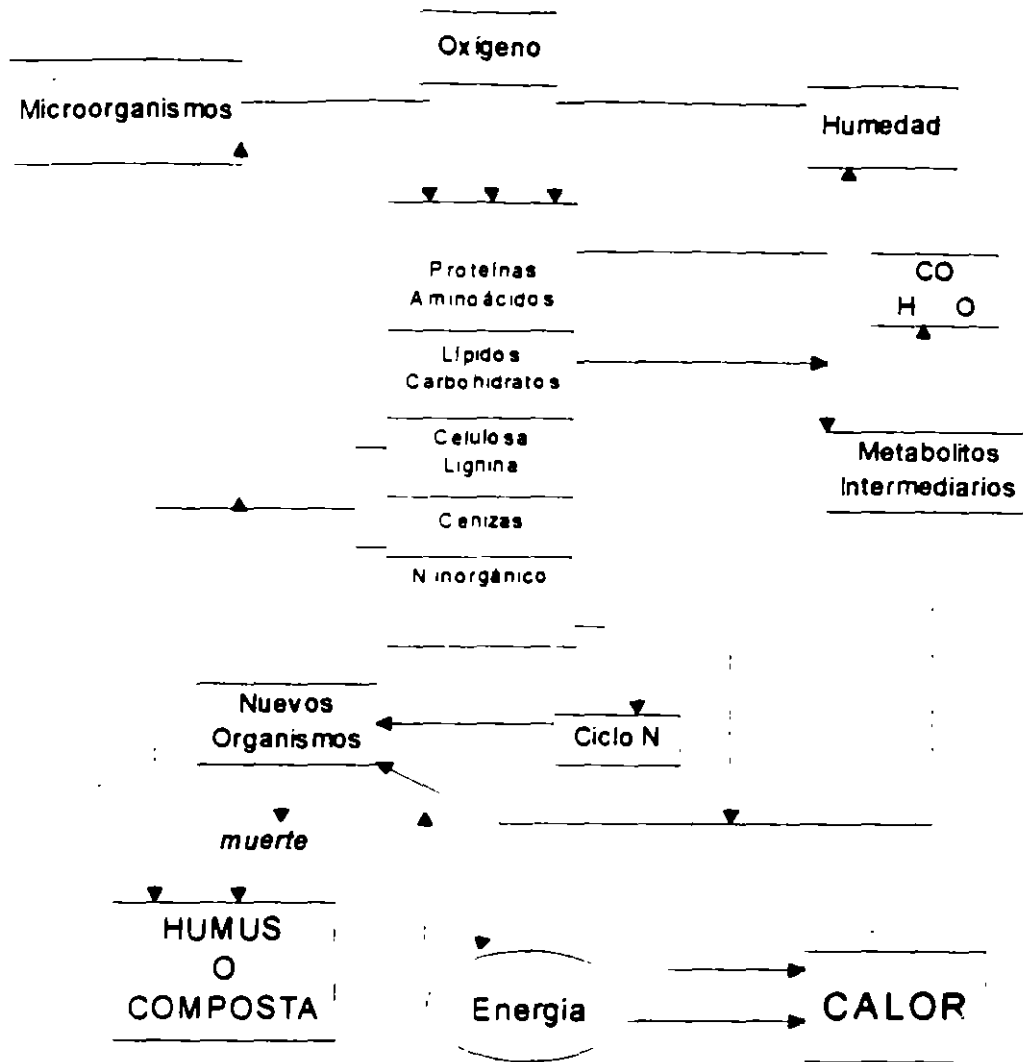


Figura 2. Principios fundamentales del proceso de composteo

Durante el proceso se distinguen varias etapas, ver Figura 3, en el que se desarrollan poblaciones microbianas nativas de manera sucesiva de acuerdo a las condiciones ambientales imperantes y a la disponibilidad de nutrientes. Durante este proceso la temperatura se eleva hasta más de 60°C y el pH evoluciona desde 4-5 hasta 8-8.5, permitiendo que poblaciones mesofílicas sean desplazadas por las termofílicas y estas últimas sean desplazadas por actinomicetos y otros degradadores de celulosa y lignina.

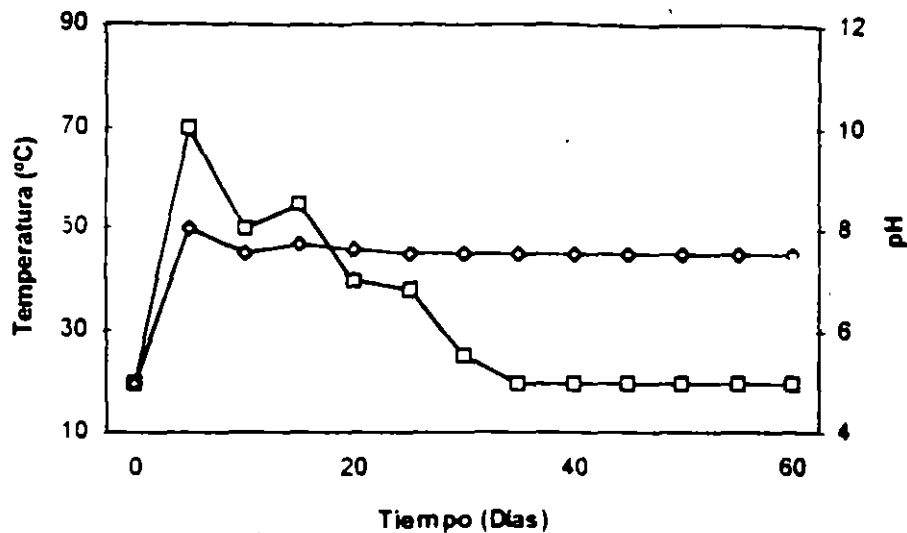


Figura 3. Evolución de la temperatura y pH durante el proceso de composteo.

Una vez que el producto final ha cumplido con las normas de calidad (calibración de la composta), puede utilizarse como abono orgánico directamente al suelo. Sin embargo, se vislumbran múltiples aplicaciones para la recuperación de las inversiones que se requieren con esta alternativa. Entre las aplicaciones potenciales se pueden mencionar: la producción de hongos comestibles y la producción de reguladores del crecimiento de plantas.

4. Control del proceso de bioconversión

Entre los factores que determinan el éxito del proceso de composteo destacan: a) la cantidad y calidad de las diferentes poblaciones microbianas, b) la cantidad y el origen del calor metabólico que se genera y c) la calidad del producto final del composteo. El control del proceso requiere de la atención especial de variables tales como la humedad del material en proceso, la temperatura, el pH y la composición de los materiales.

4.1 Aspectos prácticos

A continuación se enlistan las principales ventajas del composteo:

1. Degrada completamente los residuos orgánicos de origen doméstico
2. Destruye los organismos patógenos contenidos en los residuos.
3. Produce un mejorador de suelos con un cierto valor agregado.
4. Potencialmente puede generar productos de un alto valor agregado.

5. Reduce a un mínimo la cantidad de residuos sólidos para su disposición final.

Entre las desventajas del composteo, se pueden mencionar las siguientes:

1. La producción de compuestos de alto valor agregado se encuentra en una etapa de desarrollo.
2. Requiere de altas inversiones que deben justificarse plenamente.
3. Dificultades técnicas por el carácter heterogéneo de la masa a fermentar.
4. El mercado de la composta, como tal, no se ha desarrollado en México.
5. El proceso de demanda de superficies de terreno relativamente grandes.

El problema de la aplicación industrial y comercial del composteo, en la práctica, se debe al actual desconocimiento de los fenómenos tanto físicos como microbiológicos y a la cuantificación de las variables implicadas (Finger, et al. 1976), trayendo como consecuencia tiempos de composteo prolongados y una pobre calidad del producto final. Es decir es indispensable cuantificar las variables

4.2 Aspectos cuantitativos

Uno de las principales variables a cuantificar es el VOLUMEN que ocupará un determinado tonelaje de material a compostear. En la Tabla IV se muestran valores típicos de la densidad y la humedad de diferentes residuos sólidos.

TABLA IV. Propiedades físicas de algunos residuos sólidos: residenciales, comerciales e industriales.

RESIDUO	Densidad, kg m ⁻³ Rango	Densidad, kg m ⁻³ Típico	Humedad, % masa Rango	Humedad, % masa Típico
Residencial				
alimentos	130-480	100	50-80	70
plásticos	40-130	65	1-4	2
vidrio	160-480	195	1-4	2
latas de Alimentos	50-160	90	2-4	3
Comercial				
alimentos	475-950	535	50-85	75
madera	110-160	110	10-30	20
Industrial				
lodos químicos	800-1100	1000	75-99	80
cenizas	700-900	800	2-10	4
aceites	100-350	290	10-40	15
textiles	100-	180	6-15	10
Agrícolas				
frutos	250-	360	60-90	75
estiércol	900-	1000	75-96	94
vegetales	200-700	360	50-80	65

Estas propiedades físicas cambian conforme el proceso evoluciona, por lo que es necesario medir experimentalmente estas variables. Para evaluar en el laboratorio estas variables es indispensable contar con una técnica de muestreo que proporcione muestras representativas del total en proceso. Esto se logra aplicando técnicas estadísticas disponibles en la literatura especializada (ver. por ejemplo Hotinik y Keener, 1993).

Determinación y control de la humedad. Para medir la humedad se utiliza el método gravimétrico en el que una muestra se deshidrata hasta sequedad y la diferencia con el peso de la muestra húmeda, será el agua contenida en la muestra original. Este valor se expresa como un porcentaje del peso inicial. El contenido de humedad debe conservarse siempre entre 45 y 65 %.

Las estrategias de control de humedad dependen mucho del tipo de composteador que se utilice: en el caso de un reactor cerrado en donde se incorpora una corriente de aire húmedo, lo más recomendable es SATURAR el aire que se alimenta; en el caso de una pila la humedad se controla asperjando agua directamente.

Medición y control de la temperatura. Esta variable debe determinarse en diferentes puntos del lecho a compostear y, recomendable, durante todo el proceso ya que la evolución de la temperatura es un reflejo claro del desarrollo del proceso (ver Figura 3). Preferentemente la temperatura se mide con sensores electrónicos (termopares), si esto no es posible un buen termómetro de acero con carátula es suficiente.

El control de la temperatura se puede realizar incorporando aire seco o con movimiento (volteo) de las pilas. Aunque la temperatura del material debe ser alta durante las etapas iniciales (hasta 55-65°C), esta no debe mantenerse alta por períodos prolongados ya que esto favorece la producción de amoníaco.

Medición y control del pH. ~~Esta variable se mide con una suspensión acuosa de la muestra (1 g en 10 ml de agua),~~ utilizando un potenciómetro previamente calibrado. El pH del material a compostear debe mantenerse en valores ligeramente alcalinos (7.5-8.5) y esto se logra con la incorporación de sulfato de calcio o alguna otra sal alcalina, si es que la tendencia del medio es hacia la acidificación.

Determinación de la relación carbono nitrógeno. Esta medición se realiza en dos etapas:

(i) Llevando una muestra seca hasta su destrucción térmica total (aquí toda la materia orgánica se volatiliza) a temperaturas elevadas (400-500°C) y la fracción que no se

pierde son las cenizas de las sales inorgánicas contenidas en el material en proceso. Se considera que un 40 % de la materia orgánica volatilizada es carbono.

(ii) Digeriendo una muestra equivalente a la anterior por el método de Kjeldhal, que consiste en determinar, indirectamente, el nitrógeno inorgánico y orgánico que contiene la muestra.

La relación entre el carbono y el nitrógeno cuantificado produce un valor conocido como C/N. El C/N al principio del proceso debe ser muy elevado (mayor a 30, en ocasiones hasta 300) al final del proceso el C/N debe ser de alrededor de 20.

Maduración de la composta. Una vez que el proceso ha finalizado (el valor de C/N es cercano a 20, la temperatura y el pH ya no cambian) se considera que la composta es estable.

4. Referencias Bibliográficas.

- Derikx, P.J.L., Huub, Camp, J.M., van der Drift, C., van Griensven J.L.D. and Vogels, D.G. 1990. Biomass and biological activity during the production of compost used as a substrate in mushroom cultivation. *Appl. Environ. Microbiol.* 56: 3029-3034.
- Finger, S.M., Hatch, R.T. and Regan, T.M. 1976. Aerobic microbial growth in semisolid matrices: heat and mass transfer limitation. *Biotechnol. Bioeng.* 18: 1193-1218.
- Hogan, J.A., Miller, F.C. and Finstein, M.S. 1989. Physical modeling of the composting ecosystem. *Appl. Environ. Microbiol.* 55: 1080-1087.
- Hoitink, H. A. J. and Keener, J. A. 1993. *Science and Engineering of Composting. An Environmental, Microbiological and utilization aspects.* The Ohio State Univ. Press.
- Perry, R. H. and D. Green. 1984. *Perry's Chemical Engineerings' Handbok.* Sixth Ed. Cap. 26. Mc Graw-Hill Ed., New York.
- Tchobanoglous, G., H. Theisen and S. Vigil. 1993. *Integrated Solid Wastes Management: Engineering Principles and Management Issues.* McGraw-Hill, New York.
- Wilson, D.C. 1981. *Waste Management: Planning, Evaluation, Technologies.* Oxford University Press, Oxford.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**DIPLOMADO DE ACTUALIZACION EN
SISTEMAS DE CONTROL DE RESIDUOS SOLIDOS Y PELIGROSOS**
Cursos Abiertos

**MODULO III : "PROCESOS DE TRATAMIENTO PARA EL CONTROL DE RESIDUOS
SOLIDOS MUNICIPALES Y PELIGROSOS"**

TEMA :

ORGANIZACION DE COOPERACION Y DESARROLLO ECONOMICO

Material preparado por la Dra. Cristina Cortinas de Nava como material de complemento

ORGANIZACION DE COOPERACION Y DESARROLLO ECONOMICO
Disposiciones del Consejo de la Organización relativas a Residuos Peligrosos

Cristina Cortinas de Nava
Asesora del Instituto Nacional de Ecología

Antecedentes

La Organización de Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE) está constituida en la actualidad por 26 países entre los que se encuentran los más industrializados del mundo. Dicha Organización se creó con el propósito, como su nombre lo indica, de apoyar el desarrollo económico de sus países Miembros a través de la cooperación. No es un organismo regulatorio, a pesar de lo cual su Consejo, basado en las propuestas de sus diversos Comités (incluyendo el de Medio Ambiente), adopta Actas --Declaraciones, Decisiones, Recomendaciones-- en las que se definen posiciones y lineamientos a seguir. Las Decisiones son consideradas como instrumentos vinculantes que los países se obligan a poner en práctica; por ello, al adherirse México en 1994 a la OCDE, adquirió compromisos relativos al manejo de los residuos peligrosos y el control de sus movimientos transfronterizos asentados en Decisiones-Recomendaciones. De ahí la necesidad de revisar dichas Actas a fin de determinar lo que aún falta por hacer para darles cumplimiento, sobre todo, ante la próxima revisión del desempeño ambiental de nuestro país que la OCDE llevará a cabo durante 1997.

Antes de describir el contenido de las Actas a las que se hace referencia, es importante resaltar que los países de la OCDE generan alrededor del 70% de los productos químicos que se comercian en el mundo, y que algunos de esos países son los mayores generadores de residuos peligrosos a nivel mundial. También es importante destacar que los residuos peligrosos con valor económico y susceptibles de ser sujetos a procesos de recuperación de materiales secundarios, han sido tradicionalmente objeto de comercio entre los países Miembros de la OCDE. Aunado a ello, y en virtud de las grandes inversiones que representan las instalaciones para operaciones de recuperación o para el ~~tratamiento y disposición final~~ de los residuos peligrosos, es común que se fomente el que se aprovechen las instalaciones de un país por otro, en particular en la Unión Europea en donde no se justifica que cada pequeño país reproduzca toda esa infraestructura, pues no sería rentable.

En virtud de lo expuesto, así como de episodios negativos de movimiento transfronterizo de residuos peligrosos no deseados de un país a otro de la OCDE, es que esta Organización adoptó las diversas Actas que se describirán para regular dicho movimiento entre países. Más aún, la OCDE contribuyó de manera significativa a que se estableciera el Convenio de Basilea sobre movimientos transfronterizos y disposición de residuos peligrosos de las Naciones Unidas, al cual se adhirió México. La prohibición dentro

del citado Convenio, de exportación de residuos peligrosos desde países de la región de la OCDE hacia países no Miembros de la Organización, ha traído consigo la necesidad de modificar algunas de las Actas que se describirán a continuación y tanto en la OCDE como en el seno del Convenio, se trabaja actualmente por redefinir y reclasificar los residuos peligrosos con objeto de distinguir los que serán sujetos de la prohibición.

Decisión-Recomendación sobre **MOVIMIENTO TRANSFRONTERIZO DE RESIDUOS PELIGROSOS**, C(83)180(Final), 1° de febrero de 1984.

El Consejo de la Organización adoptó esta decisión-recomendación, entre otros, con base en:

- La Recomendación del Consejo del 28 de septiembre de 1976 sobre una Política Integral de Manejo de Residuos, C (76) 155(Final).
- El reconocimiento por parte de los Gobiernos de los países Miembros de la OCDE acerca de la "responsabilidad que comparten en salvaguardar y mejorar la calidad del ambiente, tanto en el contexto nacional como global" y su declaración en la que señalan que "la protección y el mejoramiento progresivo de la calidad del ambiente es un objetivo fundamental de los países Miembros de la OCDE" (Declaración sobre Política Ambiental, 1974).
- La consideración de que un cierto número de países de la OCDE generan cantidades sustantivas de residuos peligrosos y que una proporción importante de dichos residuos son objeto de movimientos transfronterizos.
- La consideración de que el manejo eficiente y ambientalmente adecuado de los residuos peligrosos puede justificar algunos movimientos transfronterizos de los mismos a fin de hacer un uso apropiado de las instalaciones para su disposición existentes en otros países.
- La consideración de que el generador de residuos peligrosos tiene responsabilidades respecto a asegurar que la disposición de sus residuos se realice de forma consistente con la protección al ambiente, en cualquier lugar en el que se lleve a cabo.
- La consideración de que los países tienen el derecho soberano de manejar los residuos peligrosos dentro de su jurisdicción de acuerdo con sus propias políticas y legislaciones, tomando en cuenta las reglas del derecho internacional.
- La consideración de la necesidad de acciones concertadas entre países Miembros para proteger la salud del ser humano y su ambiente de la contaminación que pueda ocurrir en relación con el manejo de los residuos peligrosos.

El Consejo:

- I. Decidió que los países Miembros deben controlar los movimientos transfronterizos de residuos peligrosos y, para tal propósito, deben asegurar que sus autoridades competentes involucradas cuenten con información adecuada y oportuna concerniente a dichos movimientos.
- II. Recomendó que, para instrumentar la Decisión, los países apliquen los principios concernientes al movimiento transfronterizo de residuos peligrosos asentados a continuación.
- III. Instruyó al Comité de Medio Ambiente, a trabajar con otras organizaciones internacionales, para elaborar un programa de actividades a fin de desarrollar principios adicionales a los referidos enseguida, y facilitar su instrumentación, explorando acciones internacionales adicionales que se consideren necesarias respecto al movimiento transfronterizo de residuos peligrosos.
- IV. Instruyó al Comité de Medio Ambiente, a revisar periódicamente las acciones adoptadas por los países Miembros para dar cumplimiento a esta Decisión-Recomendación.

Principios Concernientes al Movimiento Transfronterizo de Residuos Peligrosos

Los siguientes principios tienen el propósito de facilitar el desarrollo de políticas armonizadas concernientes al movimiento transfronterizo de residuos peligrosos: Estos no limitan la instrumentación de medidas más favorables para la protección al ambiente que las que estén vigentes o puedan adoptarse; tampoco impide la aplicación de acuerdos internacionales relacionados con el comercio de bienes y servicios o con el transporte de materiales peligrosos.

Principios Generales

1. Los países deberán asegurar que los residuos peligrosos situados en los límites de su jurisdicción sean manejados de tal manera a proteger la salud humana y el ambiente. Para tal fin, deberán promover el establecimiento de instalaciones apropiadas para su disposición y adoptar las medidas necesarias para permitir que las autoridades responsables se encargen de su control a lo largo de su ciclo de vida integral, generación, transporte y disposición final, en cumplimiento de las disposiciones legales vigentes.

2. Respecto al manejo de los residuos peligrosos sujetos a movimientos transfronterizos, los países deben requerir que:
 - a) Las entidades involucradas se abstengan en participar en movimientos transfronterizos que no cumplan con las disposiciones legales aplicables en los países que puedan verse concernidos.
 - b) Las entidades involucradas en el transporte o disposición de los residuos deberán contar con la autorización respectiva.
3. Más aún, en relación con cualquier movimiento transfronterizo de residuos peligrosos, los países deben requerir que el generador de los mismos:
 - a) Siga todos los pasos prácticos necesarios para asegurar que el transporte y disposición de sus residuos se realicen de acuerdo con las legislaciones aplicables en los países involucrados.
 - b) Se asegure de que todas las entidades involucradas en el movimiento transfronterizo o en la disposición de sus residuos tengan las autorizaciones necesarias para realizar sus actividades de conformidad con las legislaciones aplicables en los países involucrados.
 - c) Asuma la responsabilidad del manejo adecuado de sus residuos, incluyendo su re-importación en el caso de que no puedan concretarse los arreglos para su disposición final ambientalmente adecuada.
4. Los países deben aplicar sus leyes y regulaciones sobre el control de residuos peligrosos tan exigentemente en el caso de los destinados a exportación que en el caso de los que se manejen domésticamente.

Pre-Notificación y Cooperación Internacional

5. Los países deben cooperar en el control, del lugar de generación al de disposición, de todos los residuos peligrosos sujetos a movimientos transfronterizos.
 - 5.1. Para tal propósito, y dada la Decisión, los países deben adoptar las medidas necesarias para asegurar que las entidades en el seno de su jurisdicción proporcionen, directa o indirectamente, a las autoridades de los países exportadores, importadores y de tránsito, información adecuada y oportuna.
 - 5.2. La información debe especificar el origen, naturaleza, composición y cantidades de desechos destinados a

exportación, las condiciones de transporte, la naturaleza de los riesgos ambientales asociados, el tipo de disposición y la identidad de todas las entidades involucradas en el movimiento transfronterizo o en la disposición final de los desechos.

6. Los países exportadores deben tomar las medidas necesarias para asegurar que se responda de manera diligente y adecuada las demandas de información por parte de los países importadores y de tránsito.
7. Los países deben adoptar las medidas necesarias para permitir a sus autoridades objetar y, en caso necesario prohibir, la entrada de un envío de residuos peligrosos hacia su territorio, tanto para su disposición como su tránsito, si la información proporcionada es insuficiente o imprecisa o el movimiento no se conforma a sus disposiciones legales.
8. Los países deben seguir los pasos necesarios para asegurar que un movimiento transfronterizo de residuos peligrosos propuestos no se inicie si uno de los países involucrados en él se opone con base en su legislación y lo ha hecho saber a las entidades o autoridades involucradas en el país exportador.
9. Cuando un país importador o de tránsito se opone conforme a su legislación al movimiento dentro de su territorio y el residuo ha salido del país exportador, este último no se debe oponer a su re-importación.

Decisión-Recomendación sobre EXPORTACION DE RESIDUOS PELIGROSOS A PARTIR DEL AREA DE LA OCDE, C(86)64(Final), 5 de junio de 1986.

El Consejo de la Organización adoptó esta decisión-recomendación, entre otros, con base en:

- La decisión-recomendación del 1 de febrero de 1984 sobre Movimientos Transfronterizos de Residuos Peligrosos C(83)180(Final).
- La resolución del Consejo del 20 de junio de 1985 relativa a la Cooperación Internacional Concerniente al Movimiento Transfronterizo de Residuos Peligrosos C(85)100, en la cual se decidió desarrollar un sistema internacional para el control efectivo de esos movimientos, que incluyera un acuerdo internacional de carácter legalmente vinculante.
- El trabajo realizado en el seno del Programa de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente acerca del manejo ambientalmente adecuado de los residuos peligrosos.

- La naturaleza de los residuos y su distinción de los productos objeto de comercio internacional.
- El convencimiento de que las exportaciones de residuos peligrosos pueden, si no son monitoreadas de manera apropiada y controladas, resultar en riesgos serios para la salud y el ambiente.

El Consejo **decidió** (con la abstención de Australia):

1. **Monitorear y controlar** las exportaciones de residuos peligrosos hacia un destino final fuera del área de la OCDE; para lo cual se debe asegurar que las autoridades competentes tengan la autoridad de prohibir tales exportaciones cuando sea necesario.
2. **Aplicar controles no menos estrictos** a los movimientos transfronterizos que involucren países no Miembros, que los que apliquen a los países Miembros de la Organización.
3. **Prohibir movimientos** de residuos peligrosos hacia un país no Miembro sin su consentimiento y la notificación previa a cualquier país de tránsito de tales movimientos.
4. **Prohibir movimientos** de residuos peligrosos hacia países no Miembros salvo que los residuos sean dirigidos hacia instalaciones de disposición adecuadas en tales países.

Además, **recomendó**:

1. El establecimiento de acuerdos bilaterales o multilaterales con países no Miembros con los cuales se realicen o se pretendan realizar exportaciones frecuentes de residuos peligrosos.
2. Aplicar las medidas señaladas a continuación concernientes al control de las exportaciones de residuos peligrosos hacia un destino fuera de la OCDE.

Medidas Concernientes al Control de las Exportaciones de Residuos Peligrosos

1. Las medidas están destinadas a facilitar la armonización de las políticas concernientes a los movimientos transfronterizos de residuos peligrosos hacia un país no Miembro de la OCDE. Estas no impiden el establecimiento de medidas más estrictas para reducir los riesgos asociados con el transporte y disposición de residuos peligrosos.
2. Las medidas aplican en la ausencia de acuerdos bilaterales o multilaterales concernientes al movimiento transfronterizo de residuos peligrosos entre un país

exportador Miembro de la Organización y un país importador no Miembro, y deben ser tomadas en cuenta en la negociación de tales acuerdos.

3. Los países Miembros requieren, con respecto a las exportaciones de residuos peligrosos hacia países no Miembros, que las medidas indicadas a continuación sean cumplidas por los exportadores o por las autoridades competentes del país exportador.
4. El exportador debe:
 - a) Proporcionar a las autoridades competentes del país importador (y de los países de tránsito), por lo menos la misma información que proporcionaría a un país Miembro de la OCDE.
 - b) Informar a las autoridades competentes del país importador acerca de cualquier método específico de disposición legalmente requerido o prohibido para tales residuos en el país exportador.
 - c) Proporcionar a las autoridades competentes del país exportador:
 - i) la información utilizada por el exportador para asegurarse de que la operación de disposición propuesta pueda realizarse de una manera ambientalmente adecuada;
 - ii) certificación de que la instalación para la disposición de los residuos propuesta puede, de acuerdo con las leyes y regulaciones del país importador, disponer del tipo de residuos cuya exportación se propone;
 - ~~iii) una copia de una declaración del operador de la instalación de disposición propuesta, de que se hará cargo de la disposición de los residuos como lo prevé el contrato de disposición, y en las instalaciones señaladas en él;~~
 - iv) una copia de la información transmitida a las autoridades competentes del país importador para obtener el consentimiento escrito de la importación y disposición de los residuos;
 - v) una copia del consentimiento escrito de las autoridades competentes del país importador, y la confirmación de las autoridades competentes de los países de tránsito de que han sido notificadas del movimiento.

- d) Demandar y recibir del encargado de la disposición documentos confirmando que los residuos han sido recibidos por él y dispuestos como convenido, y ponerlos a la disposición de la autoridad competente del país exportador.
- 5. Los países Miembros pueden decidir encargar de algunas de las tareas señaladas anteriormente, a sus autoridades competentes.
- 6. Las **autoridades competentes** del país exportador deben:
 - a) antes de que se adopte una decisión final, informar a las autoridades competentes del país importador cuando tengan preocupaciones específicas ambientales respecto a la operación de disposición de residuos propuesta;
 - b) prohibir la exportación de residuos peligrosos cuando:
 - i) no estén satisfechas con la información proporcionada de acuerdo con el inciso 4c anterior;
 - ii) cualquier país de tránsito objete el movimiento y el exportador no encuentre una ruta alternativa apropiada?
 - iii) la operación de disposición propuesta no sea de conformidad con la legislación internacional aplicable;
 - c) prohibir exportaciones adicionales de residuos peligrosos a una destinación dada cuando los documentos especificados en el inciso 4d anterior, no sean proporcionados al exportador por el responsable de la disposición después de una exportación previa hacia el mismo destino;
 - d) notificar al exportador rápidamente si objetan o no el movimiento transfronterizo;
 - e) notificar a las autoridades competentes del país importador si han prohibido la exportación de los residuos peligrosos.

Decisión del Consejo sobre **MOVIMIENTO TRANSFRONTERIZO DE RESIDUOS PELIGROSOS**, C(88)90(Final), 27 de mayo de 1988.

El Consejo adoptó esta decisión, entre otros, con base en:

- La decisión-recomendación del 1 de febrero de 1984 sobre Movimientos Transfronterizos de Residuos Peligrosos C(83)180(Final).

- La resolución del Consejo del 20 de junio de 1985 relativa a la Cooperación Internacional Concerniente al Movimiento Transfronterizo de Residuos Peligrosos C(85)100.
- La Decisión-Recomendación sobre Exportación de residuos peligrosos a partir del área de la OCDE, C(86)64(Final), del 5 de junio de 1986.

El Consejo decidió:

- I. Que para el propósito de instrumentar las Actas del Consejo antes mencionadas sobre el control de los movimientos transfronterizos de residuos peligrosos que involucren a cualquier país Miembro:
 - a) los términos "residuos" y "disposición" deberán definirse como se especifica en el Anexo, que es parte integral de esta decisión;
 - b) los residuos a los que se hace referencia en las Actas del Consejo antes citadas como Residuos Peligrosos deben consistir en:
 - i) una lista central de residuos como se especifica en el Anexo; y
 - ii) todos los demás residuos que son considerados ser o son definidos legalmente como residuos peligrosos en un país Miembro, a partir del cual se realicen las exportaciones, o en el país Miembro que los importe;
 - c) Los países Miembros deben asegurarse de que los residuos sujetos a control se clasifiquen de la manera en que se especifica en el Anexo, ~~a menos que esos residuos sean sujetos a un movimiento transfronterizo que tome lugar por completo entre partes de un acuerdo bilateral o multilateral en el que se les clasifique por un método diferente~~
- II. El Consejo decidió que las definiciones de residuos y residuos peligrosos contenidas en las Actas previas son revocadas por las definiciones contenidas en esta decisión.
- III. El Consejo instruyó al Comité de Políticas Ambientales para que en un período no mayor de tres años informe de la instrumentación de esta decisión y para que haga propuestas de revisión del Anexo a la luz de la experiencia adquirida.

Decisión-Recomendación del Consejo sobre **REDUCCION DE LOS MOVIMIENTOS TRANSFRONTERIZOS DE RESIDUOS**, C(90)178/Final, 31 de enero de 1991.

El Consejo de la Organización adoptó esta Decisión-Recomendación, entre otros, con base en:

- La Decisión-Recomendación del 1° de febrero de 1984 sobre Movimiento Transfronterizo de Residuos Peligrosos, C(83)180(Final), que requiere que los países Miembros controlen dichos movimientos.
- La Decisión-Recomendación del 5 de junio de 1986 sobre las Exportaciones de Residuos Peligrosos desde el Area de la OCDE, C(86(64)Final, que prohíbe el movimiento de dichos residuos a una destinación final en un país no Miembro sin el consentimiento de éste y la notificación previa a cualquier país de tránsito.
- Las disposiciones del Convenio de Basilea sobre movimientos transfronterizos y disposición de residuos peligrosos, adoptado el 22 de marzo de 1989. Tomando en cuenta que cada país parte del Convenio está obligado a "adoptar las medidas apropiadas para asegurar la disponibilidad de instalaciones adecuadas para la disposición, de manera ambientalmente racional de los residuos peligrosos y otros residuos, las cuales deben estar localizadas, en la medida de lo posible en su territorio, cualesquiera que sea el lugar de su disposición".
- El reconocimiento del deseo de que se establezca un comercio internacional controlado apropiado de residuos de materiales destinados a operaciones ambientalmente adecuadas de recuperación, reciclado, reúso directo o usos alternativos (denominadas genéricamente como "operaciones de recuperación").
- El convencimiento de la necesidad de reducir el movimiento transfronterizo de todos los residuos a un mínimo consistente con el manejo eficiente y ambientalmente racional de los mismos; el cual debe en primer lugar prevenir y reducir, en la medida de lo posible, la generación de tales residuos, y en segundo lugar, incrementar la proporción de tales residuos destinados a ser reciclados o reutilizados.
- El reconocimiento de que muchos sectores industriales se encuentran instrumentando técnicas de recuperación de residuos de manera económica y ambiental satisfactoria, y el convencimiento de que se deben fomentar esfuerzos adicionales en esta dirección.

- El reconocimiento de que el manejo eficiente y ambientalmente adecuado de los residuos puede justificar algunos movimientos transfronterizos de tales residuos para hacer un uso adecuado de las instalaciones de otros países.
- El convencimiento de que la cooperación internacional concerniente al manejo de los residuos debe basarse en acuerdos a nivel gubernamental.
- El reconocimiento de que diversos de los países de la OCDE ya han adoptado medidas para prevenir la exportación de residuos, sujetos a control en el marco del Convenio de Basilea, hacia países en desarrollo.

Con base en lo anterior el Consejo:

- I. Decide que, para los residuos no sujetos a operaciones de recuperación, los países deberán:
 - a) de manera consistente con el manejo eficiente y ambientalmente adecuado, disponer en la medida de lo posible dentro de su territorio de los residuos que produzcan;
 - b) adoptar medidas para reducir sus movimientos transfronterizos a un mínimo justificado por su manejo eficiente y ambientalmente adecuado;
 - c) de manera continua identificar los residuos que no puedan ser manejados de manera ambientalmente adecuada dentro de su territorio. Deberán fomentar el establecimiento de infraestructura adicional y apropiada para el manejo de estos residuos dentro de su territorio y si no pueden hacerlo, deberán cooperar por medio de planes bilaterales o regionales acordados a nivel gubernamental, ~~a fin de darles un destino ambientalmente adecuado a sus residuos.~~
- II. Decide que los países Miembros deberán cooperar en la recolección de datos armonizados sobre las importaciones y exportaciones de residuos y hacer accesibles esos datos al público, de acuerdo con sus propias legislaciones relativas a la confidencialidad de información comercial.
- III. Recomienda a los países Miembros cooperar en el desarrollo e instrumentación de lineamientos concernientes a la reducción de movimientos transfronterizos de residuos referidos en el Anexo de esta Decisión-Recomendación y en la recolección de los datos necesarios.
- IV. Recomienda que los planes iniciales referidos en el párrafo I(c) de esta Decisión-Recomendación sean completados de manera sustantiva antes del 1° de enero de 1995.

- V. Instruye al Comité de Medio Ambiente a considerar la armonización adicional de las listas de residuos, sujetos a control de movimientos transfronterizos.
- VI. Instruye al Comité de Medio Ambiente para que en cooperación con otros grupos relevantes de la OCDE, en particular el Comité de Comercio y el Grupo de Alto Nivel sobre Bienes, desarrolle e instrumente un programa de actividades concernientes a los residuos destinados a operaciones de recuperación. Este programa, deberá tomar en cuenta el trabajo de, y cooperar con, otras organizaciones internacionales como el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y la Comisión de Comunidades Europeas. En particular deberá:
- a) Aclarar la definición de residuos y caracterizar aquellos que requieren diferente grado de control.
 - b) Identificar y evaluar prácticas económica y ambientalmente adecuadas para la recuperación de residuos.
 - c) Desarrollar medios para determinar apropiadamente cantidades de residuos sujetos a operaciones de recuperación comparadas con las que se destinan a su disposición final.
 - d) Establecer el papel real y potencial de los usos de residuos en sustitución de materiales primarios y en la preservación de los recursos naturales.
 - e) Delinear los controles apropiados para los movimientos transfronterizos de residuos destinados a operaciones de recuperación.
 - f) Después de la evaluación de los resultados de los elementos considerados de a) a la e), si es apropiado, desarrollar las bases para un acuerdo multilateral sustentado en el Artículo 11 del Convenio de Basilea, que regula los movimientos transfronterizos de residuos exclusivamente entre países Miembros.
- VII. Instruye al Comité de Medio Ambiente y otros Comités relevantes de la OCDE, para que revisen periódicamente las acciones adoptadas por los países Miembros para el cumplimiento de esta Decisión-Recomendación.

Decisión del Consejo concerniente al CONTROL DE MOVIMIENTOS TRANSFRONTERIZOS DE RESIDUOS DESTINADOS A OPERACIONES DE RECUPERACION, C(92)39/Final.

El Consejo:

- I. Decide que los países Miembros deben controlar los movimientos transfronterizos de residuos destinados a operaciones de recuperación dentro del área de la OCDE, como se especifica en el Anexo I que es parte integral de esta Decisión.
- II. Instruye al Comité de Medio Ambiente, para que en cooperación con otros grupos relevantes de la OCDE, en particular el Comité de Comercio, revise periódicamente el sistema de control y las listas de residuos contenidos en el Anexo I, tomando en cuenta los criterios listados en el Anexo II, y hacer las propuestas que considere necesarias para revisar el Anexo I.
- III. Instruye al Comité de Medio Ambiente para que en cooperación con otros grupos relevantes revise anualmente las acciones adoptadas por los países Miembros en el cumplimiento de esta Decisión.
- IV. Solicita al Secretario General a transmitir esta Decisión al Director Ejecutivo del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y al Secretariado Interino del Convenio de Basilea.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**DIPLOMADO EN SISTEMAS DE CONTROL DE RESIDUOS SOLIDOS Y
PELIGROSOS**

**MODULO III: PROCESOS DE TRATAMIENTO PARA EL CONTROL DE RESIDUOS
SOLIDOS MUNICIPALES Y PELIGROSOS**

Manejo integral de los residuos peligrosos

Margarita Gutiérrez-Ruiz
Isabel Kreiner
Carlos Rosas Flores
Gustavo Marcovich

Este material forma parte de un documento en revisión. Se tiene permiso para utilizarse en este diplomado por parte de Sistemas Técnicos de Edición, queda prohibida su reproducción para cualquier otro objetivo.

ÍNDICE

I. CONCEPTOS GENERALES	82
2. EJEMPLOS DE TRATAMIENTOS	84
2.1 FÍSICOS	84
<i>Solidificación/estabilización y encapsulamiento</i>	84
2.2 TRATAMIENTOS QUÍMICOS	87
<i>Extracción</i>	87
<i>Precipitación química</i>	87
<i>Neutralización</i>	88
<i>Oxido-reducción</i>	88
2.3 TRATAMIENTOS TÉRMICOS	89
<i>Pirólisis</i>	89
<i>Reducción térmica con hidrógeno (Proceso Eco Logic)</i>	92
<i>Proceso de oxidación con aire húmedo (OAH)</i>	93
<i>Oxidación con agua a condiciones supercríticas (OACS)</i>	95
<i>Proceso de arco de plasma</i>	96
<i>Procesos de vidrio fundido (Molten Glass processes)</i>	97
<i>Pirólisis con Metal Fundido (Molten Metal)</i>	98
<i>Incineración catalítica</i>	99
2.4 BIOTRATAMIENTOS	100

Manejo integral de los residuos peligrosos

I. Conceptos generales

Este tipo de sistemas requiere considerar las siguientes proposiciones

- los desechos conforman materiales posible de reutilizar (revalorización),
- existe un gran cantidad de tecnologías que permiten revalorizar a los desechos
- la existencia de un mercado de tecnologías obsoletas presiona a que los países no desarrollados económicamente las utilicen
- el sistema de manejo de desechos no debe afectar a la población que vive de los productos que tradicionalmente se recuperan
- los cambios culturales son mucho más lentos que los cambios económicos, por lo que no es viable establecer sistemas de manejo de la basura basados en una separación previa por parte de la ciudadanía
- la pequeña industria no cuenta con sistemas para un manejo propio de los desechos
- en países en vías de desarrollo la basura municipal está mezclada con desechos hospitalarios e industriales
- en los países en vías de desarrollo no se cuenta con el personal técnico y las inversiones que requieren los sistemas de confinamiento e incineración.

Para seleccionar la tecnología para recuperar el valor de desechos mezclados se requiere clasificarlos con base en el enlace químico en

- | | |
|----------------|--|
| ▪ covalentes | organicos polares biodegradables
polares no biodegradables
no polares
polimeros
redes |
| ▪ iónicos | solubles reactivos
solubles no reactivos
poco solubles reactivos
poco solubles no reactivos |
| ▪ metálicos | reactivos
no reactivos recuperables |
| ▪ coordinación | |

Para establecer este tipo de sistemas se requiere de especialistas en sistemas integrales pues en general, se tienen mezclas de desechos. En términos generales se puede decir que

Los residuos covalentes moleculares no polares (orgánicos con valor calórico) y los polares no biodegradables deben someterse a procesos térmicos en ambiente reductor, como la pirólisis u otro tipo como la reducción. A este grupo pertenecen la mayoría de las sustancias más tóxicas, como son los lubricantes gastados, hidrocarburos, disolventes, etc. El sistema de pirólisis permite tratar residuos de talleres de autos y diversas industrias.

Los residuos covalentes moleculares polares (orgánicos biodegradables) deben procesarse mediante su descomposición microbiológica o dosificarse en sistemas pirolíticos, para que no disminuya el valor calórico mínimo necesario. Pueden ser directamente depositados en suelos para su degradación y humificación, o sujetarse a procesos aerobios o anaerobios. Cabe mencionar que si se usa el suelo como biodigestor, es necesario contar con estudios serios que aseguren que no existe posibilidad de contaminar el suelo y los cuerpos de agua o dañar las plantas y la microfauna.

Los residuos covalentes polares no biodegradables, requieren de un estudio especial para definir si se pueden reciclar, reutilizar o estabilizar. Por ejemplo, el del ácido sulfúrico procedente del decapado de varilla puede reciclarse, o utilizarse como recuperador de suelos salino sódicos.

Las sustancias covalentes de red y iónicas muy estables y prácticamente inertes (arenas, vidrio, etc.) pueden ser recicladas o reutilizadas después de efectuar un proceso simple de recuperación. En caso de que no sea factible económicamente establecer un sistema de reuso es posible confinarlas fácilmente pues son inertes.

Las especies iónicas solubles deben reutilizarse y, en los casos en que sea posible, se deben transformar a especies insolubles termodinámicamente estables y similares a las formas que existen en la naturaleza. Hay elementos que siempre forman compuestos solubles y, por lo tanto, no son posibles de estabilizar, como es el caso del sodio (cloruro de sodio, sulfato de sodio, carbonato de sodio, etc.), pero pueden ser fácilmente reutilizadas.

~~Las especies iónicas insolubles reactivas pueden reutilizarse o estabilizarse termodinámicamente para su reuso o confinamiento (sin riesgo). Un ejemplo lo conforma la transformación de cromatos (soluble y oxidante) en cromitas (espinelas muy estables) y la fabricación de ladrillos semirefractarios que no presentan ninguna peligrosidad.~~

Cuando la revalorización de un desecho no es viable económicamente se debe estabilizar y transformarlo en las especies y concentraciones que prevalecen en la naturaleza.

2. Ejemplos de Tratamientos

2.1 físicos

Solidificación/estabilización y encapsulamiento

El principal objetivo de esta clase de tratamientos es eliminar la peligrosidad de los desechos para que puedan ser manejados como desechos no peligrosos.

Los procesos de estabilización y solidificación consisten en tecnologías de fijación química y pueden ser descritos como procedimientos cuyo objetivo es inmovilizar, encapsular, aislar o confinar un contaminante, principalmente de naturaleza inorgánica, en una matriz sólida, generalmente con aditivos o reactivos especiales. Con el objeto de disponer los contaminantes como no reactivos e inmovilizarlos, la matriz debe poseer buenas características de estabilidad dimensional, de resistencia a los ciclos de congelación-descongelación, de permeabilidad, de tolerancia a las tensiones y de resistencia a la acción de los agentes biológicos. El cemento Portland es el endurecedor más utilizado en tales procesos.

Se entiende por “estabilización” (fijación química) a las técnicas concebidas para modificar los desechos de forma química, ya sea transformándolos o inmovilizándolos. La solidificación concierne a las técnicas que cambian las características físicas del desecho para producir una estructura sólida que atrapa mecánicamente los contaminantes. En general, la finalidad de ambas técnicas es transformar un desecho potencialmente peligroso en un material que pueda ser dispuesto de una forma ambientalmente segura. Una vez realizada la estabilización-solidificación, el producto debe pasar por la prueba de lixiviación a fin de ser declarado como desecho no peligroso y pueda ser dispuesto en un relleno sanitario.

La estabilización es un proceso de tratamiento que induce un cambio químico en el desecho, para formar compuestos insolubles que atrapan a los elementos o compuestos tóxicos en un polímero o en una red cristalina estable.

La solidificación es un proceso de tratamiento que produce un sólido monolítico, o una masa terrosa, a partir de un desecho líquido y genera un producto con mejores características físicas e integridad estructural. Esto permite que el material sea fácilmente manejado y transportado. Esta estructura modificada también reduce significativamente la lixivialidad al reducir la movilidad y el área superficial expuesta del desecho, minimizando así la posibilidad de contaminación del agua subterránea y superficial.

Los procesos de estabilización/solidificación se clasifican, de acuerdo al aditivo principal que se añade al desecho, de la siguiente manera

- técnicas con cemento como base (Portland)
- técnicas con cal como base (Pozzolanic)

- proceso termoplástico
- técnicas a base de polimeros orgánicos.

Cemento (Portland)

En esta técnica los desechos se mezclan con cemento, agua y se ajusta el pH con algún ácido. Los desechos que se pueden tratar son: metales pesados (como Cu, Cr, Ni, Pb, Zn) y los sólidos orgánicos (plásticos y resinas).

Las ventajas de este proceso son los bajos costos, la sencillez, puede realizarse in situ y que genera un sólido de alta resistencia. Las desventajas, en cambio son que puede estar sujeto a lixiviado y pueden existir interferencias entre compuestos como los boratos y los sulfatos.

Cal (Pozzolanic)

Este método consiste en mezclar los desechos con cal (Ca(OH)_2) y silicatos para formar un sólido. Así se pueden tratar las cenizas y las escorias provenientes de hornos, el polvo de hornos de cemento y los metales pesados como Pb, As, Zn.

Es un proceso barato y relativamente sencillo, aconsejable para desechos (cenizas) de las plantas de energía eléctrica. Los problemas que presenta es el aumento del volumen del desecho y que depende de la formación de compuestos como silicatos de calcio e hidratos de aluminio

Polímero orgánico

Consiste en mezclar el desecho con un polímero (urea-formaldehido o éster-estireno de vinilo) y un catalizador que provoca la solidificación a través de la formación de una matriz de tipo esponja. Los desechos que se pueden tratar con este proceso son halogenuros, sulfatos, desechos ácidos y materiales radioactivos

~~Algunas desventajas de este proceso son que los contaminantes no se encuentran químicamente unidos, requiere de equipo especializado, algunas resinas se descomponen con el tiempo, algunos catalizadores son corrosivos, no es aplicable a compuestos orgánicos como: plásticos, aceites y disolventes.~~

Termoplástico

Mediante este método, el desecho es secado, calentado y fijado en un matriz plástica de un material (asfaltos, polietileno o parafinas). Sirve para tratar metales pesados (Pb, Cd, Cu, Ni, As) y es aconsejable para materiales radiactivos

Entre las ventajas que presenta se encuentra que no incrementa su volumen, como en los procesos de cal y cemento, y produce un material de muy baja lixiviación. Entre las

desventajas destaca la alta inversión de equipos, los elevados costos de energía y que no es aplicable a disolventes, grasas, sales etc.

Las ventajas de la solidificación/estabilización como método de tratamiento son:

- mejora las características físicas y químicas para el manejo, transporte y disposición final
- disminuye el área de superficie activa del contaminante
- limita la solubilidad o toxicidad del contaminante
- es de bajo costo (caso de cemento y pozzolanic)
- se puede aplicar con éxito a un intervalo amplio de desechos
- es aplicable a residuos radioactivos.

Entre las desventajas, se encuentra que:

- al no encontrarse químicamente unido al material adicionado, puede estar sujeto a lixiviado (procesos de cemento y cal)
- es incompatible con muchos residuos orgánicos
- requiere de equipo y personal especializado (polímero y termo plástico) por lo que incrementa su costo.

2.2 Tratamientos químicos

Los tratamientos químicos consisten en procesos en los que se emplean sustancias químicas para remover, o transformar, la naturaleza interna de los residuos peligrosos, por medio de reacciones químicas, transformándolos en compuestos menos solubles o tóxicos. En la mayoría de los casos los desechos pueden llegar a una forma estable; en otros casos no es posible tratarlos en un 100% y es necesario un tratamiento posterior.

Los tratamientos que utilizan procesos fisicoquímicos involucran el uso de reacciones químicas para transformar las corrientes residuales peligrosas. La función del tratamiento físico, es la de facilitar su separación. Este tipo de procesos fomentan la recuperación y el reuso de sustancias y materiales, obteniéndose así subproductos útiles y efluentes residuales ambientalmente aceptables.

Extracción

Este tratamiento se basa en la extracción de los contaminantes con diferentes disolventes polares y no polares, incluyendo el agua. Esta técnica no es aplicable a residuos que contengan metales pesados o compuestos inorgánicos.

Se obtienen tres fases: la orgánica, la acuosa y la sólida. El desecho a tratar requiere un pretratamiento antes de adicionar el disolvente para que puedan manejarse los lodos con bombas. Se requiere de condiciones alcalinas ($\text{pH} = 10$) para que los disolventes no se oxiden. Una vez obtenidos los disolventes no polares se destilan para su reciclado y el residuo se trata por algún tratamiento térmico o se confinan. En el caso de las extracciones acuosas se utiliza un filtro de carbón para separar los orgánicos del agua y, si tiene metales por arriba del límite permisible, deben precipitarse. Los sólidos se analizan para determinar si se necesita una posterior estabilización antes de ser confinados

Precipitación química

La precipitación química es un proceso mediante el cual una sustancia soluble se convierte en insoluble, ya sea por una reacción o por cambios en la composición del disolvente. Se usa comúnmente para reducir la dureza del agua por remoción de calcio y magnesio. En el tratamiento de residuos peligrosos el proceso tiene una gran aceptación para eliminar metales tóxicos de residuos peligrosos que pueden convertirse en insolubles como, arsénico, bario, cadmio, cromo, cobre, plomo, mercurio, níquel, selenio, plata, talio y zinc.

Este tratamiento consiste en la adición de reactivos que precipitan a las sustancias tóxicas (por ejemplo, metales) que contiene un desecho (generalmente acuoso). El proceso se lleva a cabo en un tanque de reacción con agitación

Al disminuir la solubilidad de los componentes tóxicos, por las reacciones químicas y las condiciones en que se encuentran (pH y potencial), se forman sólidos suspendidos que son separados por sedimentación. Para mejorar esta operación se agrega un coagulante químico como alumbre [$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$], cloruro férrico (FeCl_3), sulfato férrico [$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$] y algunos polímeros. Los sólidos precipitados pueden separarse por sedimentación y/o filtración

Neutralización

La neutralización química es simplemente la mezcla de un ácido con una base en solución acuosa. En un sentido estricto, la neutralización es el ajuste del pH a 7, es decir, cuando las concentraciones de iones hidrógeno e hidróxido son iguales.

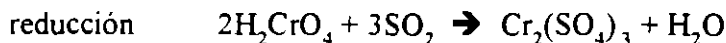
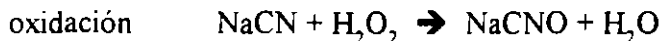
La neutralización tiene una amplia aplicación en el tratamiento de residuos acuosos que contengan un alto contenido de un ácido o una base fuertes. Este proceso es ampliamente aplicado al tratamiento de aguas residuales, ya que estas normalmente son alcalinas o ácidas

Las principales virtudes que tiene este proceso son gran éxito con residuos acuosos alcalinos o ácidos, es de bajo costo y fácil manejo y puede aplicarse a compuestos orgánicos (como fenoles ácidos).

*La acidez y la alcalinidad se definen con respecto al pH , donde $\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$, a temperatura ambiente

Oxido-reducción

Este tratamiento se basa en las reacciones de oxido-reducción que consisten en el aumento de estado de oxidación de un reactante y la disminución del estado de oxidación de otro, por ejemplo:



En la reacción de oxidación, el estado de oxidación del ión cianuro aumenta de -1 a +1 y el del oxígeno disminuye de -1 a -2. En la reacción de reducción el cromo de redujo de +6 a +3 y el estado de oxidación del azufre aumento de +4 a +6.

El proceso de oxido-reducción química, para el tratamiento de residuos peligrosos es ampliamente usado, ya que es un tecnología bien establecida y fácil de implementar y controlar. Se ha aplicado con éxito en residuos que contengan metales, sulfuros, cianuros y cromo, así como en el tratamiento de algunos compuestos como fenoles y plaguicidas.

2.3 Tratamientos térmicos

De acuerdo a la EPA, un tratamiento térmico (como la incineración y la pirólisis) consiste en el uso de temperaturas elevadas para la destrucción de desechos municipales y peligrosos. Estos procesos cambian la composición física y química del desecho.

Pirólisis

Tanto el estudio como las aplicaciones de la pirólisis se remontan a la década de los años 30 (Charles A. Thomas, 1930 y Earl, M., et al. 1936), dichos estudios comprenden mecanismos de reacciones de compuestos orgánicos y la producción de combustible (gasolina, aceites, etc.). En años más recientes, (Inove, K. et al 1973 y Suciú, G. C. 1974), se enfocaron al estudio más específico de las condiciones operacionales, así como los productos que se llegan a obtener en dicho proceso en función de la temperatura, a las condiciones atmosféricas internas del proceso (O_2 y presión) y del tipo de material a tratar por pirólisis. En cuanto a las aplicaciones de esta técnica desde la década de los años 70 (Cheng 1975, Benham y Saito 1976) guiados por los problemas causados por la contaminación de desechos municipales sólidos orgánicos, publicaron artículos sobre la viabilidad de utilizar esta técnica para obtener combustibles de los residuos y aminorar el problema de la contaminación.

Fundamentos teóricos

El término pirólisis se utiliza para definir la descomposición física y química de materiales orgánicos mediante calor en una atmósfera deficiente o libre de oxígeno. Esta técnica ha sido utilizada tradicionalmente para descomponer hidrocarburos entre ellos el gas natural y los compuestos líquidos del petróleo, mediante la descomposición térmica que empieza a producirse entre 500 y 650°C, con una temperatura aproximada de 350°C, aproximadamente. La pirólisis del petróleo, da como productos finales carbón, hidrógeno, alcanos, olefinas acetileno y compuestos aromáticos.

En el transcurso del tiempo han surgido diferentes problemas por la generación de desechos, por lo cual se ha dado el avance en las técnicas para el tratamiento de estos, una de estas alternativas es la pirólisis, la cual tiene toda una serie de aplicaciones que van desde el cracking del petróleo, hasta la conversión de otro tipo de desechos orgánicos con la consiguiente generación de energía, que puede ser reutilizable en el propio sistema o fuera de él, de manera tal que se pueden ejemplificar dichas aplicaciones.

De acuerdo con Bell and Verjavandi J.J. 1974, tomado de Leider, "Plastics Waste Recovery of Economic Value, entre las principales ventajas que ofrece este proceso se encuentran las siguientes:

- los residuos sólidos municipales pueden ser convertidos en formas económicamente viables.
- el volumen de desechos puede ser reducido en un 90% o más.
- no causa problemas de contaminación del aire.
- es un proceso que requiere de pequeños espacios, resultando en bajos costos para su transportación.
- es un proceso que produce energía neta.
- la energía producida es convertida en diferentes formas, por ejemplo: gas, aceite, carbon y materiales inertes.
- el proceso establece algunas variables químicas que pueden ser recuperadas.
- durante la pirólisis, se pueden recuperar los metales, dado que los procesos de oxidación son mínimos.

Reacciones y parámetros del proceso de pirólisis

Dentro del proceso de la pirólisis, se llevan a cabo diversas reacciones, la principal se refiere al rompimiento de enlaces carbono-hidrógeno y a las escisiones de las cadenas de carbono, cuyo tamaño básicamente determina el estado físico de los productos (gases, líquidos y sólidos).

Reacción principal

material orgánico gases + líquidos + sólidos

Reacciones secundarias

$\text{CO (g) + H}_2\text{O} \quad \text{CO (g) + H}_2 \text{ (g) + calor}$

$\text{C (g) + H}_2\text{O} \quad \text{CO (g) + H}_2 \text{ (g) + calor}$

$\text{C (g) + CO}_2 \quad \text{CO}_2 \text{ (g) + calor}$

$\text{C (g) + O}_2 \quad \text{CO}_2 \text{ (g) + calor}$

$\text{C (g) + 2H}_2 \quad \text{CH}_4 \text{ (g) + calor}$

En cuanto a los residuos sólidos del proceso se puede generar carbón en forma de un polvo muy fino y ligero el cual puede ser fácilmente obtenido de materiales cribados que contengan el compuesto original; por ejemplo: plástico. Este residuo sólido tiene como característica que poseen un alto valor calórico, y puede ser adicionado a los suelos ya que aumenta el grado de humificación.

Con respecto a los productos gaseosos se generan hidrógeno, monóxido de carbono, metano y etileno. Es pertinente mencionar que los gases producidos poseen altos valores calóricos. Por otro lado, en la fracción líquida se obtienen productos como el alquitrán (brea), aceites ligeros, y alcoholes.

El rendimiento específico de los productos del proceso de pirólisis está influenciado por el tiempo de residencia, temperatura, tamaño de partícula del desecho alimentado, y la atmósfera (O_2 , aire, O_2 libre, vapor). Por otro lado, es preciso distinguir entre una pirólisis a temperatura baja que fundamentalmente conduce a reacciones alifáticas, y una pirólisis a altas temperaturas, en la que se aromatizan las fracciones alifáticas.

Tipos de sistemas de pirólisis

Leidner (1981), establece que la mayor parte de los sistemas de pirólisis son muy similares antes de cargar los desechos sólidos municipales en el reactor de pirólisis. El producto alimentado es secado y triturado y se introduce al reactor oxígeno o aire en el caso de reactores de calentamiento indirecto. El calor contenido en los productos de pirólisis es recuperado mejorando la calidad de los posibles productos del proceso final.

Entre los tipos de reactores que se usan en pirólisis, los más populares son :

- el reactor de eje
- reactor de horno rotacional
- reactor de lecho fluidizado

En los reactores verticales la alimentación de los desechos sólidos municipales se alimentan por la parte superior, depositándose en el fondo por su propio peso. Oxígeno, aire, o calor de cambio se alimenta por la parte inferior del reactor. Los gases generados en el proceso pasan hacia arriba, y son removidos por la parte superior.

El reactor de horno rotacional es un cilindro con movimiento rotacional a un ángulo conveniente. La alimentación es en uno de los extremos del reactor, el material se transporta debido a la pendiente y al movimiento rotacional

El reactor de lecho fluidizado se usa habitualmente en procesos de gasificación del carbón. Los desechos sólidos requieren de una pretrituración antes de ser alimentado, ya que la fluidización requiere de un material tamaño uniforme. Estos reactores operan a bajas temperaturas en un intervalo de (1400 - 1800 ° F) por debajo de esta temperatura a la cual se forman escoriaciones. El calor necesario para el proceso de pirólisis se genera por una oxidación parcial de los desechos o por recirculación precalentada de los sólidos fluidizados. Una desventaja del reactor es que requiere de una considerable preparación de la cámara de alimentación. Y la ventaja principal es que ofrece un buen control de la temperatura.

Actualmente funcionan diversos pirolizadores, y la Sociedad de fabricantes de plástico de los EUA recomiendan como un sistema limpio de manejo la pirólisis la que actualmente se utiliza en el estado de Washington (Pamco Environmental).

Reducción térmica con hidrógeno (Proceso Eco Logic)

Este proceso se basa en una reducción química en fase gaseosa, trata los desechos líquidos orgánicos, peligrosos en un ambiente rico en hidrógeno a una temperatura aproximada de 900 °C (1 650 °C) y presión ambiente para elaborar como producto, un gas reformado de alto poder calorífico.

Este proceso es adecuado para corrientes de desechos acuoso, ya que el agua se comporta como un donador de hidrógeno mejorando la reacción incluyendo cloruro de hidrógeno mejorando la reacción reductiva. Los productos de la reacción incluyen cloruro de hidrógeno, de la reducción de compuestos clorados tales como los bifenilos policlorados, así como hidrocarburos más ligeros como el metano y etileno, de la reducción de hidrocarburos de cadena abierta lineal y aromáticos. La ausencia de oxígeno libre en el reactor inhibe la formación de dioxinas como sería el caso de la incineración.

El corazón de este proceso se basa en el reactor el cual se puede combinar con la Unidad de Desorción Térmica (UDT) que trata desechos orgánicos peligrosos en medio tanto sólidos como líquidos. La UDT puede tratar suelo contaminado a través de la desorción de orgánicos por medio de temperaturas que oscilan entre 500-600 °C (930-1 100 °F) utilizando un baño de metal fundido como medio de transferencia de calor. Los orgánicos quedan desorbidos en un gas (agente catalítico) rico en hidrógeno. la mayoría de los metales volátiles que se encuentran en la tierra se disuelven en le baño de metal fundido, algunas pasan al reactor con el gas agente, y los restantes permanecen en el suelo tratado. El agua que se utiliza para enfriar se reutiliza para refrescar el suelo antes de eliminarla. El gas agente rico, en hidrógeno transporta los orgánicos desorbidos al reactor en donde se les trata en una reacción de reducción en fase gaseosa, para producir un gas reformado ,el cual se utiliza como combustible.

Los principales efluentes de este proceso, consisten en HCl en fase gas, cuando se tratan a compuestos orgánicos clorados, hidrógeno, e hidrocarburos ligeros como metano y etileno y una pequeña cantidad de vapor de agua. Aproximadamente el 95% del gas consiste en hidrógeno, el cual se recircula al reactor y una pequeña parte (5%) se utiliza como combustible.

Cuando se trata de desechos, que contienen orgánicos altamente concentrados, el proceso genera gas reformado en exceso, este gas puede ser comprimido, para ser analizado posteriormente y utilizarlo como combustible para una caldera u horno.

Este proceso, requiere un área plana (2035 m²) para el equipo de procesamiento, más el equipo auxiliar, además de ser móvil

Ventajas y desventajas:

Ventajas

Es aplicable a desechos sólidos y líquidos

De alta eficiencia de destrucción (> 99 999%)

No genera dioxinas y furanos, como en los métodos de incineración

Se puede recuperar y almacenar energía (metano)

Es proceso no estacionario, por lo que puede transportarse a sitios contaminados.

En tratamientos de Bpc's se recupera HCl

Proceso de oxidación con aire húmedo (OAH)

Este proceso es bien conocido en E.U.A y Europa para el tratamiento de desechos cuando sus componentes se encuentran muy diluidos para ser incinerados, o bien son demasiado tóxicos para ser tratados por un proceso biológico. Los desechos tratados por esta técnica incluyen cianuros, fenoles, sulfuros y disolventes. Desde hace 10 años, compañías norteamericanas aplican con éxito la OAH en unidades que tratan desde 6 hasta 3,000 galones/minuto (22.68 a 11,340 litros/minuto).

El proceso se realiza en fase acuosa en la cual se mezcla un líquido que contiene sustancias orgánicas y/o inorgánicas vigorosamente con un gas donador de oxígeno (usualmente es aire) a temperaturas de 150 a 325°C. Para favorecer la reacción y controlar la evaporación el proceso se mantiene bajo una presión de 2,069 a 20,690 kpa. Para la regeneración del carbón activado gastado y la conversión de material estable a sustancias biodegradables se utilizan temperaturas entre 200 y 280°C. A mayores temperaturas (280 a 325°C) se realiza una oxidación completa.

Este proceso ha sido optimizado al disminuir la presión y la temperatura con que fueron diseñadas y operadas originalmente en la década de lo sesenta. Esto se debe, principalmente, al descubrimiento de mejores materiales y catalizadores.

Los estudios realizados sobre la cinética del proceso OAH, han demostrado que es una reacción de primer orden ($dC/dt = -kC$, donde C = concentración de la sustancia oxidable).

Se asume que la presión parcial del oxígeno y la mezcla gas-líquido son suficientes para suministrar oxígeno en cantidades suficientes como para asegurar una pseudo cinética de primer orden, con respecto a la sustancia a oxidar. Se identifican varias k en el análisis. La temperatura, por ejemplo, influye: para la mayoría de las sustancias orgánicas a temperaturas entre 200 y 280°C se puede observar una destrucción de más del 99%, en 15 a 60 minutos, a lo cual corresponde una constante de k de 0.1 a 1 minuto⁻¹. Para sustancias más difíciles se requieren temperaturas más altas. Se pueden favorecer las reacciones con catalizadores homogéneos o heterogéneos y un ajuste de pH, especialmente a valores bajos.

~~Las reacciones de OAH no son tan sensibles a la presión como a la temperatura: el suministro estequiométrico de oxígeno y la presión necesaria son lo más importante para controlar la evaporación, ya que por medio del manipuleo de la presión se obtiene el agua en fase líquida.~~

Las ventajas de la oxidación con aire húmedo son:

- la materia orgánica se descompone en compuestos orgánicos sencillos, como CO_2 , agua, ácido acético, N_2 , N_2O
- los gases provenientes de este proceso se encuentran libres de óxidos de nitrógeno, dioxinas, furanos y material particulado en fase gaseosa

- a temperaturas más elevadas que las críticas puede oxidar compuestos clorados, como DDT (diclodifeniltricloroetano) y BPC (entre otros BPC 1234, BPC 1254 y 4,4-diclorofenil).

Las desventajas que presenta este método son:

- el equipo principal del proceso (reactor, intercambiadores, tubería, válvulas y tanques) requiere materiales de alta resistencia a la corrosión, como incoloy 800 y 825, inconel 600 y 625 o titanio de grado 1, 2, 3, 11 y 20
- para lograr altas eficiencias de descomposición de los desechos se requiere que el reactor opere a condiciones de flujo tapón; es decir, que las condiciones de la mezcla reaccionante sean las mismas en cualquier punto de la sección transversal del reactor, lo que es difícil de lograr en un reactor que tenga tiempo de residencias largos y un flujo pequeño
- los residuos orgánicos resultantes (si bien son prácticamente inofensivos) requieren un tratamiento posterior (como la biodegradación) para cumplir con la legislación vigente

Oxidación con agua a condiciones supercríticas(OACS)

En este tratamiento los compuestos orgánicos, incluyendo los que contienen heteroátomos como cloro, flúor, y fósforo, pueden ser oxidados eficazmente con oxígeno en medio acuoso y condiciones por encima del punto crítico del agua pura, esto es a 374°C (705°F) y 3205 psi (221 bares). A temperaturas mayores de 500°C (939°F) se pueden obtener conversiones del orden del 99.99 % en un tiempo de residencia corto en el reactor (menor a 1 minuto). Los hidrocarburos pueden ser convertidos completamente a CO₂, H₂, y agua. Si se trata de residuos que contienen átomos de cloro, fósforo y azufre, estos últimos son convertidos a compuestos inorgánicos con estados de oxidación elevados, pudiendo ser precipitados al agregarse alguna base y formando las respectivas sales. La muestra el diagrama de flujo del proceso OACS.

El proceso se basa en el comportamiento del agua a condiciones supercríticas (450 a 600 °C, 250 bares). En estas presiones y temperaturas, el agua se comporta como un fluido orgánico de baja polaridad. Por lo que los hidrocarburos son altamente solubles, mientras que sucede lo contrario con las sales inorgánicas. Por lo cual la solvatación de los compuestos orgánicos es alta y presenta un medio ideal para la oxidación de los mismos ya que los compuestos orgánicos y oxígeno se encuentran disueltos en agua a condiciones supercríticas, esto permite un contacto íntimo en una sola fase heterogénea a una elevada temperatura por lo que las reacciones ocurren en una velocidad mayor y de mejor eficiencia que en el proceso de oxidación con aire húmedo. Los productos y subproductos provenientes de las reacciones son: oxígeno no utilizado, nitrógeno, CO₂. Cuando son tratados compuestos que contienen algún halógeno o azufre, se transforman en ácidos clorhídrico o fluorhídrico, los cuales requieren neutralizar para controlar la corrosión.

Descripción del proceso OACS

Preparación de la carga. El material es comprimido de presión atmosférica a presión de alimentación, el aire u oxígeno es llevado por un compresor al reactor.

Mezclado. Para favorecer una rápida oxidación se calienta el efluente del reactor en una sola fase homogénea: aire, orgánicos y agua supercrítica.

Reacción. Los orgánicos se oxidan en una reacción rápida pero controlada, esta es exotérmica (550-650 °C) y se aprovecha la corriente caliente para precalentar o generar vapor.

Separación. Los efluentes son conducidos a un ciclón donde son separadas las sales inorgánicas. Una parte del efluente gaseoso se recircula para acondicionar la alimentación al proceso.

Al bajar las condiciones de presión y temperatura se manda a separadores gas/líquido (flash) de alta presión

El efluente del flash de alta presión, se manda a otro separador gas/líquido de baja presión. Los efluentes consisten principalmente por vapor sobre todo de CO₂ que se ventea. El efluente líquido es sobre todo agua limpia.

Ventajas y desventajas de proceso OACS

Ventajas:

Se aplica a gran variedad de residuos que contengan compuestos oxidables (ideal para tratar suelos contaminados).

Los efluentes se encuentran libres de componentes producidos por la incineración: NO_x, dioxinas, y material particulado, los productos producidos en la reacción no son tóxicos y son de fácil manejo.

Las temperaturas que se manejan (450 a 600 °C) son menores que del proceso de incineración (800 a 1400 °C) requiriéndose menor energía.

Desventajas:

~~Se requiere equipo de alta resistencia a la presión y corrosión, como aleaciones de níquel, o Hasteloy C276 o bien materiales cerámicos, con lo cual aumenta los costos de mantenimiento.~~

Las sales que se precipitan pueden causar problemas de taponeo en las líneas que manejan que las contienen, sobretodo en los recipientes de alta presión y en los sistemas de reducción de presión.

Proceso de arco de plasma

Las antorchas de arco de plasma generan plasmas ionizados a temperaturas que van de los 3000 a 12000 °C, existiendo actualmente distintos diseños de este equipos. A estas temperaturas, los distintos diseños de este tipo de equipos. A estas temperaturas, los

materiales a ser tratados pueden ser pirolizados completamente. Los orgánicos en presencia de pequeñas cantidades de oxígeno son oxidados para formar un gas consistente en hidrógeno, monóxido de carbono y dióxido de carbono, y pequeñas moléculas de hidrocarburo como metano, etileno, y acetileno. La fuente de oxígeno puede ser vapor o aire empleado para el plasma. algunas antorchas emplean plasmas no oxidables como nitrógeno o argón.

Los hornos de arco de plasma han sido desarrollados principalmente para la recuperación de metal de desechos en las fundidoras. ambos, arcos no transferidos (dos electrodos independientes) y arcos transferidos (metales fundidos formando una parte del electrodo), han sido empleados. Hornos de alta capacidad de fundición (aproximadamente 45 ton./hora) han sido reportados, con consumo de energía de 9 MW. Más recientemente, la tecnología ha sido aplicada con gran éxito a desechos hospitalarios, sólidos mezclados, líquidos, como bifenilos policlorados. La eficiencia de la destrucción reportada de los bifenilos y CCl₄ es del 99.9999 %.

Los procesos de arco de plasma también pueden ser aplicados para la destrucción de compuestos procedentes de otros tratamientos, como la hidrólisis. Los hornos empleados en este tipo de proceso, pueden a su vez manejar desechos que se encuentren en estado sólido. Los gases producidos se encuentran a una temperatura menor que el plasma, debido a que la reacción que ocurre es endotérmica, así mismo requerirá de ser oxidado en un segundo quemador para ser los compuestos totalmente oxidados. los productos de esta combustión requerirán tratamiento posterior, en caso de que contengan sustancias como el HCl.

Ventajas y desventajas

Altas eficiencia de remoción que, alcanzan hasta de 99.999 %

Desventajas:

Son de costos relativamente altos.

Los hornos de este tipo son muy complejos y su operación requiere de un estricto control, así como de un mantenimiento eficaz, por ejemplo los electrodos tienen que ser cambiados regularmente en periodos cortos.

Procesos de vidrio fundido (Molten Glass processes)

Este tratamiento a sido desarrollado por las compañías norteamericanas Molten Metal Technology y Ikem Technology, para la destrucción y/o inmovilización de desechos peligrosos y radiactivos.

Este proceso puede destruir combustibles y algunas porciones tóxicas de desechos peligrosos y simultáneamente incorporar residuos como cenizas y metales pesados, dentro de un forma estable de vidrio. El producto final queda reducido a una pequeña porción la cual es fijada dentro de una matriz de vidrio (borosilicato) denso, estable y cristalino.

El proceso de vidrio fundido opera por el principio de "calentamiento de Joule". Dos electrodos son introducidos (en este caso un suelo contaminado), por donde se aplica un voltaje eléctrico, pasando la corriente através de componentes iónicos presente en el vidrio.

La resistencia eléctrica del vidrio fundido genera calor, dentro de los confines de los electrodos cuando el voltaje es aplicado, alcanzando temperaturas de hasta 2 000 °C. El calor es distribuido uniformemente dentro del vidrio fundido por corrientes convectivas en el fluido.

Los procesos Molten Glass se dividen en tres categorías básicas, siendo potencialmente aplicables a una gran variedad de desechos

1. Vitrificación *In Situ*
2. Hornos de fundición de vidrio verticales
3. Hornos de fundición de vidrio horizontal

Los tres tipos se basan en la destrucción de compuestos orgánicos y de nitratos presentes en el desecho, inmovilizando las porciones residuales dentro de una matriz de vidrio.

El volumen reducido dependerá de la composición, destructibilidad y densidad del desecho llegando a obtener una relación de 2 a 100 con respecto al original.

Ventajas y desventajas del proceso Molten Glass

Ventajas:

Existe una reducción de volumen de hasta un 98% del desecho original

Existen una eficiencia de remoción entre el 99.97 - 99.999 %

~~Puede aplicarse a una gran variedad de desechos, incluidos alguno líquidos radiactivos~~

Los remanentes son inmovilizados en un matriz de vidrio estable, durable e impermeable

Desventajas:

Es costo relativamente alto.

En caso de tratarse de lodos o haber paros, se generan emisiones de gases y partículas las cuales se tienen que controlar por lo que se incrementa su costo.

Pirólisis con Metal Fundido (Molten Metal)

Este proceso pertenece a la categoría de procesos de pirólisis a baja presión y altas temperaturas. El principio del proceso se basa en un baño de metal fundido como el cobre.

hierro o cobalto, que se mantiene a temperaturas de 1 650 °C en el cual se descomponen los desechos orgánicos térmicamente y se disuelve el material inorgánico para formar una escoria. El baño se calienta por medios de una aplicación de corriente eléctrica transmitida por el electrodo que se encuentran en el baño. Los desechos se introducen en el fondo del baño donde se descomponen en pequeñas moléculas o átomos dentro de la fase líquida. Los gases formados son enviados hacia un control de emisiones en donde la oxidación es completada y los sólidos son removidos. Una escoria fundida inorgánica e insoluble en el metal líquido surge a la superficie y se remueve. Los productos gaseosos finales son principalmente CO, H₂ y trazas de CO₂.

Actualmente, la compañía Molten Metal technology, inc., anuncio que la agencia de protección ambiental de E.U.A, ha reconocido que está tecnología de prevención, reciclamiento y destrucción de desechos peligrosos y no peligrosos y que esta comercializando como un procesamiento de extracción catalítica.

En nuestro país, la compañía Celanese Mexicana, anuncio que construirá un sistema para reciclamiento de desechos peligrosos y no peligrosos, con la incorporación de la tecnología de Metal Molten propietario de el procesamiento de extracción catalítica.

Esta instalación será llevada acabo en el Edo. de Veracruz, en el complejo petroquímico la cangrejera, la infraestructura será provista por Celanese y la operación será llevada por la compañía Molten metal. El sistema de procesamiento de extracción catalítica, será diseñado para tratar y reciclar 50 000 toneladas por año de desechos petroquímicos, de los que se esperan ser usados como materia primas en la manufactura de otros productos. La operación de dichas instalaciones comenzara finales de 1997

Ventajas y desventajas

Ventajas:

Su tecnología y operación se fundamenta en la producción de acero, la cual se encuentra bien desarrollada.

Es aplicable a una amplia gama de desechos orgánicos e inorgánicos: líquidos, sólidos, gases y lodos.

No requiere una unidad de postratamiento, como en un proceso de combustión.

Desventajas:

Es de altos costos

Los gases requieren tratamiento posterior oxidándolos en una unidad separada

Incineración catalítica

La incineración catalítica consiste en una técnica para el control de residuos orgánicos principalmente en fase gases y/o vapor, donde se realiza una oxidación por la ayuda o presencia de un catalizador. Un catalizador consiste en un sustancia (normalmente un metal

noble como rodio, platino, oro o iridio; un acarreado, que consiste en un óxido metálico de gran área superficial y un soporte como la alumina o magnesia.) que acelera la tasa de reacción a una determinada temperatura sin sufrir un cambio apreciable durante la reacción.

Las temperaturas de operación en los incineradores catalíticos son menores a 573 °C, mientras que las temperaturas en la incineración térmica convencional son mayores a 760 °C.

El principio de la reacción catalítica se basa en la adsorción de las moléculas del gas o vapor sobre las superficies activas del catalizador donde se lleva a cabo la reacción de oxidación.

Descripción del proceso

1. Calentamiento de la fase gaseosa y transferencia de masa de los reactantes a la película superficial del catalizador.
2. Difusión de los reactantes adsorbidos dentro de la película superficial.
3. Reacción de oxidación entre los reactantes.
4. Difusión y desorción de los productos de reacción.
5. Calentamiento de la fase gaseosa y transferencia de masa de los productos liberados en la superficie del catalizador

Ventajas y desventajas de la incineración catalítica.

Ventajas

Se aplica con gran éxito el tratamiento a residuos en fase gas o vapor.

Se manejan temperaturas menores, que en un proceso de incineración térmica.

Se consume menor cantidad de energía (combustible). Al manejarse temperaturas menores, se disminuyen costos de mantenimiento al aumentar la vida de los materiales.

Desventajas

Esta técnica no es aplicable a residuos sólidos y para residuos líquidos es de aplicación limitada.

Es de alto costo los catalizadores.

Los catalizadores pueden envenenarse o apelmazarse, por resultado de las reacciones disminuyendo su tiempo de vida.

2.4 Biotratamientos

El tratamiento biológico es conocido por ser aplicado comúnmente en los procesos del tratamiento de residuos y aguas residuales domésticas y aguas residuales industriales con una concentración no limitante de sustancias nocivas con el fin de eliminar los contaminantes orgánicos. Actualmente se desarrollaron procesos biológicos con cultivos adaptados para tratar residuos líquidos industriales altamente contaminantes o lixiviados.

El tratamiento biológico tiene por objeto reducir la materia orgánica biodegradable contenida en las aguas residuales y los residuos sólidos a materia inorgánica y materia celular que se integre en el ciclo de vida natural. En el caso de los residuos peligrosos, sea líquidos o sólidos, se aplican los tratamientos biológicos con el fin de degradar las sustancias orgánicas y convertirlas a sustancias no-dañinas. Básicamente se entiende como biodegradación la recirculación o el retorno hacia el terreno y hacia el agua del carbón, el nitrógeno y otros minerales. Este proceso es esencial para el mantenimiento adecuado de los ciclos del carbón y del nitrógeno en la naturaleza.

Los organismos más importantes en los procesos de conversión son los microorganismos como las bacterias, los hongos y los protozoarios. Estos microorganismos son capaces de degradar muchos compuestos bajo un sin fin de condiciones diferentes. Una población mixta de bacterias, hongos y protozoarios puede modificar o transformar muchos compuestos.

Aunque muchos compuestos sintéticos son resistentes al ataque microbiano o son tóxicos para los microorganismos, se han encontrado en las áreas contaminadas con estos compuestos sintéticos diferentes organismos capaces de degradar muchos de estas sustancias a distintas velocidades.

Los procesos biológicos son muy económicos dado que las reacciones destructivas, las cuales son mediadas por la actividad biocatalítica natural, se pueden llevar a cabo con rapidez relativa a temperaturas ambiente

Las bacterias, y en menor grado, los hongos, son responsables de las reacciones de biodegradación en los procesos biológicos de tratamiento. A pesar de que la mayoría de las reacciones de degradación forman parte del metabolismo normal de las células, el objetivo principal de este metabolismo no es la eliminación de contaminantes ambientales, sino el crecimiento y el desarrollo de la célula microbiana.

Los microorganismos crecen y se mantienen mediante la extracción de nutrientes, electrones y energía de sus ambientes. La fuente de energía puede ser la luz solar, alguna sustancia inorgánica en forma reducida o un compuesto orgánico. Los nutrientes son el C, N, P, S y otros elementos traza (p.e. hierro, magnesio y calcio) que constituyen los compuestos fundamentales de las células: carbohidratos, aminoácidos, lípidos y ácidos nucleicos. Algunos microorganismos crecen con preferencia como biopelícula sobre alguna superficie, otros en suspensiones dispersos o formando floculos. Para poder diseñar los procesos de tratamiento, se requiere conocer a parte si los organismos pertenecen al grupo de las obligadamente aerobicos (solamente crecen en presencia de oxígeno), obligadamente anaeróbicos (únicamente crecen en condiciones sin oxígeno) o las facultativas (crecen sin o con oxígeno).

De un punto de vista bioquímico, se requieren electrones para reducir muchos de los nutrientes hacia la especie química en que son empleados por los constituyentes, así como para generar la energía necesaria para sintetizar y mantener la biomasa.

El proceso básico más importante en el metabolismo microbiano es la transferencia de electrones desde un sustrato donador hacia un sustrato receptor de electrones. La oxidación del donador libera electrones que son portados por un cosustrato interno reducido, quien transfiere parte de ellos a un sustrato receptor de electrones. Esta transferencia genera energía en forma de trifosfato de adenosina (ATP), compuesto con alto nivel energético.

El resto de los electrones y parte del ATP se emplean para generar nueva biomasa, mientras que el ATP remanente satisface las necesidades de mantenimiento de la célula.

Debido a que la transferencia de electrones entre donadores y receptores es esencial para crear y mantener la biomasa, estos compuestos se denominan sustratos primarios. Los compuestos orgánicos biodegradables constituyen los donadores y los receptores comúnmente son el O_2 , el NO_3^- , el NO_2^- , el SO_4^{2-} o el CO_2 , aunque algunos compuestos orgánicos pueden emplearse en las fermentaciones.

Es muy importante señalar que una reacción de biodegradación sólo puede ocurrir si los microorganismos poseen las enzimas para catalizar la reacción.

Por otra parte también se subraya que el compuesto que se desea degradar no debe ser necesariamente sustrato primario para que sea metabolizado por la bacteria. Puede ser biodegradado como sustrato secundario, es decir, como aquel cuya oxidación (o reducción) produce flujos mínimos de energía y electrones para dar mantenimiento a la biomasa que los degrada.

Se reconocen dos clases de sustratos secundarios

La primera, los sustratos secundarios de baja concentración, son aquellos que contribuyen a los flujos de electrones y energía para el metabolismo de las células, pero estos flujos son inferiores al mínimo para mantener la biomasa, debido a la baja concentración del sustrato.

La segunda clase de denomina cometabolito, y son aquellos compuestos cuya transformación no puede generar flujos de energía y electrones. Sin embargo, los cometabolitos son transformados mediante metabolismo incidental, en el cual una enzima que normalmente reacciona con un compuesto diferente pero relacionado, cataliza en una misma operación a ambos sustratos.

Por lo cual se requiere saber antes de diseñar un modelo de biodegradación para un contaminante específico a degradar: si esta sustancia es un sustrato primario o secundario, si existen otras sustancias que influyen en la cinética de biodegradación del contaminante, si toda o solamente parcialmente la biomasa activa es capaz de detoxificar al contaminante.

Concluyendo, los microorganismos crecen si encuentran las condiciones adecuadas. Ellos requieren de una fuente de carbón y de energía. Muchas de las sustancias peligrosas satisfacen una o las dos condiciones. Aparte requieren de nutrientes como nitrógeno,

phosphoro y metales traza. Organismos aerobicos requieren una fuente de oxígeno, algunos aprovechan para este fin sustancias inorgánicas oxidadas p.e. nitratos. Para diseñar un proceso de tratamiento se deben considerar estas condiciones y adicionalmente las condiciones del medio ambiente, como pH y temperatura adecuados y evitar la presencia de sustancias tóxicas para los microorganismos elegidos. En los procesos de reactores, estas condiciones se pueden controlar relativamente fácil, pero en el tratamiento de restauración de suelos *in situ* el problema del manejo y control es más complejo.

El principal objetivo de los tratamientos biológicos convencionales de aguas residuales o residuos líquidos industriales es la reducción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO). El éxito que un tratamiento convencional puede alcanzar en la degradación de residuos de origen industrial depende del destino del residuo en las instalaciones del tratamiento.

Existen diferentes procesos en competencia que contribuyen con el destino final de un compuesto:

1. Biodegradación. El compuesto se destruye al menos parcialmente. Biodegradación no ocurre si el compuesto no es degradable por organismos aerobicos o anaerobicos.

2. Volatilización. Los compuestos con constantes de la Ley de Henry relativamente elevado pueden escaparse de las instalaciones de tratamiento mediante volatilización hacia la atmósfera a través de la interfase aire-agua o aire-sólido o mediante aireación forzada o ventilación de un bioreactor. Esto puede ocurrir p.e. en el tanque de sedimentación primario, en el bioreactor y en el tanque de sedimentación secundario.

3. Sorción en sólidos y precipitación. Los compuestos orgánicos que se separan del agua y se absorben en los sólidos tales como las células microbianas (poseen un coeficiente octanol agua relativamente elevado) eventualmente abandonan las instalaciones de tratamiento mediante la disposición de los sólidos. Es muy frecuente que los metales pesados se precipiten y remuevan junto con los sólidos de un tratamiento biológico.

4. Descarga. Los compuestos que no se biodegradan, volatilizan o absorban en los sólidos serán descargados directamente hacia el medio acuático o terreno que reciba a los residuos tratados.

Cuadro 1 Propiedades de algunos contaminantes prioritarios

Compuesto	Constante de biodegradación ($k_b \times 10^2$ L/mg-h)	Constante de la Ley de Henry ($H \times 10^3$ atm·m ³ /mole)	Constante de partición octanol-agua (K_{ow})
Acetona	0.020	$2.5 \times 10_{-2}$	0.57
Antraceno	0.30	$8.6 \times 10_{-2}$	$2.8 \times 10_2$
Benceno	2.9	5.5	140
Clorobenceno	0.30	3.6	$6.9 \times 10_2$
Cloroformo	$< 10_{-3}$	3.4	91
Clordano	$3.0 \times 10_{-4}$	$9.4 \times 10_{-2}$	$3.0 \times 10_5$
2,4-diclorofenol	10.	$2.8 \times 10_{-3}$	790
Endrin	$1.0 \times 10_{-2}$	$4.0 \times 10_{-4}$	$3.4 \times 10_4$
Etilbenceno	3.0	6.4	1400
Fluoreno	1.0	$6.4 \times 10_{-2}$	$1.5 \times 10_4$
Hexaclorobenceno	3.0_{-4}	0.68	$2.8 \times 10_6$
o	10.	0.46	2000
Naftaleno	1.5	$1.3 \times 10_{-2}$	72
Nitrobenceno	$1.0 \times 10_{-2}$	$5.1 \times 10_{-3}$	$8.0 \times 10_6$
Pireno	$3.0 \times 10_{-4}$	11.0	1100
Tetracloroetano	10.	6.7	620
Tolueno	$1.0 \times 10_{-4}$	9.1	260
Tricloroetileno	0.30	11.9	140
Cloruro de vinilo			

El cuadro 1 presenta las propiedades de algunos contaminantes prioritarios referentes a los procesos descritos, mediante parámetros para la k_b que es la constante de biodegradación para lodos activados, la H, que corresponde a la constante de la ley de Henry para la partición agua-aire y la K_{ow} que es la constante de partición octanol agua, equivalente al coeficiente de partición agua-lodos.

Por ejemplo, al comparar los valores de estos parámetros para el 2,4-diclorofenol, el tricloroetileno y el plaguicida endrin, se puede estimar razonablemente que sus principales destinos respectivos serán la biodegradación, la volatilización y la sorción en lodos.

El destino de un compuesto que se somete al tratamiento biológico depende también de los parámetros de operación del proceso, como la tasa de aeración, el tiempo de retención y otros. Por lo cual se requiere para obtener una estimación más exacta del destino del compuesto, de modelos matemáticos que consideran los diferentes procesos o de mediciones experimentales.

Se han desarrollado para este fin varios modelos que se definen como modelos de biotransformación que realmente es la expresión más correcta que biodegradación. Biotransformación es definida como el cambio de composición de una sustancia por la acción de procesos biológicos. Existen diferentes categorías de reacciones involucradas en los procesos de biotransformación:

a) mineralización: reacción por la cual se lleva una sustancia orgánica a sus productos finales inorgánicos.

b) co-metabolismo: una situación en la cual el cultivo debe tener una fuente de energía alterna y una fuente de carbón para satisfacer sus requerimientos anabólicos

c) detoxificación: un proceso en el cual se llevan sustancias tóxicas a productos no tóxicos.

4) activación: lo contrario de detoxificación, o sea donde una sustancia no tóxica se transforma en productos tóxicos para el proceso biológico.

Para describir los procesos de biotransformación se usan recientemente modelos que combinan balances de materia e información sobre la mineralización.

Cinética de la biotransformación (Satish et al , 1992)

La mayoría de los modelos de biodegradación se basan en el trabajo de MONOD. El modelo MONOD se puede modificar para incluir el efecto de un compuesto tóxico---incluyendo la inhibición del sustrato---considerando que tóxicos alteran los parámetros cinéticos como sigue:

$$\frac{dS}{dt} = - \frac{k_0 (k^*) S M}{S + K_{S0} [K^*_s]} \quad (1)$$

$$\frac{dM}{dt} = Y \left(\frac{-dS}{dt} \right) - k_d M \quad (2)$$

Donde:

dS/dt = Tasa de la conversión del sustrato, mg L⁻¹ - hr

dM/dt = Tasa de crecimiento de la biomasa que degrada al sustrato, mg/L-hr

S = concentración del sustrato tóxico, mg/L

M = biomasa activa que degrada al sustrato orgánico, mg/L

Y = coeficiente de producción de biomasa, mg SSV/mg sustrato convertido,

k_d = coeficiente de decaimiento de la biomasa, 1/hr

k_0 = tasa de conversión máxima del sustrato, mg sustrato/ mg SSV - hr

K_{S0} = concentración del sustrato a la cual la tasa de reacción iguala a la mitad de la tasa máxima, mg/L

k^*, K_s^* = factores de inhibición relacionados con el efecto del tóxico sobre los parámetros cinéticos, k y K_s

Si el sustrato es tóxico para los microorganismos responsables para su degradación, se usa frecuentemente el modelo de HALDANE que se desarrolló originalmente para describir cinéticas de enzimas. La ecuación (1) incluye el modelo HALDANE si

$$k^* = 1.0 \quad (3)$$

$$K^*_s = 1 + \frac{S^2}{K_{SO}K_H} \quad (4)$$

donde K_H es el coeficiente de inhibición de HALDANE definido como la concentración más alta del sustrato tóxico a la cual la conversión específica es igual a la mitad de la tasa máxima de conversión en ausencia de inhibición.

Los valores de k_0 , K_{SO} y K_H son estimados para adaptarse a las ecuaciones de 1 a 4 por datos experimentales de conversión del tóxico.

Un problema técnico de gran importancia al manejar residuos con sustancias peligrosas es la naturaleza de los productos finales. Un ejemplo común es la producción de cloruro de vinilo que con frecuencias se presenta en la biodegradación del tricloroetileno.

Debido a que el cloruro de vinilo es mucho más tóxico que el tricloroetileno, el proceso de biodegradación ha reducido la DBO del sistema, creando un problema muy grave de toxicidad al ambiente.

Otro problema común a la biodegradación de residuos tóxicos es la producción de intermediarios más tóxicos si el material no ha sido mineralizado completamente. Cuando ocurre la biotransformación, se debe determinar la toxicidad de los nuevos productos (o los intermediarios que se presenten). Por ejemplo, al tratar PCB con pesos moleculares superiores a 1248, hidrocarburos poliaromáticos con anillos de más de 5 carbonos y residuos mixtos con radioisótopos se pueden generar intermediarios de alta toxicidad.

Limitaciones para un proceso de biotratamiento (Freemann, 1989):

El grado de biodegradabilidad

Muchos compuestos son relativamente fáciles a degradar, otros muy difíciles. Es cuestión del sistema como también de los tiempos determinados que declaran a una sustancia fácilmente, difícilmente o no-biodegradable. Hasta que no se logre desarrollar al conjunto microbiano adecuado y se mantiene este en el sistema, un compuesto conocido como biodegradable no lo será. Se conoce que para mejorar la tasa de biodegradación o acelerar el proceso se pueden aplicar procesos físico-químicos anteriormente al proceso biológico aeróbico. En cualquier caso se reducen los costos de los tratamientos posteriores, reduciendo la carga orgánica en el residuo por medios de un tratamiento biológico como primer etapa.

Aplicación de tecnología convencional

Lixiviados como también aguas residuales con altas concentraciones de materia orgánica se pueden tratar en sistemas de tecnología convencional de reactores. Se debe observar que en estos sistemas un suministro y control adecuado del mezclado, oxígeno, nutrimentos, temperatura y pH se realice. Existen algunos estudios que tratan de aplicar estos sistemas también a suelos contaminados, sin embargo la mayoría de estos se encuentran en una fase de desarrollo e investigación.

Inorgánicos tóxicos y no-tóxicos

Mientras que se pueden desarrollar algunas comunidades de microorganismos resistentes a niveles de concentración mediana de metales pesados, la deposición y la acumulación de precipitados de estos metales si puede inhibir la actividad de la comunidad microbiana. Por lo cual se realizan pretratamientos para remover estos contaminantes y evitar que fallen los sistemas. La concentración de sales a más de 2 - 5% también puede inhibir el desarrollo de los microorganismos.

Orgánicos tóxicos y notóxicos:

La remoción selectiva de una toxina orgánica en particular por medios de un tratamiento químico o físico-químico es muy difícil. Si la sustancia es biodegradable y si se puede aislar el organismo adecuado y en un medio enriquecido transferir a la comunidad microbiana y mantener en ella, entonces se pueden diseñar sistemas de biotratamiento adecuados para mantener a la toxina a niveles inferiores al nivel tóxico.

Si la toxina no es biodegradable resultan problemas más graves y únicamente se pueden desarrollar microorganismos resistentes a ella.

Variaciones de carga

Las variaciones de carga tienen importancia para sistemas de tratamiento de lixiviados y aguas residuales altamente contaminadas pero no se aplica para el tratamiento de suelos contaminados. La concentración de las sustancias a tratar en estos medios líquidos varía con el tiempo, influida por muchos factores como por ejemplo la lluvia, procesos de producción etc. Esto puede llegar a que las concentraciones de las sustancias a tratar rebasen los límites de toxicidad en ciertos periodos, lo que se refleja en una reacción de degradación negativa. Para evitar las fluctuaciones en la carga de los contaminantes se instalan tanques de igualación conocidos de los procesos de tratamiento de aguas residuales.

Requerimientos de nutrimentos

El nitrógeno y el fósforo son los nutrientes que comúnmente se agregan al sistema biológico. Si uno de los dos no se encuentra en cantidades suficientes en el sistema, el proceso biológico pierde su eficiencia y la velocidad de degradación disminuye. Aparte se deben hidrolizar estos nutrientes a su forma inorgánica, si no, se requiere de una adición. A veces puede ocurrir que el fosfato reacciona con los cationes presentes en el material peligroso y se precipita, agregando un quelante se evita esta reacción.

pH

El intervalo más adecuado para un desarrollo de microorganismos es de 6 a 8 pH. Por lo cual se requiere de un control del pH en el proceso, que puede ser un sistema convencional y comercial.

Oxígeno

En el caso de tratarse de sistemas aerobios el suministro adecuado de oxígeno puede representar un problema en el caso de remediación de sitios o en el tratamiento de suelos en el sitio. Muchos compuestos orgánicos se degradan por procesos aerobios. Pero la penetración del oxígeno con la profundidad del suelo es limitada y por lo cual también es limitada la tasa y extensión de la degradación biológica. Para el tratamiento de medios líquidos se aplican los equipos y diseños convencionales de aeración. En cuenta hay que tomar en este caso, que puede ocurrir un mayor stripping de orgánicos volátiles en los sistemas mecánicos de aeración que en los sistemas de inyección.

En el caso de tratarse de sistemas anaerobios hay que poner especial cuidado en el control del sellado del sistema para evitar la introducción de oxígeno. Como primeros aceptores de electrones sirven moléculas oxigenadas, como lo son los nitratos y sulfatos. La formación de metano está restringida hasta que estas moléculas estén reducidas con el hidrógeno a disposición. El metabolismo anaeróbico también depende de los sulfuros, que también sirven para precipitar metales pesados de las soluciones y de esta forma prevenir la toxicidad de algunos desechos, pero estos sulfuros pueden llegar a causar una inhibición y evitar la formación de metano.

Para mantener una comunidad de microorganismos facultativamente anaeróbicos, se requiere de cambios periódicos en la disponibilidad de oxígeno y la falta de este. Estos organismos se requieren para permitir la ruptura de ciertos compuestos bajo condiciones anaerobias y posteriormente la biodegradación y asimilación bajo condiciones aeróbicas.

Temperatura

Cambios en la temperatura pueden tener influencias considerables sobre el comportamiento del sistema de biotratamiento. Cada microorganismo tiene su intervalo de temperatura que le favorece el crecimiento. Aparte pueden tener cambios bruscos una influencia negativa sobre la degradación, sin embargo si se observa que en una adaptación gradual se mantienen las eficiencias de remoción de los contaminantes. El mantener la temperatura adecuada en los reactores es de importancia para sistemas que se encuentran en climas fríos o muy cálidos. En el caso de sistemas anaeróbicos se aconseja que debe haber cambios de más de 2° C por día. Se pueden usar sistemas con cultivos de organismos mesófilos en el intervalo de 30 a 40° C o de termófilos en el intervalo de 50 a 75° C.

Descripción de algunos procesos aeróbicos

Diagrama de flujo general:

El diagrama de flujo real del proceso tratamiento biológico de lixiviados y aguas residuales con alto contenido de contaminantes puede variar dependiendo del caso específico de tratamiento. Sin embargo, se incluye normalmente una etapa de igualación y almacenamiento, ajuste de pH, precipitación química y clarificación, biotratamiento, tratamiento final (p.e. con carbón activado) y manejo de lodos. A veces se tiene que considerar el tratamiento de los gases. Se debe enfatizar que el dimensionamiento final de las singulares etapas del proceso dependen de los resultados obtenidos en los ensayos de tratabilidad de laboratorio y de la planta piloto. Los lodos producidos se deberán manejar como materiales peligrosos.

En si se pueden distinguir dos tipos de reactores: el sistema convencional de flujo continuo y el sistema batch secuencial, un proceso periódico rígido por el tiempo.

El sistema batch simula al sistema de flujo continuo realizando las diferentes operaciones y procesos unitarios en un mismo tanque pero con diferentes tiempos de retención. La flexibilidad del sistema batch a cambios requeridos de tiempo de retención no puede competir el sistema de flujo continuo, solo si en este sistema se cambiaran los tanques ajustando sus dimensiones. Dado que los estudios de tratabilidad son imperfectos y como los lixiviados y las aguas residuales con alto contenido de contaminantes muestran variaciones en sus características con el tiempo, el sistema batch ofrece excelentes alternativas de tratamiento en comparación con el sistema de flujo continuo.

Procesos aerobicos para fases líquidas

El proceso aeróbico más conocido es el de lodos activados y usualmente se aplica a aguas residuales municipales. La diferencia entre este y el aplicado para el tratamiento de lixiviados o aguas residuales con altas cargas consiste en la comunidad bacteriana aplicada en el proceso. Sin embargo se encuentran a veces procesos modificados para aumentar la eficiencia de la degradación. El más conocido es el proceso PACT (powdered activated-carbon treatment process), que incluye la adición continua de carbón activado en polvo a los lodos activados para adsorber orgánicos tóxicos y evitar efectos indeseados. El lodo mezcla de lodo activado y carbón generado en el clarificador secundario usualmente se incinera. En este proceso se pueden manejar concentraciones de carbón típicas de 20 a 200 mg/l.

Biofiltración de la fase gaseosa

Flujos de gases conteniendo compuestos orgánicos peligrosos se generan en muchos procesos. P.e.: por volatilización en el tratamiento secundario de aguas residuales por la aeración, en la limpieza de aguas subterráneas contaminadas que emplea "air stripping", en procesos industriales que aplican disolventes.

El tratamiento más común es la adsorción a carbón activado, que es costoso y por sí mismo no destruye los contaminantes. La aplicación de la biofiltración para la destrucción de compuestos orgánicos volátiles es actualmente un campo de investigación muy activo y se probó hasta la fecha para gases provenientes de procesos químicos, imprentas, freidoras de pescado, plantas de tratamiento de aguas industriales y de rellenos sanitarios.

El diseño en general de un biofiltro consiste de un reactor de lecho empacado. Sin embargo solamente existe poca o nada de fase líquida en el filtro. El relleno consiste de la fase gaseosa a tratar y el material de soporte sólido sobre el cual se mantienen los microorganismos. El flujo gaseoso suministra los nutrientes esenciales y humedad para los microorganismos, a veces el mismo soporte proporciona los nutrientes requeridos. La mineralización del medio y un crecimiento celular en exceso requieren frecuentemente que se remezone periódicamente y eventualmente se reemplace el medio de soporte.

Descripción de algunos procesos anaeróbicos

En comparación con sistemas aerobicos, muestran los sistemas anaerobicos las siguientes ventajas: los requerimientos de energía para la aeración se evitan, la generación de sólidos generados por el crecimiento celular es aproximadamente 20 veces menor, se pueden alcanzar tasas muy altas de destrucción, se genera metano que se puede vender o usar como combustible, se requiere menos terreno aplicando reactores comerciales de alto rendimiento. Sin embargo presentan los procesos anaerobicos un costo mayor de inversión y operación por el calentamiento y sellado requerido en muchos de ellos que los procesos aerobicos.

El filtro anaerobico:

El común principio de todos los diferentes modelos es un soporte sobre el cuál crecen los microorganismos en forma de biopelícula

Los más importante tipos de filtros son

- Reactores de lecho fijo: lechos de un material con mucha superficie, con flujo ascendente o decendiente. Cargas orgánicas de 10 a 20 kg/(m³ d) con una remoción de 80 a 95% se pueden alcanzar. El reactor es relativamente estable a cambios súbitos de altas cargas o tóxicos.
- Reactores de lecho fluidizado: el relleno consiste de material inerte como p.e. arena que se mantiene en suspensión por medios de velocidades hidráulicas adecuadas sin un transporte fuera del reactor. El reactor puede manejar tasas altas de carga orgánica de más de 15 kg/(m³ d).

El lecho anaeróbico de lodos en flujo ascendente

Este reactor consiste de partículas de lodo altamente sedimentables. La alimentación del reactor se realiza através del fondo del reactor y el flujo atraviesa el lecho granular de lodos hacia arriba. Se manejan cargas de DQO a veces mayores de 40 kg/ (m³ d).

Una variante especial presenta el proceso de "reactor anaerobico de lecho expandido de carbón activado granular" (GAC). Se aplica este proceso especialmente en el caso de tratar desecho con una mezcla de compuestos orgánicos fácilmente degradables y biológicamente resistentes. El medio de GAC sirve para restar los compuestos inhibidores de la fase acuosa y de esta forma permitir el uso de las sustancias fácilmente degradables. El cuadro 2 muestra las eficiencias de remoción observadas en este tipo de proceso:

Cuadro 2: Eficiencias de remoción de un lecho fluidizado de GAC anaeróbico (Levin, 1993)

compuesto	concentración del influente (mg/l)	carga (g/kg GAC/día)	Por ciento de remoción (%)
catechol	200- 1000	1.29 - 6.45	>99
fenol	3- 2959	0.03 - 8.0	> 97
p-cresol	70 - 280	0.19 - 0.76	> 99
indol	50 - 300	0.14 - 0.8	> 99
quinolina	50 - 300	0.14 - 0.8	> 99
0 - clorofenol	2000	4.0	> 98
2,4-diclorofenol	400	0.8	> 99.99
2,4,6-triclorofenol	150	0.3	> 99.99
Di-n-butil-ftalato	0.215 - 100	0.002 - 0.8	> 83
naftaleno	30	0.24	> 99.9
p-nitrofenol	100	0.8	> 99.9

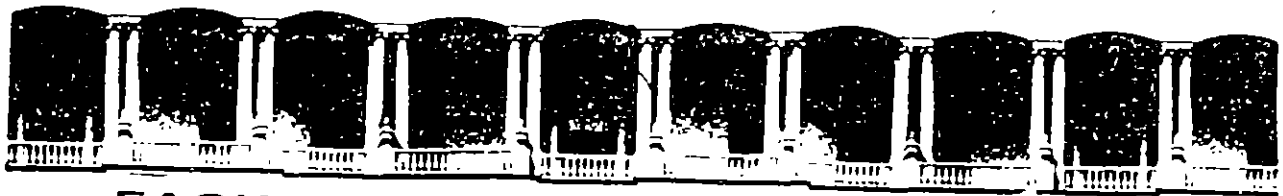
nitrofenol	100	0.8	> 99.9
nitrobenceno	0.5 - 100	0.005 - 0.8	> 98
lindano	10	0.08	> 99.9
acetona	10 - 755	0.1 - 4.0	> 96
metil etil cetona	12	0.1	> 97
metil isobutil cetona	10	0.01	> 94
tetracloroetileno	20	0.16	> 99.99
compuesto	concentración del influente (mg/l)	carga (g/kg GAC/día)	Porcentaje de remoción (%)
tricloroetileno	0.4	0.004	> 98
cloruro de metileno	1.2 - 20	0.01 - 0.16	> 96
1,1,1-tricloroetano	20 - 400	0.04 - 0.8	> 99.97
1,1 dicloroetano	0.1	0.001	> 87
tetracloruro de carbono	20	0.16	> 99.9
cloroformo	10-20	0.08 - 0.16	> 97
clorobenceno	1.1 - 20	0.01 - 0.16	> 85
1,2,4-triclorobenceno	0.2	0.002	> 93
etilenbenceno	0.6	0.006	> 86
tolueno	8.2 - 20	0.08 - 0.16	> 87

Otros reactores

- Reactores de dos etapas: En la primera etapa se realiza una hidrólisis de orgánicos insolubles y se fermentan otros orgánicos, sus productos catabólicos son la alimentación de los organismos en el segundo tanque, donde se realiza una metanogénesis eficiente. Especialmente aplicación encuentran estos reactores en el caso que las sustancias a degradar representen tóxicos para la metanogénesis, por la biotransformación realizada en el primer reactor se generan productos que si se pueden tratar en el segundo reactor.

- Lagunas con un contacto extendido de biomasa: El principio es un sellado del cuerpo de la laguna y su superficie contactando al flujo de desecho con la biomasa a lo largo de la laguna. En general es un proceso lento y requiere de relativamente largos tiempos de retención. Especialmente se aplica este proceso en sitios con una generación de desecho de poco volumen pero con alta concentración de DQO y donde el costo del terreno es un factor de menor importancia.

- Híbridos: Son combinaciones de los procesos presentados anteriormente.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**DIPLOMADO EN SISTEMAS DE CONTROL DE
RESIDUOS SOLIDOS Y PELIGROSOS**

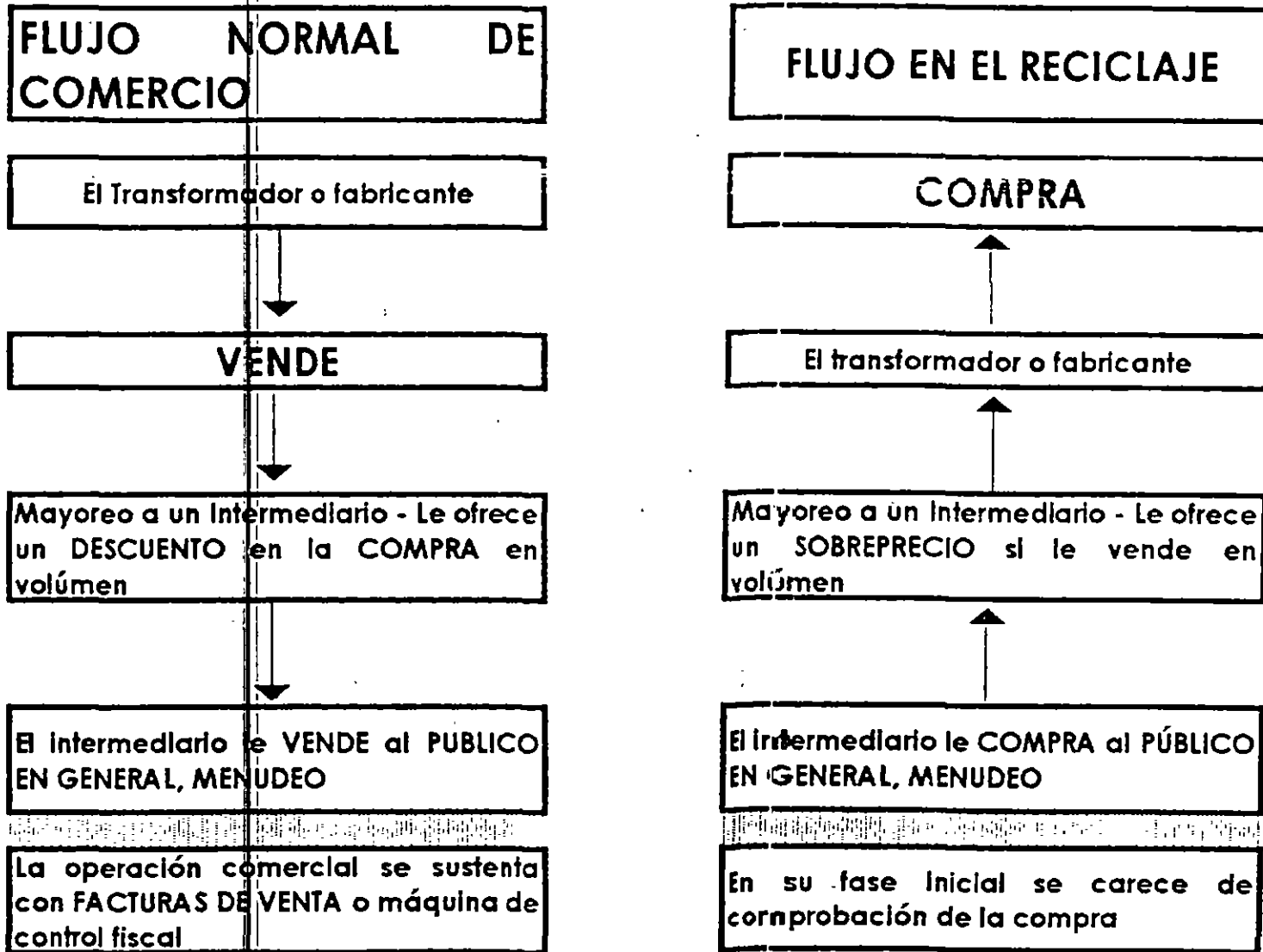
**MODULO III: PROCESOS DE TRATAMIENTO PARA EL
CONTROL DE RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES Y
PELIGROSOS**

INDUSTRIALIZACION DE RESIDUOS NO PELIGROSOS

Presentado por : LIC. MA. DE JESUS ANTUNES (INARE)

1996

LA COMERCIALIZACION EN EL RECICLAJE ES INVERSA



PROTOTIPOS DE COMERCIOS DE RECICLAJE

PROTOTIPO 1

MICROCOMERCIOS ESTABLECIDOS EN ACCESORIAS Y PATIOS EN LA PERIFERIA O CERCA DE LOS TIRADEROS - PUEDEN TENER HASTA 100 OPERACIONES DE COMPRA AL DIA - COMERCIALIZAN TODO TIPO DE MATERIALES (COLCHONES, HUESO, TORTILLA, PAN, FIERRO, METALES, VIDRIO, CARTON, PAPEL, PLÁSTICO, ETC) - SON CENTROS DE ACOPIO QUE REALIZAN UNA SELECCION Y PREPARACION SOMERA - PUEDEN ACOPIAR APROX. DE 3 A 10 TONS. MENSUALES POR RUBRO COMPRAN TOTALMENTE DE MENUDEO - VENDEN A COMERCIALIZADOS RES AMBULANTES O A PROTOTIPOS 2 Y 3 - SON EMPRESAS NETAMENTE FAMILIARES

PROTOTIPO 2

MINICOMERCIOS ESTABLECIDOS EN COLONIAS POPULARES DE LA CIUDAD COMPRAN PRACTICAMENTE TODO DE MENUDEO SIN FACTURA, ALGUNOS LLEGAN A TENER VEHICULOS PEQUEÑOS DE CARGA (CAMIONETAS O UN CAMION) - PREPARAN MANUALMENTE LOS MATERIALES MEDIANTE APLASTAMIENTO O CORTANDO CON HACHA, CONCENTRAN SU ACTIVIDAD COMERCIAL EN DOS O TRES RAMOS MAXIMO (CARTON Y METALES - VIDRIO Y METALES - ETC) SON CENTROS DE ACOPIO QUE PUEDEN MOVER MENSUALMENTE HASTA 700 TONELADAS EN TOTAL - VENDEN A PROTOTIPOS 3 Y 4

LOS PROTOTIPOS 1 Y 2 INTEGRAN EL 86% APROXIMADAMENTE DE LOS 5,000 COMERCIOS QUE SEGUN EL INEGI EXISTEN EN LA REPÚBLICA MEXICANA

PROTOTIPOS DE COMERCIOS DE RECICLAJE

PROTOTIPO 3

CONSTITUYEN EL 8% DEL TOTAL DEL COMERCIO ESTABLECIDO
MICROEMPRESAS DE MENOS DE 15 EMPLEADOS- SE ESPECIALIZAN EN RAMOS
DE MATERIALES (CHATARRA DE FIERRO, METALES, CARTON Y PAPEL, VIDRIO,
PLÁSTICO, ETC) -TIENEN MAQUINARIA Y EQUIPO DE CARGA. - PREPARAN, SELECCIO
NAN Y EMPACAN LOS MATERIALES- CONVIRTIENDO LOS SUBPRODUCTOS EN INSUMO
PARA LA INDUSTRIA - ENTREGAN DIRECTAMENTE AL TRANSFORMADOR (ACERIAS,
FUNDIDORAS, CARTONERAS, VIDRIERAS, DESCREMADORAS, PAPELERAS, ETC.).
COMPRAN A LOS PROTOTIPOS 1 Y 2 - MUEVEN MENSUALMENTE DE 700 A 4,000 TONS

PROTOTIPO 4

COMPONEN EL 6% DEL TOTAL DEL COMERCIO ESTABLECIDO
GRANDES EMPRESAS ESPECIALIZADAS EN LA PREPARACION Y PROCESAMIENTO DE
MATERIALES, ESTÁN ESPECIALIZADOS POR SECTOR, AUNQUE CADA DIA MAS SE
TIENDE A TENER UNA ACTIVIDAD MIXTA -CUENTAN CON EQUIPO DE CARGA Y MAQUI
NARIA MODERNA PARA REALIZAR PROCESOS ESPECIALES DE RECICLAJE.
MANEJAN GRANDES VOLUMENES- ENTREGAN DIRECTAMENTE AL CONSUMIDOR FINAL
O TRANSFORMADOR - REALIZAN COMERCIO EXTERIOR - COMPRAN EN SU TOTALIDAD
DE MAYOREO - LLEGAN A MOVILIZAR AL MES DE 4,000 A MAS DE 10,000 TONS.

Las Rs de la gestión integral de los residuos sólidos

- Reducir.
- Reutilizar.
- Reparar.
- Recuperar.
- Reciclar.
- Replantear.

Funciones Primarias de los envases

- Proteger y preservar.
- Contener y transportar.
- Informar, promover y atraer.
- Comodidad para el consumidor.
- Disminución de robos.

Definiciones de envases, embalajes y empaques

Envase

primario:

En contacto con el producto.

Envase

secundario:

Envoltura o caja que contiene el envase primario.

Embalaje:

Sistema para contener y transportar envases primarios o productos a granel.

Empaque:

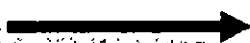
Material para amortiguamiento de choques y para relleno de cajas.

Principales materiales usados en envases para alimentos

- Acero (hojalata).
- Aluminio.
- Cartón.
- Papel.
- Plástico.
- Vidrio.
- Materiales complejos.

Función de los envases en la reducción de residuos

Preparación casera de 1000 pollos.



750 Kg de vísceras, plumas, cabezas y patas.

Procesamiento Industrial de 1000 pollos.

+

Aprovechamiento Industrial de vísceras, plumas, cabezas y patas.

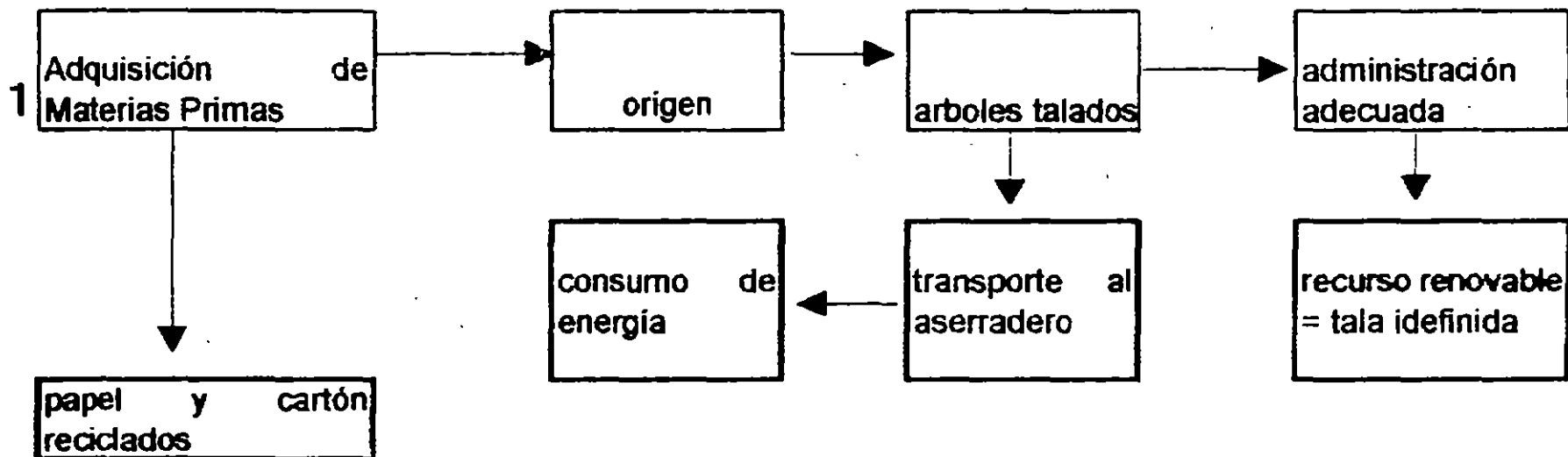


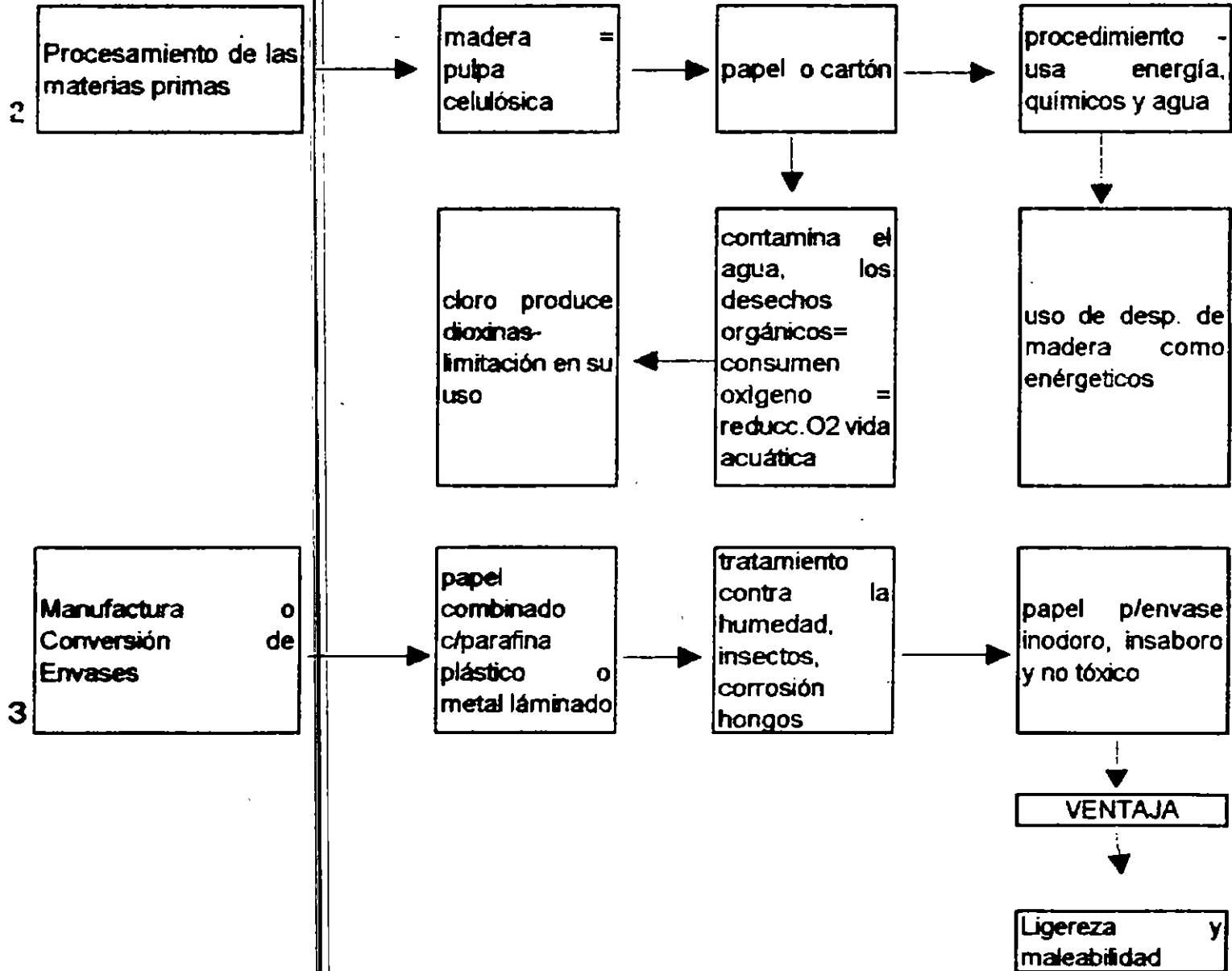
7 Kg de envases y envolturas.

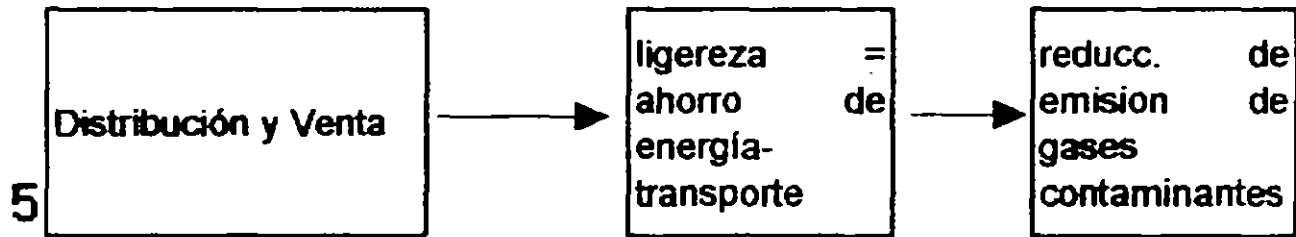
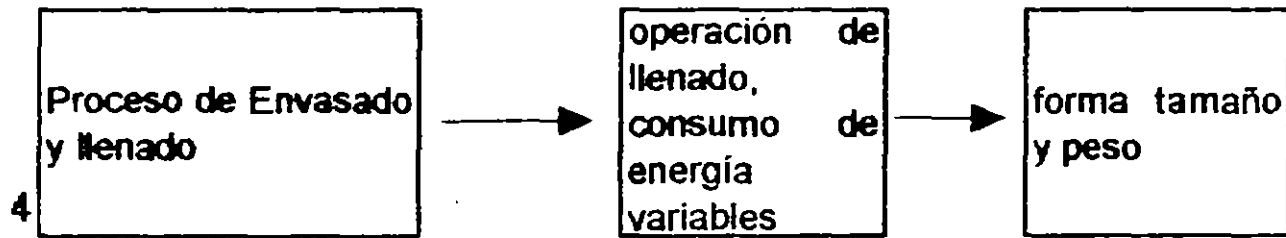
Ciclo de vida de los envases, etapas de trascendencia ambiental

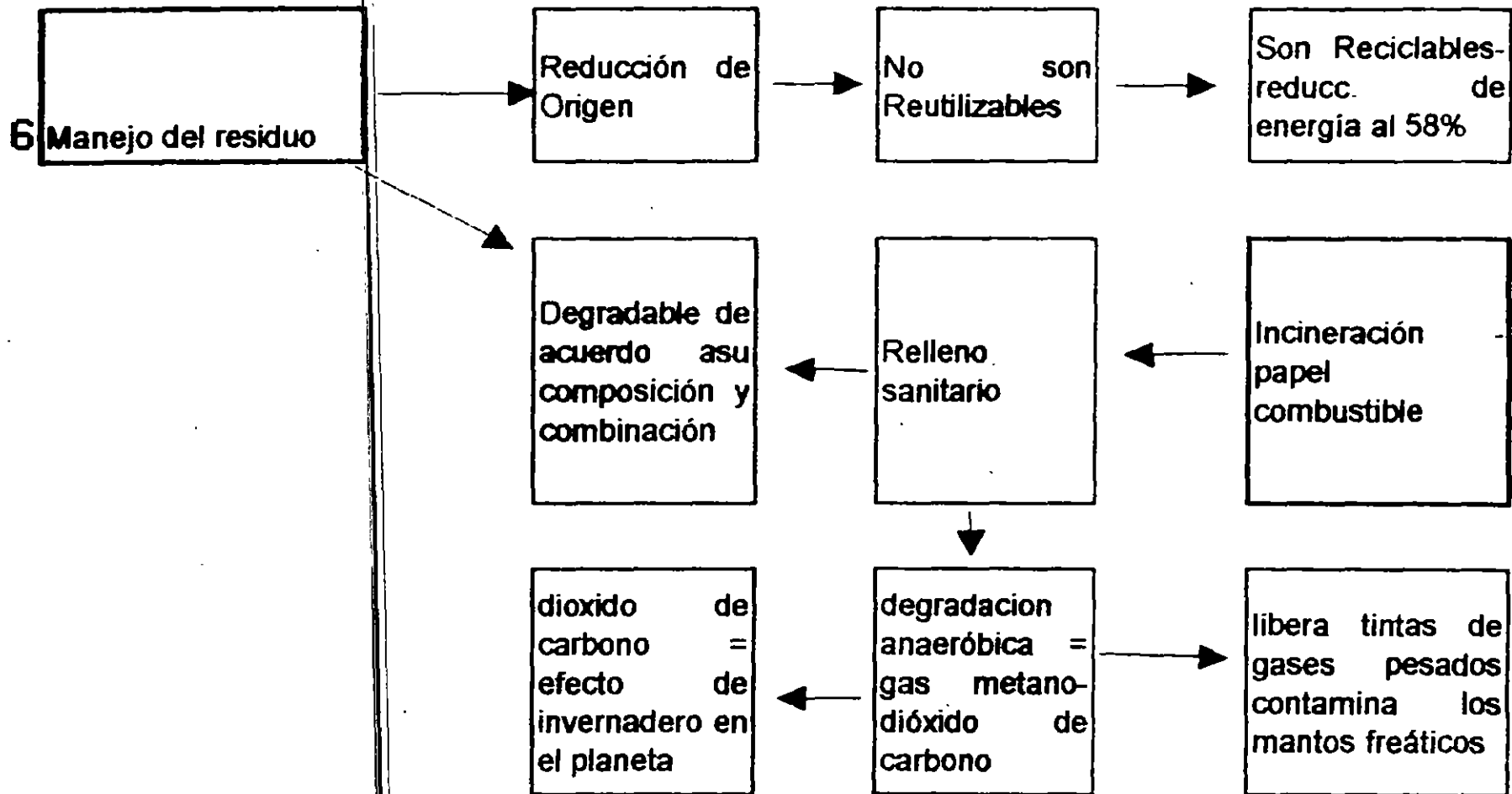
- **Adquisición de las materias primas.**
- **Procesamiento de las materias primas.**
- **Producción o conversión de los envases.**
- **Proceso de llenado, envasado y embalado.**
- **Distribución y venta.**
- **Manejo de los residuos:**
 - **Reducción de origen.**
 - **Reutilización.**
 - **Reciclaje.**
 - **Incineración con recuperación de energía.**
 - **Disposición en relleno sanitario.**
 - **Degradabilidad.**

PAPEL









Papel

Para producir 1 Ton de PAPEL, se requiere consumir las siguientes cantidades de materias primas y energía:

- 1 845.10 Kg madera.
- 108.06 Kg cal (CaO).
- 180.11 Kg sulfato de sodio.
- 38.02 Kg carbonato de sodio anhidro.
- variable aditivos, como almidón, resinas, alumbre, dióxido de titanio, bentonita, caseína, cera, talco, etc.
- 100 114.76 l agua.
- 30.86 millones de BTU de energía.

Se requiere también dar tratamiento o eliminar lo siguiente:

- 42.02 Kg contaminantes del aire.
- 18.01 Kg contaminantes del agua.
- 88.05 Kg desechos sólidos.

La cantidad de recursos que se ahorran al reciclar una tonelada de papel son los siguientes:

- dejar de talar aproximadamente 17 árboles medianos.
- ahorrar aproximadamente 1.5 a 2 metros cúbicos de espacio en un relleno sanitario (equivalente a una caja de 2 m de largo por 1 m de ancho y 1 m de alto).

Aluminio

Para producir 1 Ton de ALUMINIO, se requieren las siguientes cantidades de materias primas y energía:

- 4 385.63 Kg bauxita (óxido de aluminio hidratado).
- 510.31 Kg coque (carbón de piedra o bituminoso coquizados).
- 483.29 Kg carbonato de sodio anhidro.
- 163.60 Kg alquitrán.
- 119.07 Kg cal.
- variable metales de aleación según se use como bote rígido o como lámina o "papel de aluminio" (de 15 a 5% de manganeso, trazas de hierro, silicio, zinc, cromo, cobre y/o titanio).
- 217.11 millones de BTU de energía.

Se requiere también dar tratamiento o eliminar lo siguiente:

- 1 646.00 Kg lodos rojos.
- 1 450.86 Kg dióxido de carbono.
- 40.52 Kg contaminantes del aire.
- 394.74 Kg desechos sólidos.

Reciclar el aluminio conduce a los siguientes ahorros:

- 95% del consumo de agua.
- 95% del consumo de energía.
- 95% de contaminantes atmosféricos.

Vidrio

Para producir 1 Ton de VIDRIO, se requieren las siguientes cantidades de materias primas y energía:

- 665.40 Kg arena sílica (óxido de silicio).
- 216.63 Kg carbonato de sodio anhidro.
- 216.63 Kg piedra caliza (carbonato de calcio).
- 75.75 Kg feldespato.
- 16.75 Kg millones de BTU de energía.

Se requiere también dar tratamiento o eliminar lo siguiente:

- 192.12 Kg residuos de minería.
- 4.01 Kg contaminantes del aire.

Al utilizar una mezcla de 50% de vidrio reciclable y 50% de materias primas vírgenes, se consiguen los siguientes ahorros:

- 50% del consumo de agua.
- 79% de los residuos mineros.
- 14% de los contaminantes del aire.

Plásticos

1. Los plásticos son los materiales más recientes en el inventario de materias primas para fabricar envases y productos de consumo.
2. Aunque mucha gente piensa que los plásticos no son reciclables, la mayoría de ellos sí lo son. Algunos tipos de plásticos (los termofijos) no son reciclables.
3. Puede reciclarse una mezcla de plásticos distintos para producir la llamada "madera plástica"; pero es preferible reciclar los plásticos separados en las resinas que los constituyen.
4. Diariamente aparecen nuevos métodos para reciclar los plásticos y también nuevos productos a partir de plásticos reciclados.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**DIPLOMADO EN SISTEMAS DE CONTROL DE
RESIDUOS SOLIDOS Y PELIGROSOS**

**MODULO III: PROCESOS DE TRATAMIENTO PARA EL
CONTROL DE RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES Y
PELIGROSOS**

**PRINCIPIOS BASICOS Y CRITERIOS PARA LA SELECCION DE EQUIPOS
PARA PROCESOS DE RECICLAMIENTO Y COMPOSTEO DE RESIDUOS
SOLIDOS MUNICIPALES**

Presentado por : **ING. VICTOR FLORES VALENZUELA**

1996

INDICE

INTRODUCCION

I. PRINCIPIOS BASICOS DE RECICLAMIENTO Y COMPOSTEO

II. ESTUDIOS PRELIMINARES

III. DESCRIPCION DEL PROCESO SELECCIONADO

IV. PRINCIPALES EQUIPOS QUE INTEGRAN LOS PROCESOS SELECCIONADOS

V. PARAMETROS Y CRITERIOS BASICOS PARA LA SELECCION Y DISEÑO DE EQUIPOS DEL PROCESO

VI. DESARROLLO DE LA INGENIERIA BASICA Y ANTEPROYECTO

VII. SIMULACION OPERATIVA

VIII. DESARROLLO DE LA INGENIERIA DE DETALLE

I. PRINCIPIOS BASICOS DE RECICLAMIENTO Y COMPOSTEO

1. Reciclaje

- . Separar y recuperar por medios manuales y electromecánicos de los materiales potencialmente aprovechables.**
- . Acondicionamiento y valorización**
- . Integración a los proceso de producción**

2. Composteo

- . Degradación microbiana de la fracción orgánica contenida en los residuos sólidos, por medio de un proceso aerobico que pasa por una fase termofílica y el producto se emplea como abono orgánico.**

II. ESTUDIOS PRELIMINARES

- 1. Generación de Residuos Sólidos Municipales**
 - . Fuentes Generadoras
 - . Cantidad

- 2. Características de los Residuos Sólidos Municipales**
 - . Físicas
 - . Químicas
 - . Microbiológicas

- 3. Balance de Materiales**
 - . Cantidad a Procesar
 - . Separación de Materiales Reciclables
 - . Fracción Disponible
 - Materia Orgánica
 - Rechazo
 - . Separación de Materiales

- 4. Análisis y Selección del Sitio Disponible para Construcción de la Planta de Tratamiento**
 - . Ubicación y Características Urbanas
 - . Climatología
 - . Geología

- . **Geohidrología**
 - . **Topografía**
 - . **Mecánica de Suelos**
- 5. Estudios y Análisis para seleccionar el proceso más recomendado**
- . **Mecánizado**
 - . **Semimecánizado**
 - . **Automatizado**
- 6. Análisis y Selección de Tecnologías Técnica y Económicamente Factibles de Implementar**
- . **Reciclamiento**
 - . **Composteo**
- 7. Estudios de Impacto Ambiental y Riesgo**
- 8. Levantamiento de Cédula de Servicios Municipales (Agua, Energía, Drenaje, Teléfono, Combustible, etc.)**
- 9. Estudios Previos de Mercado**
- 10. Estudios de Factibilidad Técnica y Económica**

III. DESCRIPCION DEL PROCESO SELECCIONADO

- 1. Proceso de Selección y Recuperación de Materiales Reciclables**
- 2. Preparación y Acondicionamiento de Materiales Recuperados**
- 3. Selección y Recuperación de Materia Orgánica para el Proceso de Composteo**
- 4. Proceso de Composteo**
- 5. Manejo de Material de Rechazo**

IV. PRINCIPALES EQUIPOS QUE INTEGRAN LOS PROCESOS DE RECICLAMIENTO Y COMPOSTEO

- EQUIPOS DEL PROCESO DE SELECCION Y SEPARACION DE RESIDUOS POTENCIALMENTE RECICLABLES Y/O APROVECHABLES.

1. Control (Pesaje)

- Básculas tipo camioneras sin fosa (Electrónicas)**
- Básculas tipo camioneras con fosa (Mecánicas)**
- Básculas tipo camioneras con fosa (Electromecánicas)**

2. Almacenamiento

- Fosas**
 - . Capacidad para dos días de procesamiento**
- Patios de descarga**
 - . Capacidad para un día de procesamiento**

3. Alimentación de Residuos

- Grúas - Viajera**
- Maquinaria**
 - . Trascavos**
 - . Almeja hidráulica**
- Tolvas**
 - . Con dosificadores**

4. Alimentación - Dosificación de Residuos

- Transportadores de Tablillas de Acero
- Transportadores de banda de Neopreno, PVC, etc.
- Transportadores de Plataforma Viva (Tipping - Floor)
- Transportadores Elicoidales
- Transportadores de Canjilones
- Transportadores de Vibradores

5. Separación Mecánica (Primera Etapa)

- Criba Rotatoria
- Criba Vibratoria

6. Transportadores para Selección Manual

- Transportadores de Banda
- Transportadores de Plataforma (Tipping - Floor)

7. Separación Mecánica (Segunda Etapa)

- Magnética
- Neumática
- Densimétrica
- Balística

8. Molienda Gruesa

- Molinos de Martillos
- Molino de Navajas

- **Molino de Cuchillas**
- **Molino de Impacto**

9. Depuración

- **Cribas Vibratorias**
- **Cribas Rotatorias (Tromel)**
- **Magnética**
- **Balística**
- **Neumática**
- **Densimétrica**

10. Transportación de Residuos

- **Bandas**
- **Cadena (BKT)**
- **Elicoidales**
 - . **Materia Orgánica para Composteo**
 - . **Material de Rechazo**

- **EQUIPOS DEL PROCESO DE COMPOSTEO (FERMENTACION AEROBIA- LENTA)**

1. Formación de Pilas de Prefermentación

- **Puente Móvil con Transportador de Rastras**
- **Con Carros de Volteo**
- **Trascavo**

2. Movimiento de Pilas de Fermentación

- **Máquina Volteadora**
 - . **Escarabajo**
- **Trascavo**
- **Manual**

3. Maduración

4. Acondicionamiento de Composta

- **Alimentación de Composta**
 - . **Trascavo**
- **Transportador de Cadenas (BKT)**
- **Molienda Fina**
 - . **Molino de Martillos**
- **Depuración**
 - . **Criba Rotatoria (Tromel)**
 - . **Criba Vibratoria**
 - . **Sepración Balística**
 - . **Separación Neumática**
 - . **Separación Densimétrica**
 - . **Separación magnética**
- **Almacenamiento**
 - . **Embalaje**
 - . **A Granel**

V. PARAMETROS Y CRITERIOS BASICOS PARA LA SELECCION Y DISEÑO DE EQUIPOS DE PROCESO

1. EQUIPOS DE PROCESOS DE RECICLAMIENTO Y COMPOSTEO

- Describir las funciones del equipo
- Tipo de trabajo
- Operación (continua)
- Condiciones de trabajo
- Nivel de atención para mantenimiento
- Nivel de automatización
- Porcentaje de sobre diseño
- Disponibilidad de mano de obra calificado para conservación y mantenimiento
- Considerar la vida útil de los equipos
- Facilidad de refaccionamiento
- Porcentaje de integración nacional
- Facilidad de servicio
- Ambiente laboral
- Disponibilidad de mano de obra
- Nivel de seguridad industrial

2. PARAMETROS PARA LA SELECCION Y DISEÑO DE EQUIPOS PARA RECICLAJE Y COMPOSTEO

- **Cantidad de residuos a procesar (ton/hr)**
- **Características físico-químicas y biológicas de los residuos a procesar**
- **Datos de cada etapa del proceso según balance de materiales**
- **Frecuencia de operación (Horas/día y Días/semana)**
- **Datos de operación de cada equipo**
- **Tipo de servicios (Pesado-ligero)**
- **Datos climatológicos**
- **Normas y reglamentos que deben cumplir**
- **Cantidad y puestos del personal técnico, administrativo y operativo**
- **Tensión eléctrica de trabajo para equipos electromecánicos**
- **Horario disponible para suministro de materia prima**
- **Peso bruto vehicular**
- **Frecuencia para el retiro de materiales reciclables**
- **Presión de agua en la línea municipal**

VI. DESARROLLO DE LA INGENIERIA BASICA Y ANTEPROYECTO

- 1. Especificaciones técnicas de equipos de proceso**
- 2. Especificaciones técnicas de equipos auxiliares**
- 3. Especificaciones técnicas de instalaciones electromecánicas**
- 4. Especificaciones técnicas de maquinaria y vehículos**
- 5. Anteproyecto arquitectónico**
- 7. Distribución en planta**

VII. SIMULACION OPERATIVA

- 1. Tiempos de transportación**
- 2. Tiempos para pesaje**
- 3. Tiempos y movimientos para descarga**
- 4. Tiempos y movimientos en el proceso**
- 5. Verificar la eficiencia del equipo y personal para separación**
- 6. Tiempos y movimientos en el manejo de subproductos**
- 7. Verificación de capacidades y eficiencia en cada etapa del proceso**

VIII. DESARROLLO DE LA INGENIERIA DE DETALLE

1. **Proyecto arquitectónico**
2. **Proyecto estructural**
3. **Proyecto eléctrico**
4. **Proyecto mecánico**
5. **Proyecto hidro-sanitario**
6. **Proyecto del sistema de protección contra incendio**
7. **Proyecto del sistema de ventilación y depuración de aire**
- ~~8. **Memoria descriptiva**~~
9. **Especificaciones técnicas de equipos y materiales**
10. **Procedimientos constructivos**



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**DIPLOMADO EN SISTEMAS DE CONTROL DE
RESIDUOS SOLIDOS Y PELIGROSOS**

**MODULO III: PROCESOS DE TRATAMIENTO PARA EL
CONTROL DE RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES Y
PELIGROSOS**

**SISTEMAS Y EQUIPOS PARA EL TRATAMIENTO Y APROVECHAMIENTO DE
RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES**

Presentado por : **ING. VICTOR FLORES VALENZUELA**

1996

**SISTEMAS Y EQUIPOS
PARA
EL TRATAMIENTO Y
APROVECHAMIENTO DE
RESIDUOS SOLIDOS
MUNICIPALES**

I N D I C E

INTRODUCCION

- 1. DEFINICION DEL TRATAMIENTO**
 - . OBJETIVOS**

- 2. CLASIFICACION Y TIPOS DE TRATAMIENTOS**
 - . POR EL TIPO DE PROCESO**
 - . POR LOS PROPÓSITOS DEL TRATAMIENTO**
 - . CONFORME A SU DESARROLLO EN EL MUNDO**

- 3. CRITERIOS PARA SELECCION DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO**

- 4. CARACTERISTICAS FISICO-QUIMICAS DE LOS RESIDUOS**

- 5. TECNICAS ELEMENTALES PARA EL TRATAMIENTO Y RECICLAMIENTO DE RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES**

- 6. GUIAS PRACTICAS PARA LA SELECCION DE EQUIOS PARA EL TRATAMIENTO Y RECICLAMIENTO DE RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES**
 - . GUIA PRACTICA PARA SELECCION DE EQUIPOS PARA SEPARACION DE RESIDUOS SOLIDOS**
 - . GUIA PRACTICA PARA SELECCION DE EQUIPOS PARA COMPACTACION DE RESIDUOS SOLIDOS**
 - . GUIA PRACTICA PARA SELECCION DE EQUIPOS PARA TRITURACION DE RESIDUOS SOLIDOS**
 - . GUIA PRACTICA PARA SELECCIONAR INCINERADORES**
 - . GUIA PRACTICA PARA PROCESOS AEROBICOS Y ANAEROBICOS**
 - . TIPOS DE PROCESOS PARA OBTENCION DE MATERIALES COMBUSTIBLES (RDF)**
 - . PROPIEDADES DE LOS COMBUSTIBLES DE TRES TIPOS DE RDF**

INTRODUCCION

EL TRATAMIENTO DE LOS RESIDUOS SOLIDOS SE PRESENTA COMO UNA ALTERNATIVA FRENTE A LA DISPOSICION FINAL DEBIDO

A :

EL INCREMENTO DE LOS COSTOS DE DISPOSICION FINAL, POR LA CARENCIA DE SITIOS ADECUADOS (ADQUISICION Y TRANSPORTE)

LA OPOSICION DE CIERTOS FACTORES DE LA POBLACION HACIA LA FORMA TRADICIONAL DE LA DISPOSICION FINAL

LA DESCONFIANZA EN LA SEGURIDAD DE LOS SISTEMAS DE DISPOSICION FINAL, ANTE LA EVENTUALIDAD DE UNA INUNDACION, TERREMOTO, ETC.

LA DEGRADACION Y ESCASEZ DE LOS RECURSOS NATURALES, ASI COMO EL INCREMENTO DE LOS COSTOS DE CIERTAS MATERIAS PRIMAS Y ENERGETICOS NECESARIOS PARA LA FABRICACION DE PRODUCTOS DIVERSOS

INTERES ECONOMICO EN LOS MATERIALES FACTIBLES DE RECUPERAR

DEFINICIÓN DE TRATAMIENTO

EL CONJUNTO DE TÉCNICAS Y MÉTODOS DE PROCESAMIENTO, FÍSICOS, QUÍMICOS Y BIOLÓGICOS, QUE SE APLICAN A LOS RESIDUOS SÓLIDOS CON LA FINALIDAD DE MODIFICAR SUS CARACTERÍSTICAS.

OBJETIVOS

- * MEJORAR LA EFICIENCIA DE LOS SISTEMAS DE MANEJO Y DISPOSICIÓN FINAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES.
- * RECUPERAR MATERIALES UTILIZABLES.
- * CONVERSIÓN DE PRODUCTOS Y ENERGÍA.
- * CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL.

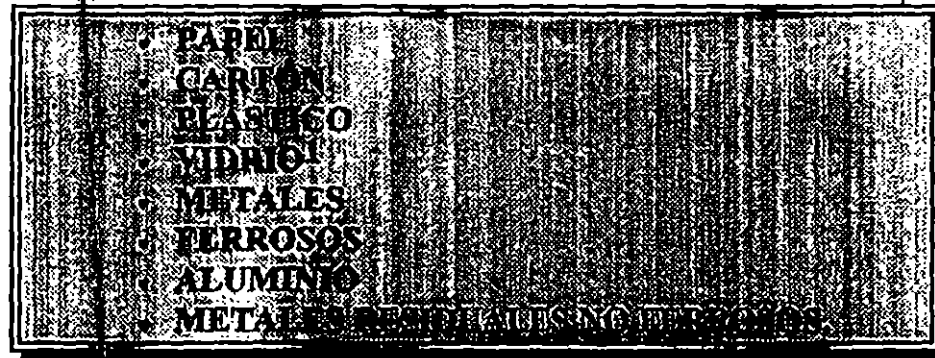
* MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA DE LOS SISTEMAS DE ASEO URBANO

◆ ACONDICIONAMIENTO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS (COMPACTACIÓN, EMBALAJE ETC.

- ALMACENAMIENTO.
- TRANSPORTE.
- DISPOSICIÓN FINAL.

* RECUPERACIÓN DE MATERIALES PARA REUSO.

◆ EXISTENCIA DE MATERIALES CON POTENCIAL PARA SU COMERCIALIZACIÓN, TALES COMO¹:



¹DEBIDO A EL VALOR DE ESTAS COMPONENTES SE HA DESARROLLADO UNA GRAN VARIEDAD DE TÉCNICAS, PARA EL APROVECHAMIENTO DE CADA COMPONENTE.

CLASIFICACIÓN Y TIPOS

SE CLASIFICAN POR TRES CATEGORÍAS:

◇ POR EL TIPO DE PROCESO	<ul style="list-style-type: none">• FÍSICO• QUÍMICO• BIOLÓGICO
◇ POR LOS PROPÓSITOS DEL TRATAMIENTO	<ul style="list-style-type: none">• RECUPERACIÓN Y/O PREPARACIÓN DE MATERIALES PARA SU REUSO O RECICLAJE.• RECUPERACIÓN DE ENERGÍA,• DISMINUCIÓN Y/O EL CONTROL DE RIESGOS AMBIENTALES Y DE SALUD O BIEN CON LA FINALIDAD DE PREPARARLOS PARA UNA DISPOSICIÓN FINAL ADECUADA.
◇ CONFORME A LA AMPLITUD DE SU USO EN EL MUNDO	<ul style="list-style-type: none">• CONVENCIONALES• NO CONVENCIONALES.

PROCESOS FÍSICOS DE TRATAMIENTO.

SON AQUÉLLOS QUE UTILIZAN LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS RESIDUOS PARA LLEVAR A CABO UNA SEPARACIÓN O BIEN UNA CONCENTRACIÓN DE SUS CONSTITUYENTES.

SEPARACIÓN	MÉTODOS
SEPARACIÓN POR GRAVEDAD:	<ul style="list-style-type: none">- SEDIMENTACIÓN- CENTRIFUGACIÓN- FLOCULACIÓN- SEPARACIÓN MANUAL Y MECÁNICA
FILTRACIÓN	
ADSORCIÓN	
DISOLUCIÓN	<ul style="list-style-type: none">- LAVADO DE SUELOS- ELACIO- EXTRACCIÓN LÍQUIDO/LÍQUIDO
REDUCCIÓN DE TAMAÑO:	<ul style="list-style-type: none">- COMPACTACIÓN- TRITURACIÓN

PROCESOS QUÍMICOS

SON AQUELLOS QUE APROVECHAN O AFECTAN LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS

- HIDRÓLISIS Y FOTÓLISIS
- OXIDACIÓN
- HIDROGENACIÓN
- CEMENTADO
- VITRIFICACIÓN
- POLIMERIZACIÓN

PROCESOS BIOLÓGICOS

SE REFIEREN A LA ACTIVIDAD MICROBIOLÓGICA QUE PUEDEN SER DESARROLLADAS EN LOS CULTIVOS Y EN LOS PROCESOS DE BIODEGRADACIÓN EN SER DE MICROORGANISMOS NATIVOS, O BIEN INTRODUCIDOS DENTRO DE ESTOS SISTEMAS

- COMPOSTEO
- DIGESTIÓN ANAEROBIA
- BIORRECUPERACIÓN
- PRODUCCIÓN DE PROTEÍNAS PARA CONSUMO ANIMAL

PROCESOS DE DESTRUCCIÓN TÉRMICA.

LA DEGRADACIÓN TÉRMICA DE LOS RESIDUOS PRESENTAN ALGUNAS LIMITACIONES DE TIPO TECNOLÓGICO QUE PUEDEN RESOLVERSE CON UN GASTO ADICIONAL QUE TIENE QUE VER CON LA RECUPERACIÓN MEDIANTE EL PROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA DE LOS PROCESOS.

- INCINERACIÓN
- PIROLISIS

PROPÓSITOS DEL TRATAMIENTO.

RECUPERACIÓN DE MATERIALES Y RECI-
CLAJE.

- SEPARACIÓN MANUAL Y MECÁNICA
- INCINERACIÓN
- COMPACTACIÓN
- CEMENTADO
- COMPOSTEO
- DIGESTIÓN ANAEROBIA
- PIROLISIS
- PLASMAPIROLISIS
- PRODUCCIÓN DE ENERGÍA PARA CONSUMO INDUSTRIAL

*** RECUPERACIÓN DE PRODUCTOS DE CONVERSIÓN Y ENERGÍA.**

LOS RESIDUOS ORGÁNICOS COMBUSTIBLES PUEDEN CONVERTIRSE EN PRODUCTOS INTERMEDIOS Y FINALMENTE EN ENERGÍA POR DIFERENTES SISTEMAS DE TRATAMIENTO, TALES COMO:

- **INCINERACIÓN**
- **COMPOSTEO**
- **DIGESTIÓN ANAEROBIA**
- **PIRÓLISIS**

NOTA: ES NECESARIO QUE ESTOS RESIDUOS, SEAN SEPARADOS Y ACONDICIONADOS ANTES DE SER UTILIZADOS.

*** CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL.**

- ❖ **REDUCCIÓN DEL VOLUMEN DE RESIDUOS SÓLIDOS Y DEL POTENCIAL CONTAMINANTE.**
- ❖ **ALTERNATIVA PARA MINIMIZAR EL IMPACTO AMBIENTAL Y EL DETERIORO DE LOS RECURSOS NATURALES**

CLASIFICACIÓN CONFORME A LOS PROPÓSITOS DE USO.

CONVENCIONALES

- COMPACTACIÓN
- TRITURACIÓN
- INCINERACIÓN
- SEPARACIÓN MANUAL Y MECÁNICA
- COMPOSTEO
- DIGESTIÓN ANAEROBIA
- PIROLISIS

NO CONVENCIONALES.

- LAVADO DE SUELOS
- QUELACIÓN
- HIDRÓLISIS
- FOTÓLISIS
- OXIDACIÓN
- HIDROGENACIÓN
- GEMENTADO
- VULCANIZACIÓN
- POLIMERIZACIÓN
- REDUCCIÓN DE PROTEÍNA PARA CONSUMO ANIMAL
- BIORRECUPERACIÓN

CRITERIOS DE SELECCION

(Sistemas de Tratamiento)

CUANDO SE ANALIZA LA POSIBILIDAD DE INTRODUCIR ALGUN PROCESO DE TRATAMIENTO EN EL SISTEMA DE ASEO URBANO, ES NECESARIO CONSIDERAR ENTRE OTROS FACTORES LOS SIGUIENTES :

LAS CARACTERISTICAS DE LOS RESIDUOS SOLIDOS

LA GENERACION DE LOS MISMOS

EL DESTINO DE LOS PRODUCTOS RESULTANTES

DISPONIBILIDAD DE MERCADO CUANDO EL PUNTO ANTERIOR SE REFIERE A COMERCIALIZACION

COSTOS DE INVERSION REQUERIDOS Y PRESUPUESTO DISPONIBLE

CONTROLES AMBIENTALES EXIGIDOS POR LA LEGISLACION VIGENTE

DISPONIBILIDAD DE PERSONAL CALIFICADO PARA OPERACION Y MANTENIMIENTO O POSIBILIDAD DE CAPACITACION

ACCESIBILIDAD DE PARTES Y REFACCIONES

CARACTERISTICAS DE LOS RESIDUOS A PROCESAR

*** FISICAS**

- **Composición Física (% y peso)**
- **Peso Volumétrico (Kg. i³)**
- **Granulometría (cm)**

*** QUIMICAS**

- | | |
|----------------------------|----------------|
| - Poder calorífico | Kcal/kg |
| - Materia orgánica | %/peso |
| - Humedad | % |
| - Hidrógeno (total) | % |
| - Nitrógeno (total) | % |
| - Carbono (total) | % |
| - Cenizas | % |
| - Oxígeno | % |

COMPOSICION FISICA DE LOS DESECHOS SOLIDOS

SUBPRODUCTOS	PROMEDIO %
ALGODON	0.21
CARTON	4.39
CUERO	1.06
RESIDUO FINO	3.05
ENVASE DE CARTON	
ENCERADO	2.36
FIBRA DURA VEGETAL	0.43
FIBRA SINTETICA	0.87
HUESO	0.83
HULE	0.39
LATA	3.94
LOZA Y CERAMICA	0.74
MADERA	1.16
MATERIAL DE	
CONSTRUCCION	1.18
MATERIAL FERROSO	1.24
MATERIAL NO FERROSO	1.41
PAPEL	4.39
PAÑAL DESECHABLE	4.75
PLASTICO PELICULA	4.38
PLASTICO RIGIDO	3.49
POLIURETANO	0.57
POLIESTIRENO	
EXPANDIDO	0.24
RESIDUOS	
ALIMENTICIOS	44.29
RESIDUOS DE	
JARDINERIA	4.03
TRAPO	1.59
VIDRIO DE COLOR	2.28
VIDRIO TRANSPARENTE	4.07
OTROS	2.66

TECNICAS ELEMENTALES PARA EL TRATAMIENTO Y RECICLAMIENTO DE RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES

SEPARACION	<ul style="list-style-type: none"> * MECANICA * NEUMATICA * ELECTROMAGNETICA * ELECTROMECHANICA * VIA HUMEDA
COMPACTACION	<ul style="list-style-type: none"> * COMPACTADO * COMPACTADO Y EMPACADO * COMPACTADO Y EMBALAJE * COMPACTADO Y EXTRUSION
TRITURACION	<ul style="list-style-type: none"> * TIPO IMPACTO * TIPO MARTILLOS * TIPO TAMBOR * TIPO CUCHILLAS * TIPO ANILLOS
INCINERACION	<ul style="list-style-type: none"> * HORNO DE PARRILLAS * HORNO ROTATORIO * HORNO DE LECHO FLUIDIZADO * HORNO DE CAMARA FIJA
COMPOSTEO	<ul style="list-style-type: none"> * ANAEROBIA * AEROBIA
PRODUCCION DE RESIDUOS COMBUSTIBLES	<ul style="list-style-type: none"> * CLASIFICACION Y TRITURACION * PELETIZADO * PULVERIZADO

GUIA PRACTICA PARA SELECCIONAR UN SEPARADOR DE MATERIALES CONTENIDOS EN LOS RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES

TIPO DE RESIDUOS		RESIDUOS PLASTICOS		RESIDUOS DE CAUCHO	RESIDUOS DE ANIMALES Y VEGETALES	RESIDUOS DE PAPEL	VIRUTAS DE MADERA	RESIDUOS TEXTILES	CENIZAS	ESCORIA	RES. DE			RESIDUOS DE VIDRIO	RESIDUOS DE DEMOLICION (CONSTRUC.)	
		TIPO PEL.	TIPO RIG.								Fe	Al	Cu Y OTROS			
TIPO SECO	FUERZA MECANICA	CEPILLO ROTATORIO Y RASTRILLO ROTATORIO	A	C	C	B	A	B	A			C	C	C	C	C
		TROMMEL	A	C	C	B	A	B	A	C	C	C	C	C	C	C
	FUERZA POR AIRE	TIPO VERTICAL	A	C	C		A	A	A			C	C	C	C	C
		TIPO HORIZONTAL	A	C	C	B	A	B	A			C	C	C	C	C
	FUERZA MAGNETICA	MAGNETO	C	C	C	C	C	C	C		C	A	C	C	C	C
		CORRIENTE EDDY	C	C	C	C	C	C	C				A	B	C	C
		FUERZA ELECTROSTATICA	C	C	C								A	B	C	C
		OPTICA ELECTRONICA		C	C										C	C
TIPO HUMEDO	AGUA	CICLON DE LIQUIDOS	C	C	C	A	A	A	A					C	C	
	LIQUIDOS PESADOS (O FLUIDOS)	SEPARACION DE LIQUIDOS PESADOS		C	C								A	A	B	C
		FLUIDOS MAGNETICOS		C	C								A	A	B	C

NOTA: LAS LETRAS INDICAN LOS GRUPOS DE RESIDUOS SEPARADOS EN CADA EQUIPO DE LOS RESIDUOS MEZCLADOS.

GUIA PRACTICA PARA SELECCIONAR UN COMPACTADOR

RESIDUOS A DISPONER	Lodos ORGANICOS E INORGANICOS	RESIDUOS DE PLASTICO	RESIDUOS DE CAUCHO	MATERIALES CELULOSOS			POLVO	CENIZAS	ESCORIA	RESIDUOS DE METALES	RESIDUOS MEZCLADOS
				RESIDUOS PAPEL	VIRUTAS MADERA	RESIDUOS TEXTILES					
METODO DE DISPOSICION											
COMPACTADOR	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	R	NA
COMPACTADO Y EMPACADO	NA	R	R	R	P	R	P	P	P	P	R
COMPACTADO Y REVESTIMIENTO	P	P	NA	NA	NA	NA	P	NA	NA	NA	P
COMPACTADO Y EMBALAJE	NA	P	R	R	P	R	P	NA	NA	P	P
COMPACTADO Y MOLDEADO PRO EXTRUSION	P	R	NA	NA	NA	NA	P	NA	NA	NA	NA

NOTA: R RECOMENDABLE
 P POSIBLE
 NA NO APLICABLE

GUIA PRACTICA PARA SELECCIONAR UN EQUIPO DE TRITURACION

FUNCION Y ESTRUCTURAS	TIPO DE RESIDUOS		RESIDUOS PLASTICOS		RESIDUOS DE CAUCHO	RESIDUOS DE ANIMALES Y VEGETALES	RESIDUOS DE PAPEL	VIRUTAS DE MADERA	RESIDUOS TEXTILES	CENIZAS	ESCORIA	RESIDUOS DE METALES	RESIDUOS DE VIDRIO	RESIDUOS DE DEMOLICION (CONSTRUC.)	RESIDUOS MEZCLADOS		
			TIPO PEL.	TIPO RIG.											COCINA	VOL.	
TRITURADOR ROTATORIO	HORIZONTAL	TIPO MARTILLOS	NR	R	A	NR	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	
		TIPO ANILLOS	NR	R	A	NR	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	
		TIPO IMPACTO	NR	R	NR	NR	R	R	NR	R	R	R	NR	R	R	R	R
		TIPO CARNAZA	UNA	A	R	A	A	R	R	R						A	
		DOBLE	R	R	R	A	R	R	R						A		
	VERTICAL	TIPO MARTILLO	NR	R	A	NR	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
TIPO ANILLOS		NR	R	A	NR	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	
TRITURADOR ROTATORIO TIPO HUMEDO	HORIZONTAL	TIPO TAMBOR CON CUCHILLAS				R	R								R		
	VERTICAL	TIPO MARTILLO				A	R								A		
CORTADOR	TIPO CUCHILLAS VERTICALES		R	R	R	NR	R	R	R			R			A	R	
	TIPO CUCHILLAS HORIZONTALES			R	A	NR	A	A	R			A			A	R	
COMPACTADOR	MAQUINARIA PESADA (CATERPILLER)			R				R					R				

NOTA: R RECOMENDABLE
A APLICABLE
NR NO RECOMENDABLE

TABLA 3.1 GUIA PRACTICA PARA SELECCIONAR INCINERADORES.

CLASIFICACION DE RESIDUOS	TIPO DE INCINERADORES	PARRILLAS MOVILES DE COMBUSTION	HORNO ROTATORIO	LECHO FLUIDIZADO	INYECCION DE LIQUIDOS	HOGAR MULTIPLE	FUSION A ALTAS TEMPERATURAS	HOGAR FIJO
	PROP. FISICAS DE RESID.							
RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES MEZCLADOS.	A	A	A	B	B	B	C	C
RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES/SEPARADOS.		A	A	A	B	C	C	A
LODOS ORGANICOS DE T. DE AGUAS.		D	A	A	B	A	C	B
RESIDUOS LIQUIDOS (ACEITES, COMBUSTIBLES) INDUSTRIALES.	ALQUITRAN Y BREA CONTENIDO DE ACEITES.	B C	A A	B C	A A	B B	B A	C C
RESIDUOS SOLIDOS INDUSTRIALES (PELIGROSOS).		C	A	B	B	B	A	C
RESIDUOS PLASTICOS.		D	D	D	B	D	A	A
RESIDUOS BIOLÓGICOS INFECCIOSOS (SOLIDOS).		C	A	B	B	B	A	A

A- RECOMENDABLE.

B- NO RECOMENDABLE

C- APLICABLE.

. POSIBLE COMBUSTION MEZCLADA.

**GUIA PRACTICA PARA SELECCION DE EQUIPOS PARA PROCESOS
AEROBICOS Y ANAEROBICOS**

PROCESOS	AEROBIO LENTO	AEROBIO ACELERADO	AEROBIO ACELERADO EN DIGESTOR	ANAEROBIO
EQUIPOS				
TRASCAVO	X	X		
MAQUINA VOLTEADORA	X	X		
HOMOGENIZADOR		X		
DIGESTOR			X	X
VENTILADORES DE TIRO FORZADO		X	X	
FILTROS PURIFICADORES (TIPO HEPA)		X		
CRIBAS MECANICAS	X	X	X	X
TRITURADORES	X	X	X	
DESHIDRATADORES				X

TIPOS DE PROCESOS PARA OBTENCION DE MATERIALES COMBUSTIBLES (RDF)

TIPO	P R O C E S O	FORMA	CARACTERISTICA
	PROCESO SECO		
1	TRITURADO-SELECCION MAGNETICA-RDF	FRAGMENTO-RDF	CONTENIDO DE CENIZAS ARRIBA DE 20 %
2	TRITURADO-(SELECCION MAGNETICA)-SELECCION NEUMATICA-(PORCION LIGERA)-RDF	FRAGMENTO-RDF	CONTENIDO DE CENIZAS BAJO
3	TRITURADO-SELECCION NEUMATICA-TRITURADO-RDF	FRAGMENTO-RDF	CONTENIDO DE CENIZAS ALTO
4	CRIBADO-TRITURADO-SELECCION NEUMATICA-RDF	FRAGMENTO-RDF	CONTENIDO DE CENIZAS LLEGA A SER PEQUEÑO
5	CRIBADO-TRITURADO-SELECCION NEUMATICA-RDF	FRAGMENTO-RDF	
6	TRITURADO-CRIBADO-SELECCION NEUMATICA-RDF	FRAGMENTO-RDF	
7	TRITURADO-SELECCION NEUMATICA-CRIBADO-RDF	FRAGMENTO-RDF	
8	TRITURADO-CRIBADO-SELECCION NEUMATICA-TRITURADO-MOLDEADO POR COMPRESION-RDF	DENSIFICADO-RDF (PELLET)	RDF PARA INCINERADORES DE PARRILLAS
9	TRITURADO-SELECCION NEUMATICA-CRIBADO-TRATAMIENTO QUIMICO-MOLINO DE BOLAS-RDF	POLVO-RDF	ECO. FUEL II (SUPER COMBUSTIBLE)
	PROCESO HUMEDO		
10	HIDROPULPEO+HIDROCICLON-DESHIDRATAACION-RDF	HUMEDO-RDF	CONTENIDO DE AGUA: 20 - 50 %

PROPIEDADES DE LOS COMBUSTIBLES DE TRES TIPOS DE RDF

RDF		FRAGMENTOS	GRANULOS (PELLET)	POLVOS
PROCESOS DE PRODUCCION		CLASIFICACION TRITURADO	CLASIFICACION TRITURADO GRANULADO	CLASIFICACION TRITURADO GRANULADO
FORMA Y DIMENSIONES		25 A 50 MM ² FRAGMENTOS IRREGULARES	10 A 20 MM DE DIAMETRO Y 30 A 50 MM DE LARGO	POLVO DE 0.5 MM O MENOS
PODER CALORIFICO (KCAL-KG)		2,500 - 3,500	3,300 - 4,000	4,300
CONTENIDO DE AGUA (%)		15 - 20	12 - 18	4 O MENOS
CONTENIDO DE CENIZAS (%)		20 - 30	12 - 25	10 - 20
APLICACION		<ul style="list-style-type: none"> - INCINERACION EN HORNOS DE PARRILLAS - INCINERACION EN LECHO FLUIDIZADO - INCINERACION EN SUPENSION - INCINERACION MEZCLADA E INDEPENDIZADA 	<ul style="list-style-type: none"> - INCINERACION EN HORNOS DE PARRILLAS - INCINERACION EN LECHO FLUIDIZADO - INCINERACION MEZCLADA E INDEPENDIZADA 	PARA QUEMADORES DE UN SOLO COMBUSTIBLE CON POLVO DE CARBON
OTRAS	ALMACENAMIENTO	ALMACENAMIENTO EN MASA POR PERIODOS CORTOS	ALMACENAMIENTO EN SILO PARA 1 O 2 AÑOS	ALMACENAMIENTO SEMI-PERMANENTE
APLICACIONES	TRANSPORTABILIDAD	TRANSPORTE NEUMATICO SOBRE UNA CORTA DISTANCIA	FACIL MANEJO	TRANSPORTE NEUMATICO SOBRE UNA DISTANCIA LARGA

TRANSPORTE, TRITURACION Y CRIBADO

Equipos para procesamiento de Residuos de Construcción (C.D.)

Cantidades significativas de C.D. pueden recuperarse. Este artículo presenta una guía para seleccionar los equipos usados para procesar desechos de construcción y demolición.

Estos equipos pueden agruparse en 3 tipos :

- a) Transportación
- b) Trituración / Reducción
- c) Cribado / Separación

Equipo de Transporte

Los equipos de transporte más utilizados son los transportadores tipo banda de caucho.

En algunas áreas del sistema como lo es el principal puente de alimentación, deben utilizarse transportadores del tipo Steel-apron por su capacidad para amortiguar los impactos, además estos transportadores son menos susceptibles para que se dañe la banda que los transportadores de caucho.

Los transportadores Steel-apron son normalmente de 48" a 60" de ancho.

Después de que los desechos se pesaron el producto resultante es apilado en el lugar de almacenamiento para su eventual transportación fuera del sitio, muchas operaciones utilizan transportadores portátiles o de apilamiento radial para complementar este trabajo.

Equipos para Trituración / Reducción

Es un paso crítico la selección de este equipo para procesar C.D., esta depende de los componentes de los residuos.

Martillos manuales, impactores y trituradores de quijadas son las principales unidades de reducción utilizadas para reducir el tamaño de material friable (concreto, roca, asfalto, etc.), el cual cuando es sometido a fuerzas de gran impacto tiende a romperse.

Martillo Hidráulico

Este impactor neumático es utilizado para romper material muy grande en piezas pequeñas para después ser procesadas en la unidad de reducción primaria.

La herramienta es montada normalmente en una plataforma, que a su vez se sujeta en una de 2 uñas fijadas en su pedestal cerca del punto de alimentación o se sujeta a un remolcador para uso móvil alrededor del área.

Impactores

Los impactores son utilizados como unidades de trituración primaria y ~~secundaria. En el tratamiento de C.D. son altamente recomendados;~~ ofrecen la mayor versatilidad pues tienen la capacidad para manejar no solamente materiales friables sino también no friables (plástico, madera, papel, telas) y compresibles.

Trituradores de Quijadas

Son diseñados específicamente para triturar cargas de cemento Portland u otro material reciclable similar.

Son diseñados para reciclar y tolerar fácilmente tubos, acero, tapaderas, etc.

Los materiales compresibles tienen la tendencia a apretar las qui_jas severamente durante el proceso de reducción. Los trituradores de qui_jadas son ideales para reducir el tamaño de piezas grandes de caucho.

Normalmente el material se alimenta a un alimentador vibratorio "Grizzly" el cual asegura que un gran volumen de finos encontrados normalmente en operaciones de reciclado puedan pasar por el triturador eficientemente.

Molino de Martillos

Se usa normalmente para residuos de madera, puede ser vertical u horizontal debido a que puede producir un tamaño de producto consistente.

Para troncos de madera debe utilizarse una picadora o un triturador de baja revolución como reductor primario y utilizar en molino de martillos para refinamiento posterior.

Esta maquinaria pesada conocida también como cochino para madera pueden procesar una gran variedad de materiales de madera.

El tamaño de la tolva de alimentación y el rotor/martillos de los modelos a seleccionar determinan el diámetro máximo de material a ser procesado, algunos pueden aceptar el material de 12 a 18 pulgadas de diámetro. Un cochino para madera puede utilizarse para reducir residuos de madera hasta un producto fino uniforme.

La reducción ocurre cuando los martillos impactan el material suspendido. El tamaño del producto se controla por el tamaño de criba se-

leccionada para la cámara de reducción. El material de mayor tamaño que las aberturas de la criba queda encima de ella, salta hacia las paredes de la cámara y al rebotar vuelve a impactarse contra los martillos reduciéndose finalmente su volumen.

La tolva de alimentación y el rotor horizontal son comúnmente más pesados que la carcasa del molino. Con todo, la capacidad disminuye con el uso de pequeñas cribas. Las tolvas de alimentación de estos equipos son adaptados a trituradores primarios (300 hp a 500 hp) para materiales cortos de 48 pulgadas.

Una unidad pequeña de alimentación superior (100 h.p. a 300 h.p.) es un buen triturador secundario para materiales leñosos largos y voluminosos reduciéndolos hasta 6 u 8 pulgadas de tamaño mínimo, puede ser ésta una picadora o un triturador rotatorio.

En resumen, es efectiva una reducción del material en una trituradora primaria (p.e. 3 pulgadas mínimo) para productos finales pequeños (p.e. $\frac{1}{2}$ pulgada mínimo).

Es necesario adaptar un transportador horizontal para que alimente los molinos a una razón uniforme y controlada.

El material es sostenido entre la cámara de reducción por un transportador de cadena o un cilindro rotatorio.

Los cochinos de alimentación horizontal son ideales para material mayor de 48 pulgadas de longitud y en situaciones donde la tasa de alimentación de material es difícil de controlar.

Picadoras

Son grandes máquinas montadas en un trailer, su carga es por la parte superior mediante un transportador de tablillas.

El transportador por lo regular es de 48" a 60" de ancho y sirve para enviar el material a almacenaje.

A intervalos de 10 a 12 ft. en ambos lados del transportador existen uno o 2 chutes de aproximadamente 5 ft por 5 ft y son apropiados para residuos de demolición.

Las picadoras manuales remueven artículos específicos del transportador y los deposita en el chute apropiado.

CRIBAS ROTATORIAS

Este equipo es ideal para reducción primaria de material leñoso voluminoso tal como " pallets ", " crates " y troncos de 3 a 4 pulgadas de diámetro. Son de poca velocidad, aparte de reducir materiales leñosos, las unidades de 200 h.p. a 600 h. p. pueden emplearse para reducir el tamaño, también concreto, mobiliario, blancos y placas de acero.

El uso de rotores de baja velocidad lo hace mucho menos susceptible al daño que cuando tienen adaptados rotores para elevadas velocidades.

Estos equipos presentan dificultad para procesar material blando y elástico (palma) y tienden a formar tiras sin ser reducidos.

Screw Shredders

Esta unidades pueden procesar material leñoso voluminoso incluyendo troncos de árboles de más de 3 pies de diámetro, cepillos, troncos, madera de construcción, árboles, residuos de jardinería, " pallets ", etc.

Se parte primero el material entre 2 hélices paralelas a unos cuchillos ~~situados en la parte superior del molde,~~ las cuchillas capturan una esquina del material y lo arrastran hacia abajo; una vez por cada vuelta las cuchillas se encuentran y de esta manera el material que se encuentra alrededor sin trituración es cizallado por un cortador de cuchillas afilado.

La mayor ventaja para este equipo es la versatilidad del material a triturar y los bajos costos de operación y mantenimiento.

Cribas/Equipo de Separación

Equipos de cribado se usan en el procesamiento de C.D., para separar materiales similares en fracciones de diferentes tamaños, así como también separar materiales diferentes entre sí.

Equipos vibratorios como alimentadores "grizzly" o cribas vibratorias son de uso común. Cribas de disco y trombels son otros tipos convencionales de equipos para cribado y separación.

Varios tipos de magnetos se utilizan para remover artículos de fierro algunas veces se usan tanques de flotación, aprovechando la diferencia de densidad específica entre madera y rocas.

La separación mediante aire, es usada frecuentemente para procesar C.D.

Criba Grizzly

Se le conoce también como escalpador o cribado crudo. Consiste de un alimentador "hopper" con un botón vibrador utilizado para espaciar sus barras de acero. El espaciador de barras las abre enviando con esto el material hacia el triturador donde es reducido de tamaño, este cae a través de las barras, manteniendo de esta forma la cámara de trituración libre de finos en exceso.

Por algunas razones este tipo de alimentadores vibratorios son ideales para alimentar caucho y mezclas de C.D. hacia el triturador primario. En principio, estas unidades son capaces de soportar el pesado impacto generado cuando se depositan C.D. en el hopper, en segundo lugar, la acción de vibrado tiende automáticamente meter la alimentación hacia los trituradoras en una cantidad constante, este es un factor clave para mantener altas

tasas de trituración. La vibración excéntrica produce 3 tipos de movimiento; horizontal, vertical, elíptico. El material alimentado es movido hacia afuera y hacia adentro en vía elíptica, el resultado es que todo el material en movimiento se expone a la acción de las aberturas del grizzly.

Cribas de Disco

Fueron usadas por algunos años en la industria maderera para producir aserrín.

El equipo consiste de una serie de astas paralelas, típicamente de 6 a 10, que corren perpendicularmente al flujo de material alimentado; uniendo cada asta se encuentran discos posicionados en tal forma, que la mitad de cada uno queda en un asta opuesta.

El espacio entre las astas opuestas y los discos asociados forman la abertura a través de la cual el material de menor tamaño (3 - 6 pulgadas), puede pasar. Cada asta gira en la misma dirección, provocando que el material de mayor tamaño sea expuesto a la superficie de la criba.

Trommel

Son básicamente cribas cilíndricas rotativas, colocadas con una leve inclinación del lado donde el material es alimentado.

Una ventaja que tienen sobre otro tipo de cribas, es que los materiales alimentados se distribuyen más uniformemente, no requiriendo otro tipo de equipo para distribución.

Un aspecto negativo de los trommels, es que son muy grandes en comparación con otros tipos porque en cada intervalo de tiempo usan solamente 20 - 30 % de su superficie total de cribado.

Con los trommels, el material es separado por tamaño conforme toca la superficie de la criba espiralmente hacia abajo. El ángulo de inclinación normalmente es de 4 - 10 grados, y es el responsable del control de la velocidad a la que el material se mueve a través de la criba.

La velocidad rotacional del tambor determina el comportamiento del material dentro del cilindro, a la velocidad que lleva el material puede presentarse acción de cascada, "cataracting" o centrífuga.

Cataracting, es la acción preferida, porque ésta somete la mayor cantidad del material a la superficie de la criba, en ésta el material se distribuye a lo largo de la criba, al rotar el cilindro el material vence la fuerza de gravedad provocando que las partículas caigan a la mayor distancia posible, unas de otras.

A. Cascada

Ocurre a bajas velocidades y provoca en más de una vuelta la acción de caída del material, resultando un mezclado insuficiente para agitar el centro de la masa en movimiento.

A. Centrífuga

Ocurre a elevadas velocidades, el movimiento del material es inefectivo para cribado porque las partículas son ayudadas a atravesar la pared del tambor por la fuerza centrífuga.

Criba vibratoria

Tiene mucho uso en la industria arenera y grava, hay de alta y baja velocidad, así como inclinadas y horizontales. La superficie de la criba normalmente $16 - 20 \text{ ft}^2$ es colocada en cajas rectangulares, la caja puede contener una o más separaciones múltiples de material.

Separadores magnéticos

son diseñados para remover material ferroso de una capa de material en movimiento. Un gran magneto, permanente o electromagnético se monta en un marco, alrededor del magneto se encuentra una banda de caucho o un tambor de acero con carromato, este viaja alrededor del magneto.

Estos equipos normalmente son instalados en un transportador o en la cabeza de un sacudidor por encima de una cama de material en una línea o al cruzar los desechos. En operaciones para C.D., se usa frecuentemente el estilo cruzado.

Tanques de flotación

Es un separador por gravedad, utilizan agua como medio para separación, principalmente separa desechos plásticos de aquellos de madera. Antes de entrar al tanque el material es cribado para remover finos y es esparido hacia afuera para minimizar la cama depositada. Ya dentro del tanque, el material plástico o de caucho tiende a sumergirse y la fracción leñosa flotar. Los trozos de caucho son arrastrados del fondo del tanque por un transportador de cadena inclinado instalado en la parte superior sobre el labio del tanque en la parte externa.

El material que flota se jala por medio de un jalador instalado sobre una barrera dentro del tanque, se deposita posteriormente sobre una criba pequeña para drenarlo y posteriormente ser descargado.

Pueden presentarse problemas de calidad cuando los desechos plásticos y de papel quedan en la fracción leñosa y de igual manera residuos leñosos saturados con agua pueden hundirse con el caucho.

Clasificadores de Aire

Es un separador por densidad que utiliza aire como medio, se usa un flujo vertical u horizontal para separar materiales de diferente densidad.

En una unidad horizontal, el material alimentado es enviado hacia una cámara donde una corriente horizontal de aire desinfla el material ligero al cruzar esta una barrera y separa el material pesado que cae al fondo. También unidades verticales que elevan el material ligero mediante una corriente de aire para ser descargados en la parte superior.

Esta comprobada la efectividad de la separación de materiales, por medio de aire y es más deseable que un tanque de flotación que es más indicado para tratamiento de aguas residuales.

Picadora Manual

Una picadora manual es una plataforma elevada con un transportador adaptado, también se encuentra normalmente una banda resbaladiza y un gato a lo largo de ambos lados de la banda.

CLAVES PARA SELECCIONAR EQUIPOS PARA PROCESAMIENTO DE DESECHOS DE CONSTRUCCION

- " Steel-apron " Transportadores. Absorben impactos de los materiales de construcción y resisten daños.
- Los equipos principales de reducción de tamaño para materiales frías son trituradores de mandíbulas, impactores y martillos manuales.
- Residuos de madera son procesados normalmente mediante molinos de martillos.
- Molinos de troncos o cribas de baja velocidad.
- Por problemas de calidad en el producto resultante se prefiere el clasificador por aire sobre un tanque de flotación para separación de residuos de demolición mediante diferencia de densidad.

El paso Crítico. Elección de Equipo Reductor de Tamaño

La selección apropiada de equipos para reducción de tamaño es una decisión crítica para el sitio de operación porque de esta depende la eficiencia de recuperación y los costos. Estudios recientes indican que cuando mucho del 95 al 99% de la energía utilizada para reducción de tamaño se pierde mediante calentamiento. Esta ineficiencia se encuentra relacionada directamente con los costos.

Escoger el mejor equipo no es una tarea simple normalmente pueden encontrarse más de un tipo de equipo para reducción de tamaño, -

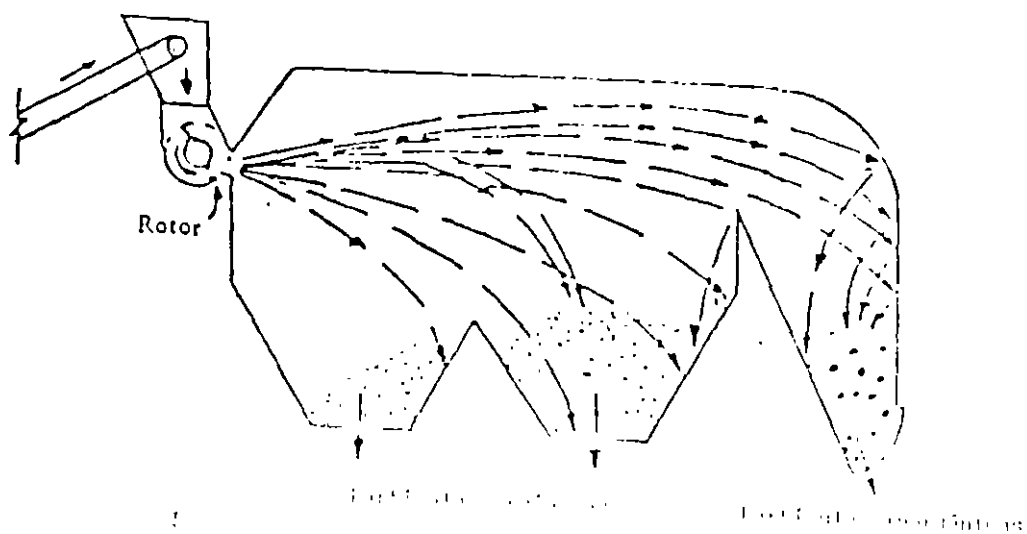
sin embargo deben considerarse las diferencias presentes en cada tipo, por ejemplo algunos pueden tener deficiencias en el sistema de alimentación, estas pueden retrasar el proceso y aumentar la cantidad de energía consumida.

Para elegir el tipo y tamaño correcto de equipo para cada operación se necesita conocer lo siguiente :

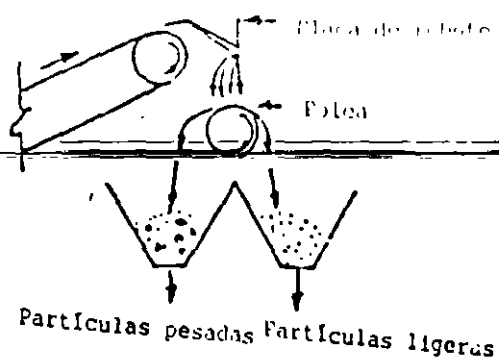
- . Características del material alimentado
- . Definir el tamaño de partícula ideal y su distribución después de la trituración.
- . Una idea de como el equipo esta integrado con el resto del proceso de operación.
- . Características del material alimentado que afectan la reducción de tamaño, incluye Toughness, abrasivos, estructura y tamaño físico, adhesivos y contenido de humedad.

Fuente : Resource Recycling
August 1993
by Russell Filtz,
Carl Swanson
and Marty Felker

Separador batifido



Separador de rebote



Separador de rebote

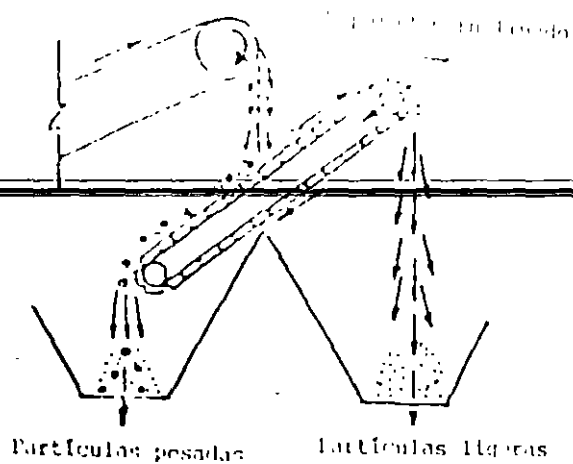
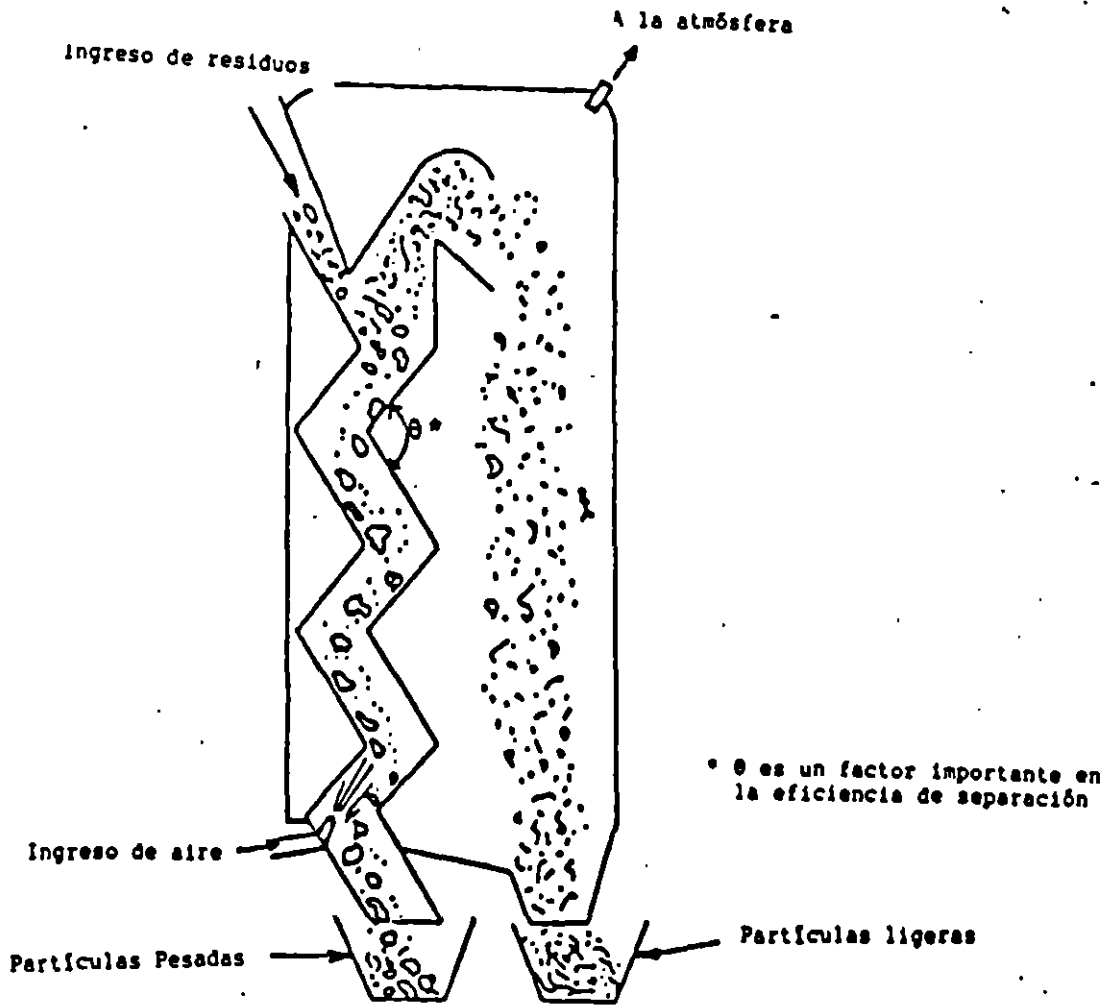


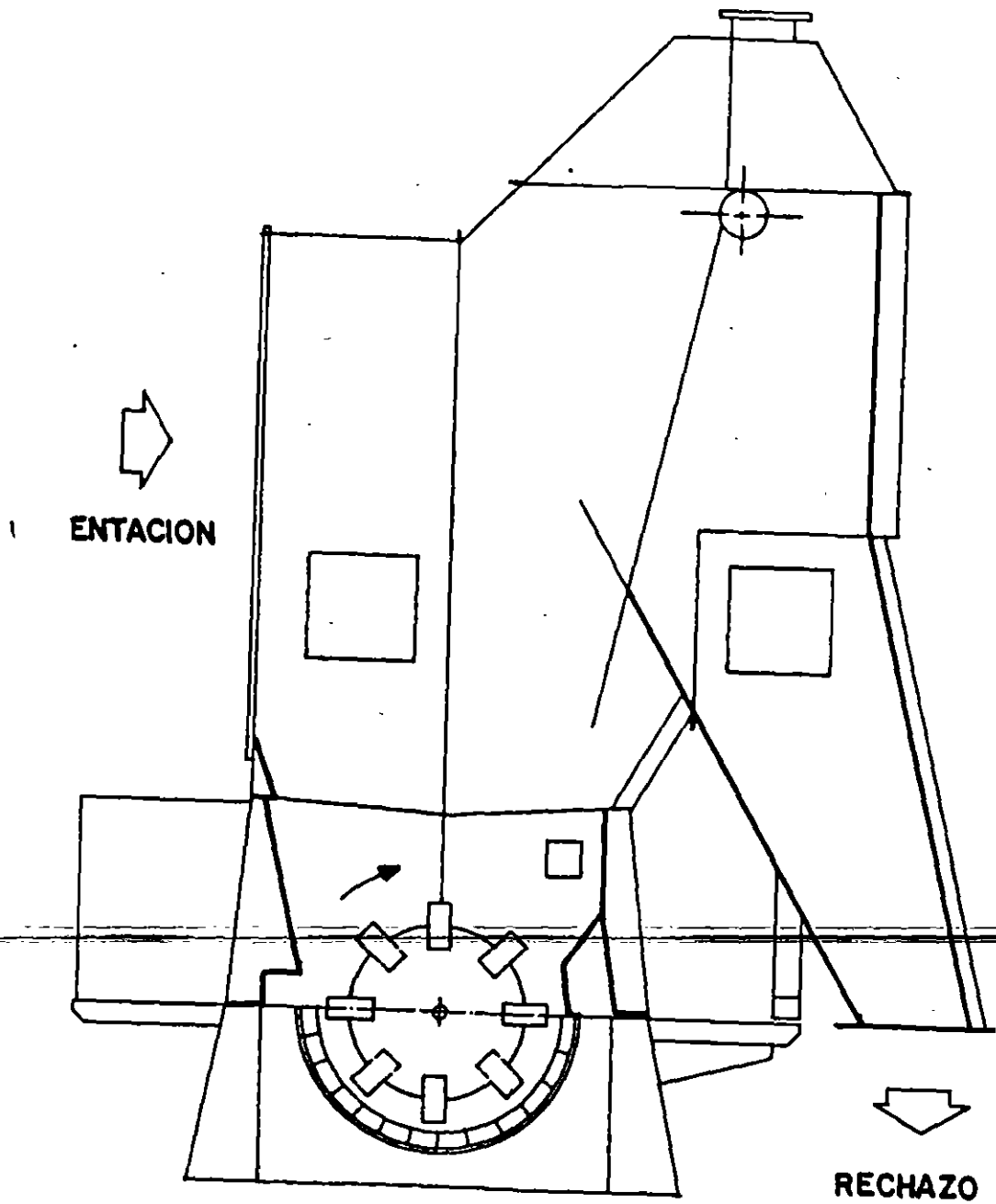
Fig.4 Separadores inerciales

Las partículas ligeras suben

Las partículas pesadas caen



Separador 219 249

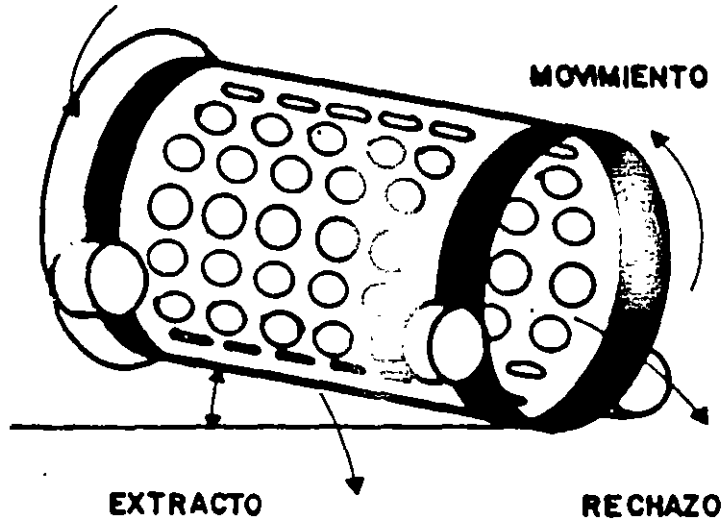


ENTACION

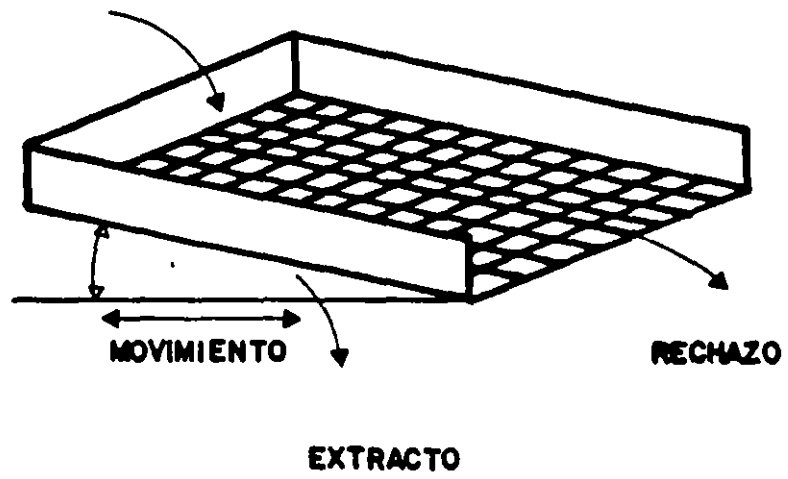
RECHAZO

PRODUCTOS
TRITURADOS

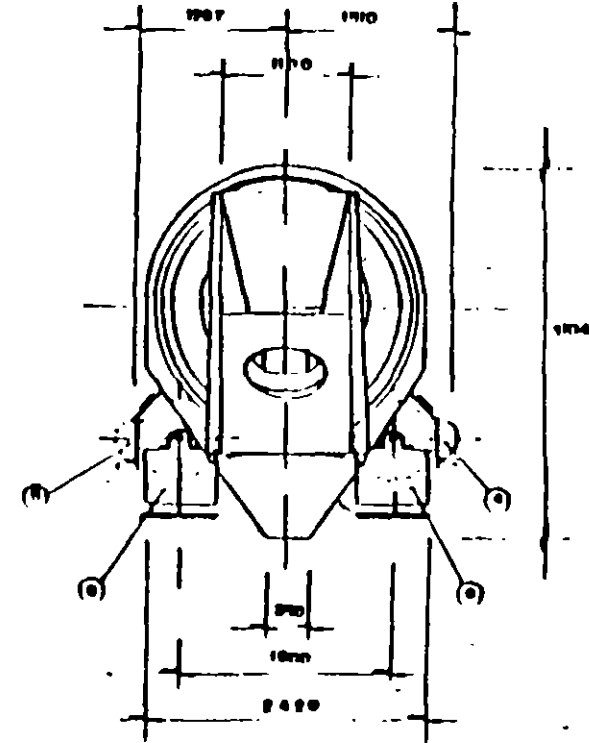
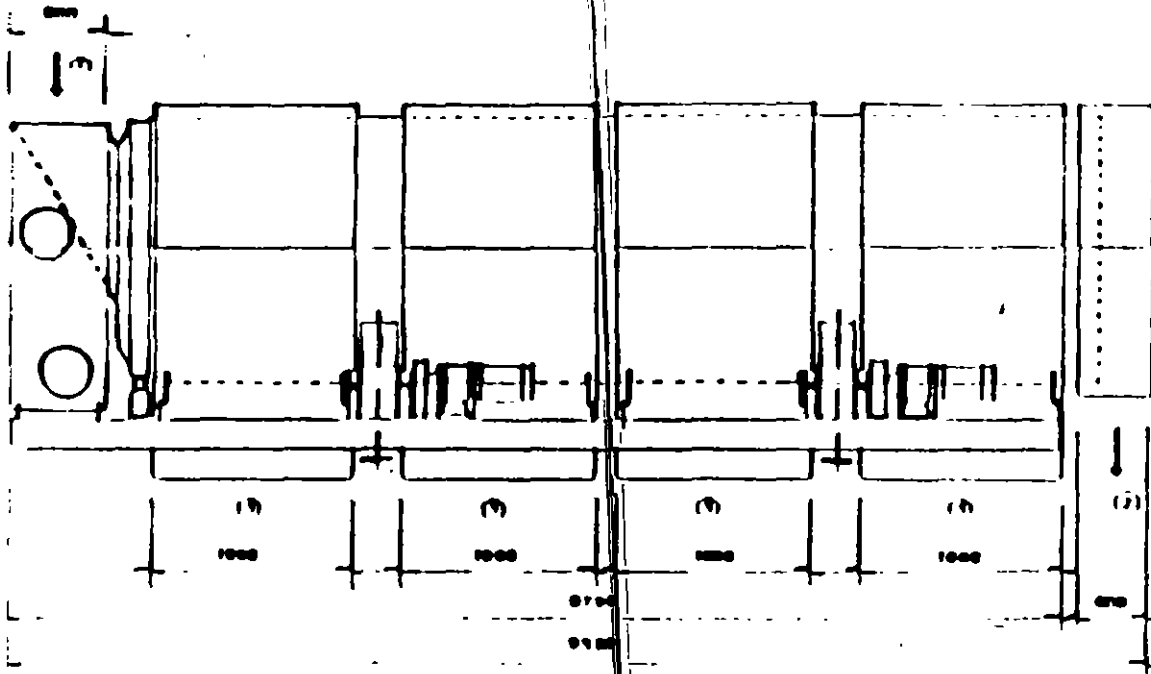
ALIMENTACION



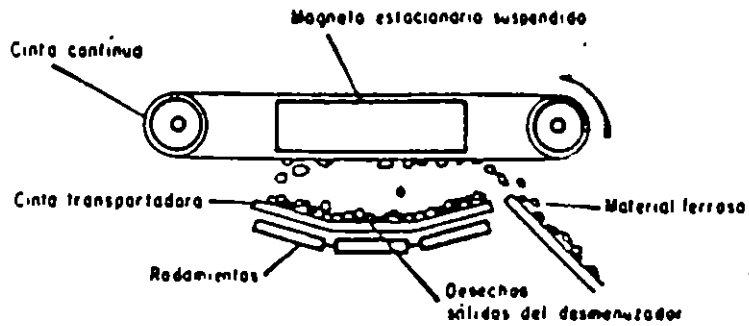
ALIMENTACION



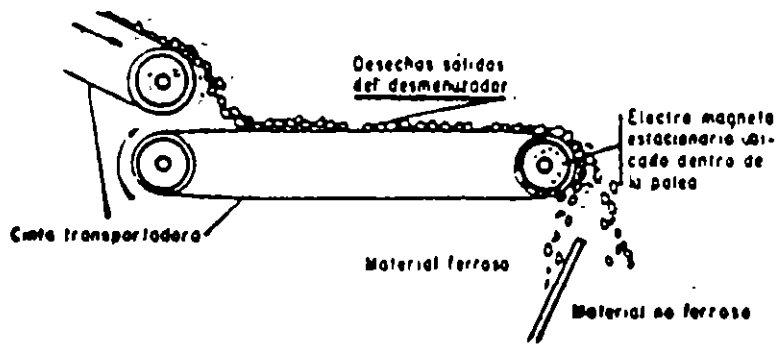
CRIBA ROTATORIA.



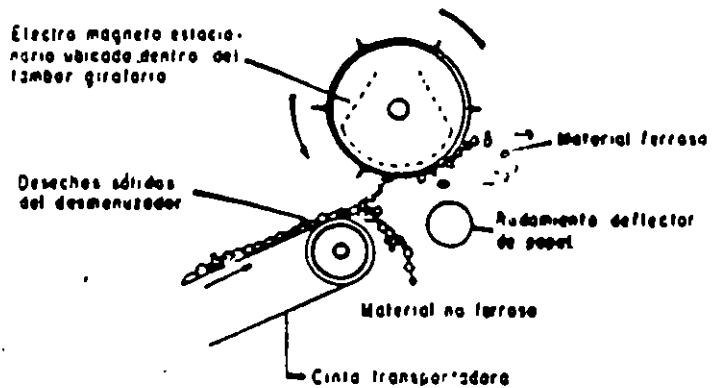
- (1) ENTRADA DEL TUBO
- (2) CILINDRO
- (3) MANDRIL CENTRAL
- (4) MANDRIL A LA DERECHA
- (5) MANDRIL PRELATIVAMENTE A LA IZQUIERDA
- (6) DISEÑO DEL TUBO QUE SE USA DE MEDIDA DE LONGITUD



a) MAGNETO SUSPENDIDO

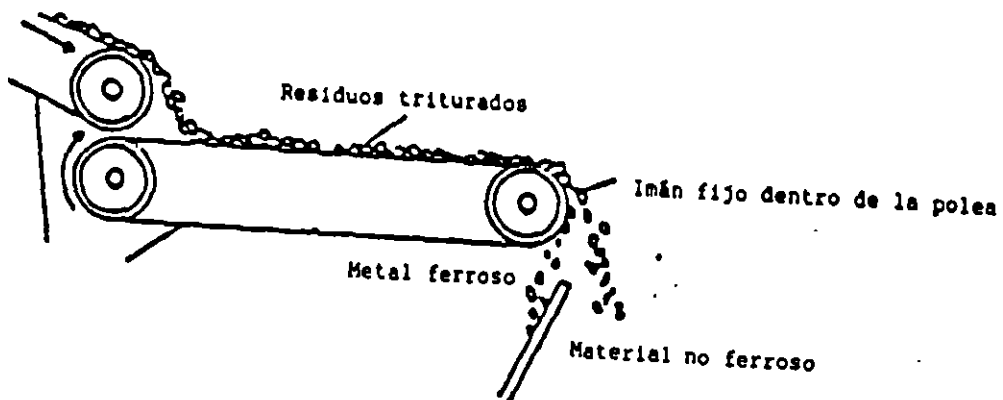
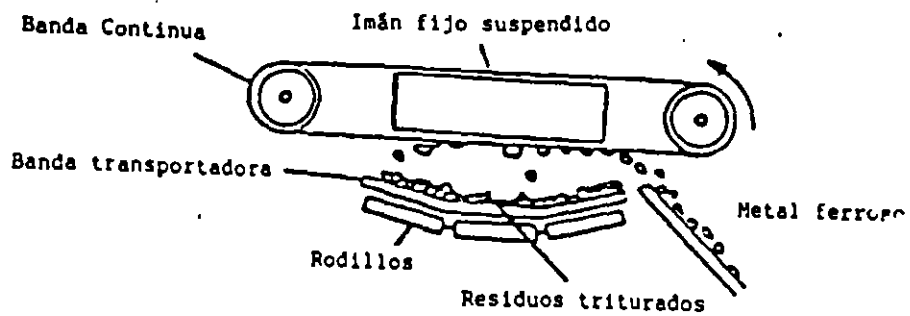


b) POLEA-MAGNETICA

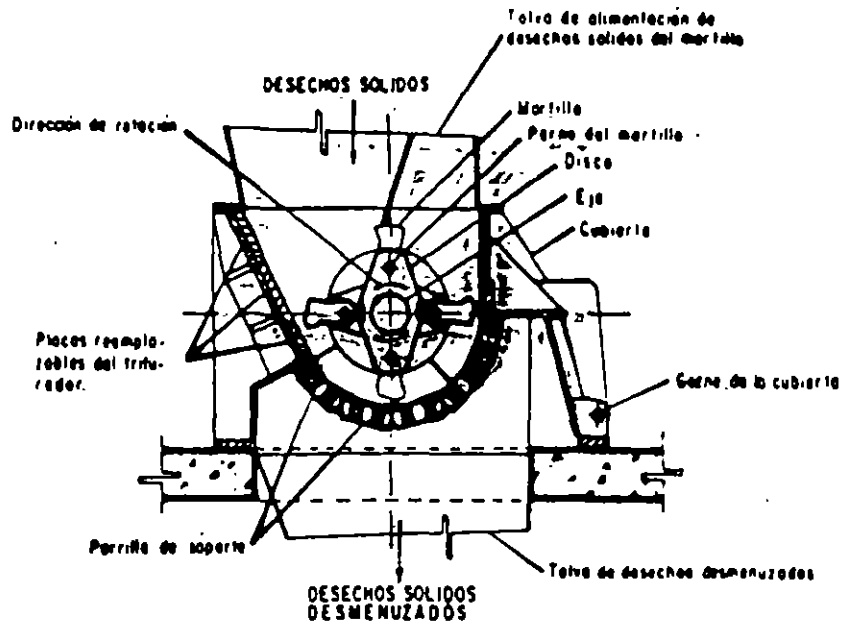


c) TAMBOR MAGNETICO SUSPENDIDO

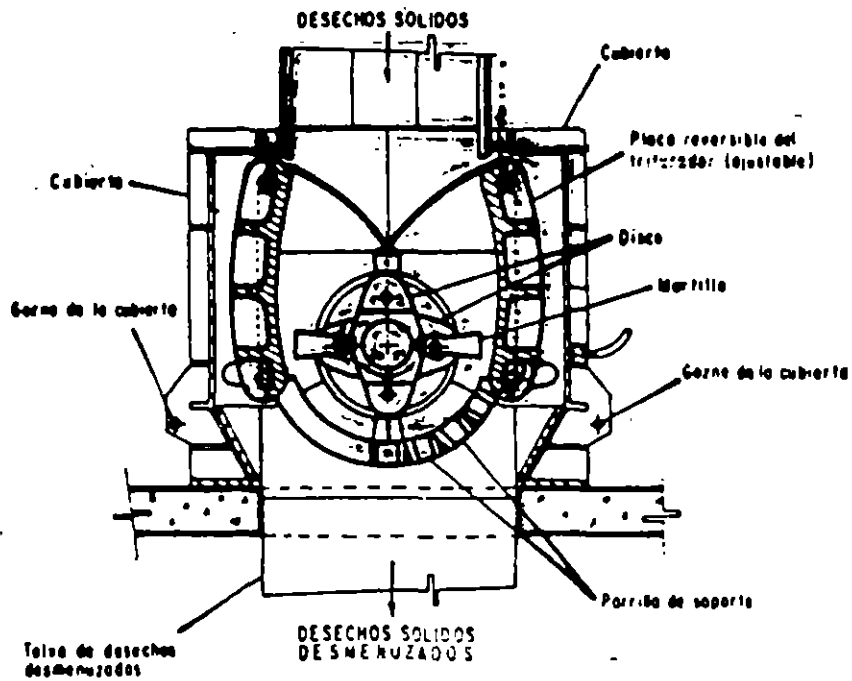
Separadores típicos de magnéticos (Eriez Magnetics).



Separadores
 magnéticos típicos

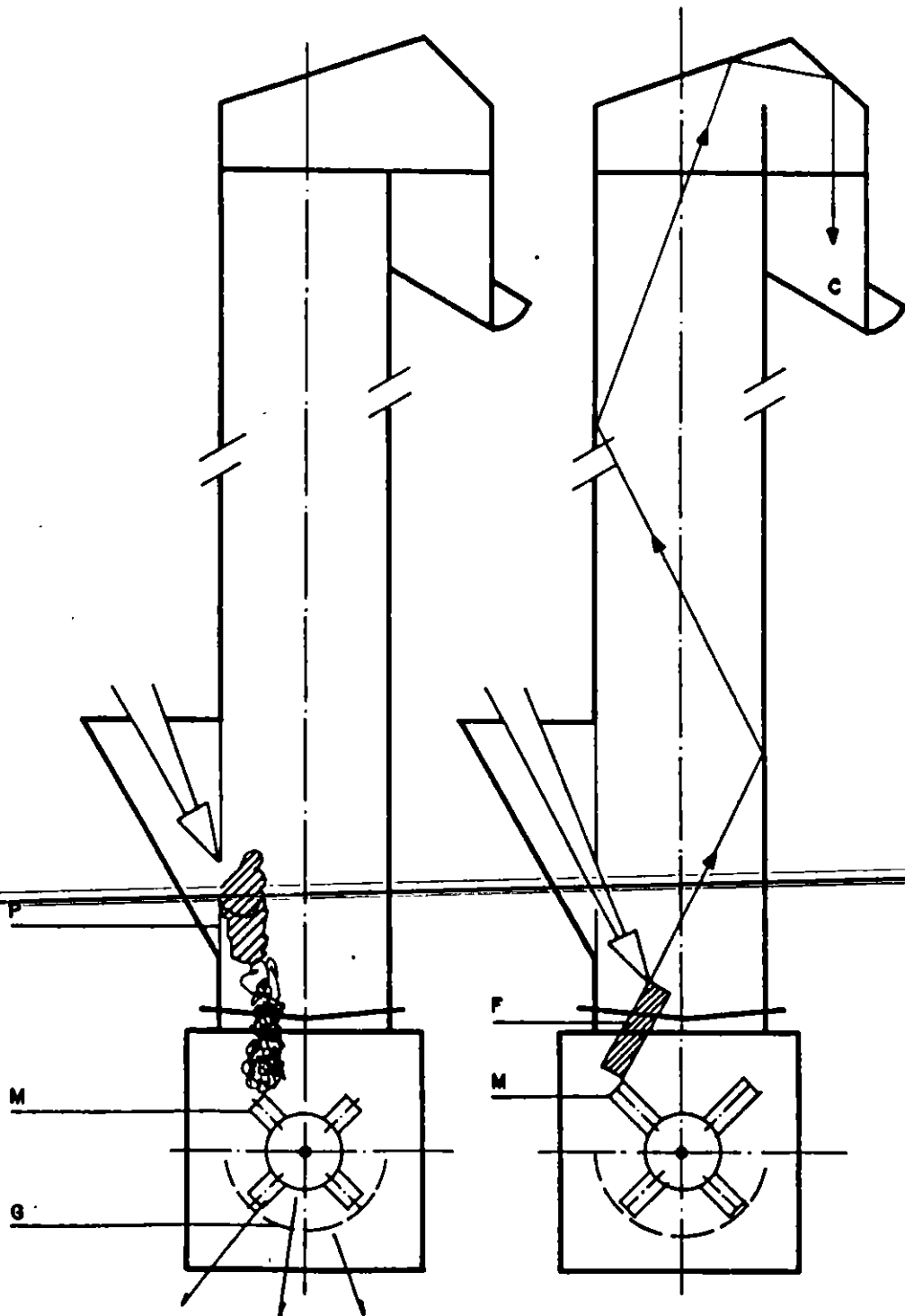


a) TIPO UNIDIRECCIONAL



b) TIPO REVERSIBLE

Molinos de martillo usados en la reducción de desechos sólidos. a) Tipo unidireccional. b) Tipo reversible, (Williams Patent Crusher and Pulveriser Company, Inc).



**EVACUACION
DE MATERIALES
NO TRITURADOS**

MOLINO GONDARD

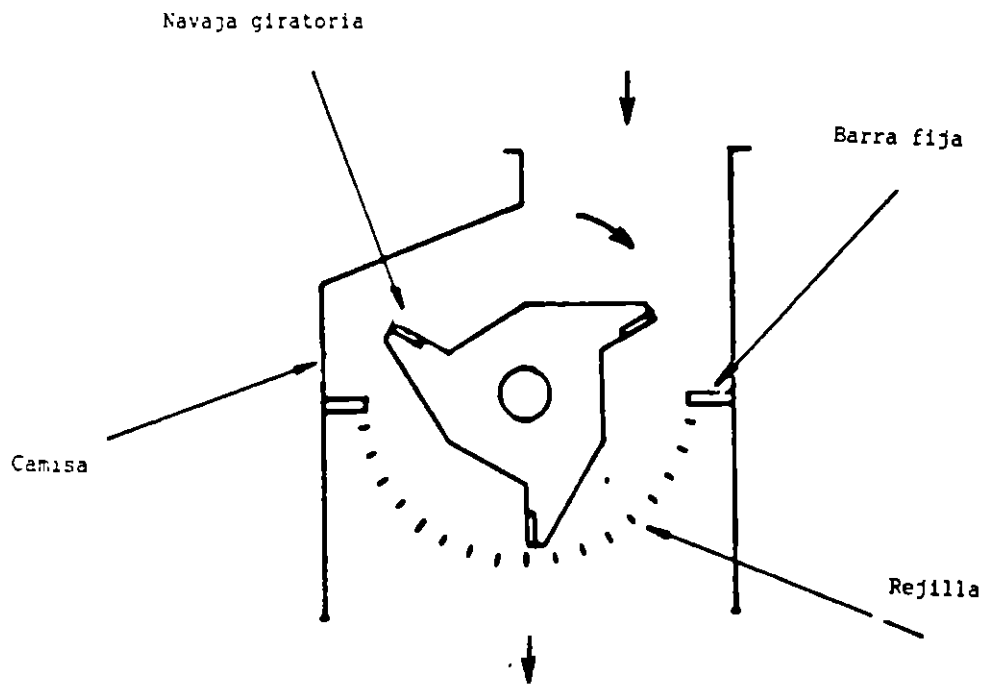
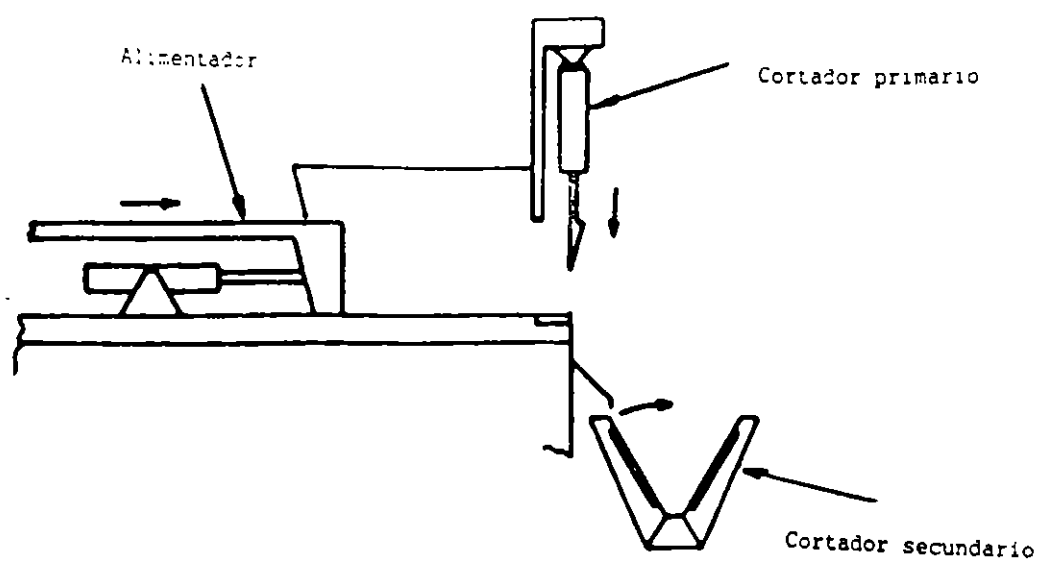


Fig. 8 Cortadores

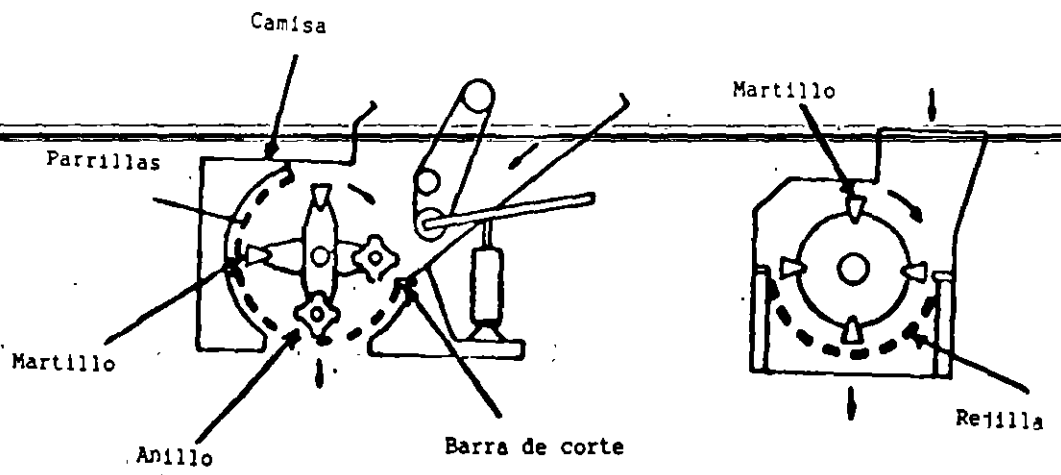
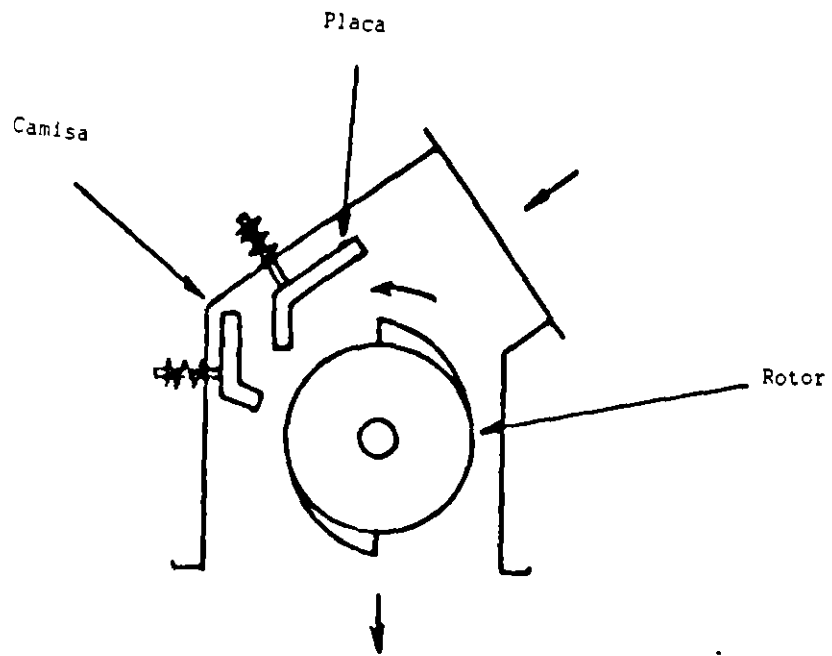
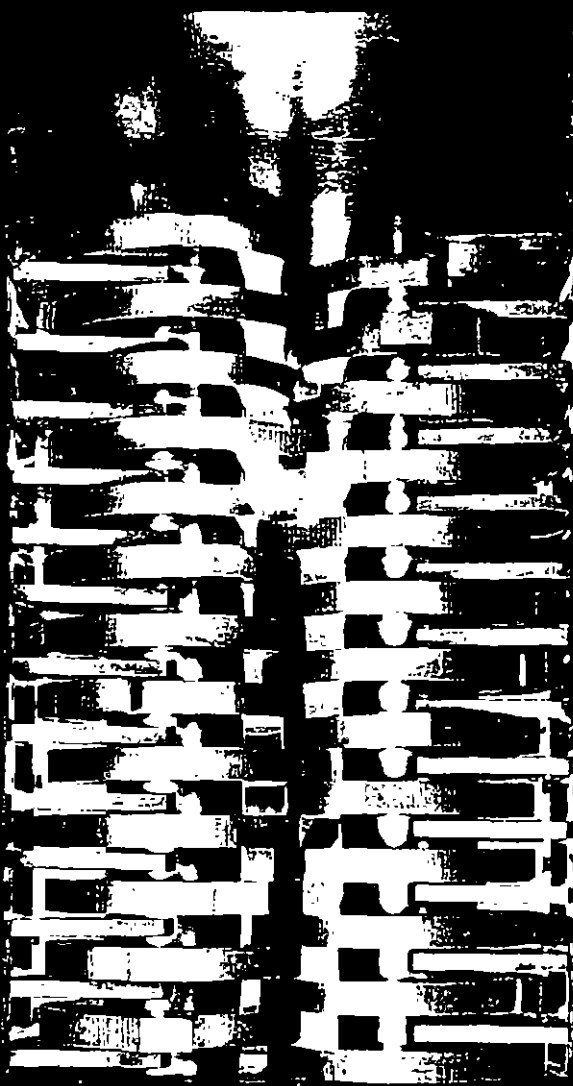


Fig. 9 Molinos



TRITURADOR TIPO
ANILLOS

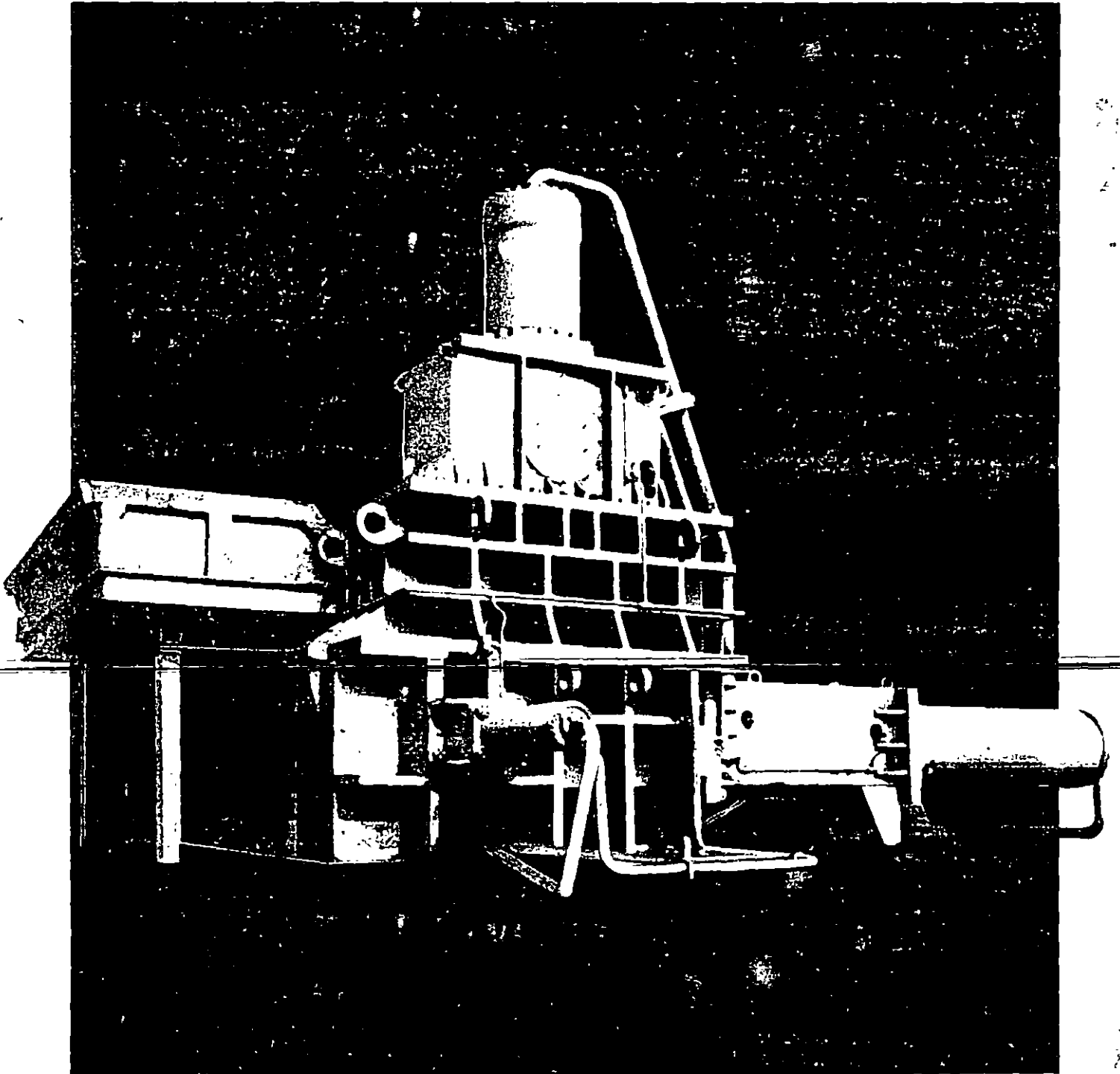
SSI SHREDDING SYSTEMS



COMPRESION O
COMPACTADO

TG SERIES BALING PRESSES

BALE AUTOS, SHEET, FRAME STOCK, CLIPS, RR BOX CAR SIDES



BENEFITS

THE AMPAC TRANSPORT PAK SYSTEM IN ACTION

- PAYLOAD FORMED INDEPENDENTLY OF TRANSFER VEHICLES PROVIDES GREATER TRANSFER STATION EFFICIENCY

- ABILITY TO USE LIGHTER WEIGHT HAULING EQUIPMENT ALLOWS GREATER PAYLOAD

- INTEGRAL WEIGHING SYSTEM FORMS EACH PAYLOAD TO TRANSPORT WEIGHT LIMITS

- AUTO-PAK OPTION FOR AUTOMATIC CONTROLLABLE COMPACTION DENSITY

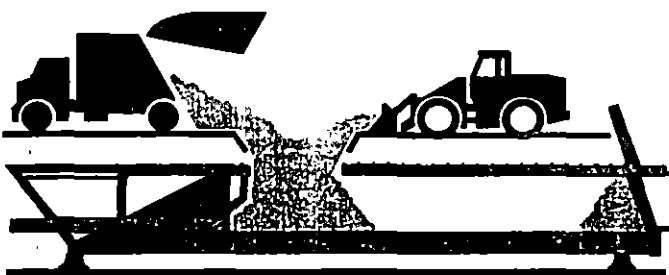
- MAXIMUM PAYLOAD FOR EVERY TRANSPORT MODE: HIGHWAY, MODAL RAIL, BARGE

- MAXIMUM VOLUME THROUGHPUT

- INSTALLATION ASSISTANCE, TRAINING AND SUPPORT

- 12 MONTH WARRANTY

1. LOAD



2. PACK PRE-LOAD & WEIGH



3. TRANSFER

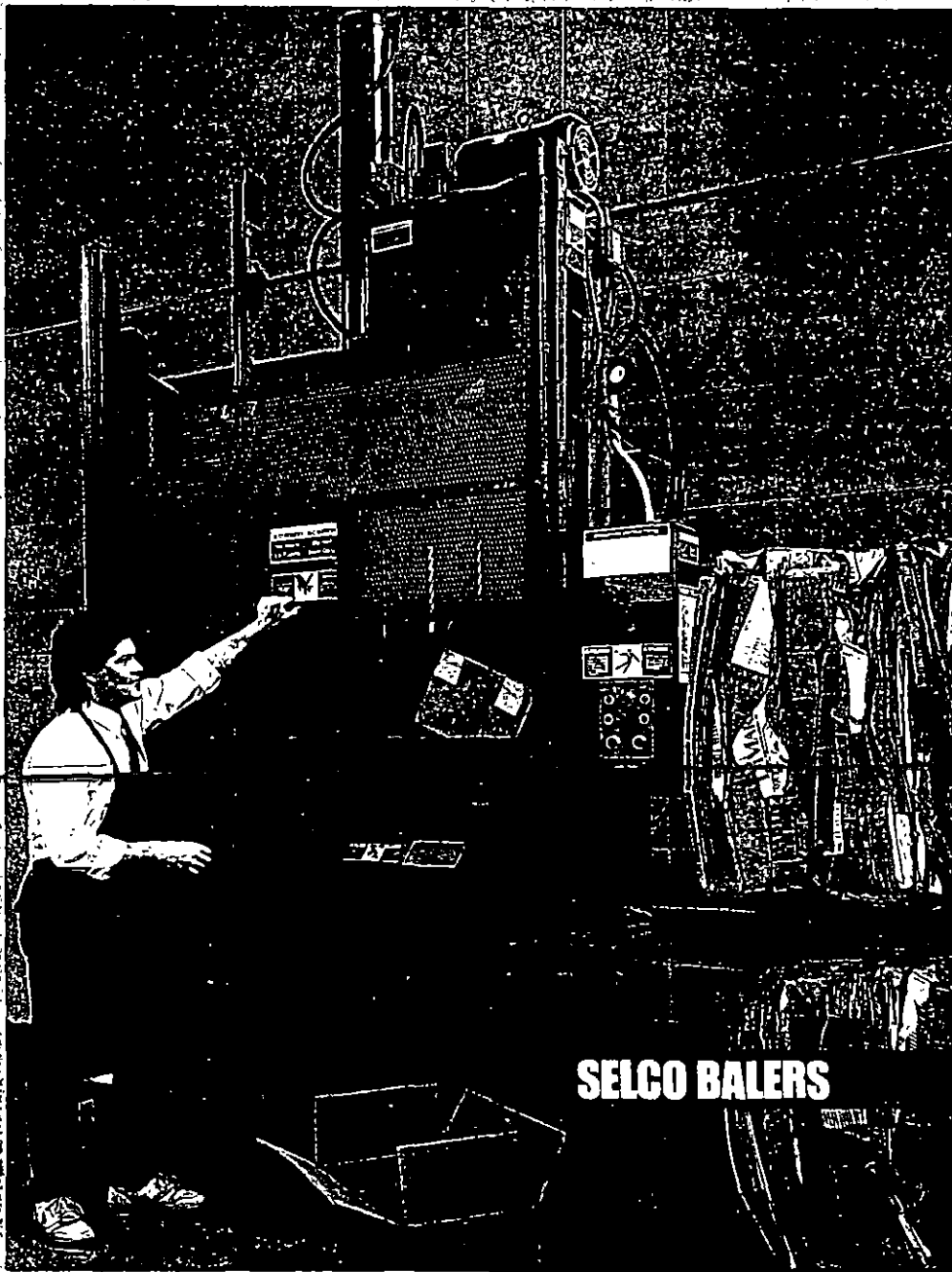


Printed on recycled paper.

SELCO VERTICAL BALERS

COMPACTADO Y EMPACADO
TIPO VERTICAL

- Entire baler on one base
- Hydraulic system with 22400
- Smooth velocity hydraulic pump
- Soft-shut stack and hydraulic circuit
- Compression bar release opening system
- Automatic wire strapping circuit
- Fulling mechanism
- Semi-automatic bale ejection



SELCO BALERS

*Operation Safety
Video included
with each baler!*



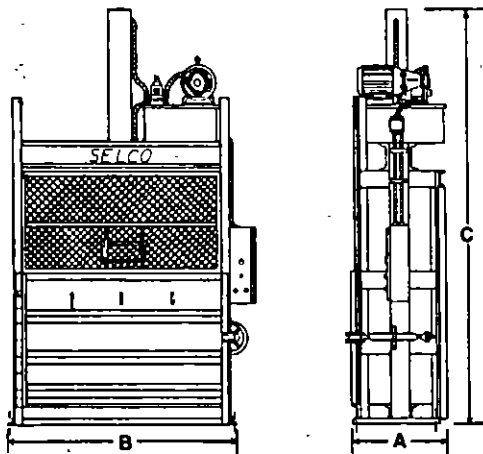
**Harris Waste
Management
Group, Inc.**

SELCO VERTICAL BALERS

SPECIFICATIONS

		V-2.5	V-3	V4-HD	V5-SLP	V5-HD	V5-R	V-6	VS-6M	VS-6
Bale Size, in Baler	Length (in.)	30	36	48	60	60	60	72	72	72
	Width (in.)	18	24	30	30	30	30	30	42	42
	Height (in.)	30	28	48	38	48	48	48	48	48
Bale Weight	(lb)	75-125	150-300	600-800	600-800	900-1100	900-1000	900-1200	900-1300	1200-1500
Cycle Time	No Load (sec)	40	42	45	27	45	45	48	48	52
Motor Horsepower		1	5	10	10	10	10	10	10	15
Operating Pressure	(psi)	1,800	1,900	2,000	2,000	2,200	1,600	2,000	2,200	2,200
Platen Force	(lb)	8,838	23,900	56,520	56,520	62,200	-	56,520	62,170	84,600
Main Cylinder	Bore (in.)	2.5	4	6	6	6	6	6	6	7
	Stroke (in.)	27	38	48	27	48	48	48	48	54
Hydraulic Pump Capacity	(gpm)	1.5	4.5	12	12	12	12	12	12	18
Oil Reservoir Capacity	(gal)	2	12	20	20	20	20	20	20	50
Feed Opening	Width (in.)	30	36	48	60	60	60	72	72	72
	Height (in.)	15	15	28	15	28	28	28	32	32
Bale Tie Wires	No. Per Bale	2	4	4	5	5	5	6	6	6
	Length (ft.)	12	14	14	14	14	14	14	18	18
	Wire Gauge	Twine	14	14	14	14	14	14	18	18
Shipping Weight	(lb)	1,200	2,000	4,500	4,300	5,000	4,400	5,500	6,500	8,000

(SPECIFICATIONS ARE SUBJECT TO CHANGE WITHOUT NOTICE)



Dimensions

Model	A	B	C
V-2.5	24	47	93
V-3	34	50	107
V4-HD	38	63 1/2	147
V5-SLP	28	75 1/2	95 1/2
V5-HD	38	75 1/2	147
V5-R	38	75 1/2	147
V-6	38	87 1/2	147
VS-6M	48	88	152
VS-6	48	88	169

All dimensions are in inches

SELCO BALERS

200 Clover Reach Drive
Peachtree City, GA 30269
(800) 373-9131
(404) 631-7299 FAX



**Harris Waste
Management
Group, Inc.**





COMPRESION Y
FRAGMENTADO

GUILLO-GATOR SHEARS

8' OR 12' SHEAR THROAT WIDTH



INTRODUCCION

Los sistemas de tratamiento de residuos sólidos se han desarrollado como una alternativa para disminuir tanto los volúmenes que se destinan a disposición final, como para controlar o reducir la generación de impactos adversos en el caso de los residuos peligrosos.

En los países desarrollados, los sistemas de tratamiento más comunes son la incineración, la producción de combustibles auxiliares o alternativos (RDF) y en menor medida el composteo. Encontrándose que este último, es más ampliamente utilizado en países del llamado tercer mundo. En cambio la incineración llega a ser hasta 20 veces más cara que la disposición final en rellenos sanitarios, por lo que para muchos países en desarrollo sus costos son prohibitivos.

Existen también, algunas metodologías nuevas que están adquiriendo popularidad en el mundo, como la pirólisis, la hidrogenación y la oxidación, entre otros. Sin embargo la mayoría se encuentran aún a escalas experimentales o piloto.

En los últimos años se han creado instalaciones con el concepto de aprovechamiento integral de los residuos, en donde previamente a los procesos ya citados, se lleva a cabo la separación de materiales reciclables y el aprovechamiento de la energía residual generada por los sistemas de incineración.

A) INCINERACION DE RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES

A.1 Descripción del proceso

La incineración es una técnica de tratamiento, cuyo objetivo es la reducción de volumen de los residuos sólidos mediante una combustión a temperaturas altas (oxidación controlada). Los productos resultantes de éste proceso son gases, cenizas y escorias estables, donde éstos últimos se pueden disponer en un relleno sanitario o utilizarse para otros fines.

Las etapas que constituyen el proceso de incineración son:

- . Recepción de residuos
- . Alimentación
- . Combustión
- . Extracción y apagado de cenizas y escorias
- . Extracción y limpieza de los gases de combustión
- . Recuperación de la energía (calor) de los gases de combustión

A.2 Requerimientos para el proceso

Debido a las múltiples tecnologías existentes, es necesario que se especifiquen las características de los residuos sólidos a incinerar para así realizar una elección adecuada. Además se deben de especificar las características de operación del proceso.

~~Información requerida:~~

- Características de los residuos sólidos a incinerar.
 - . tipo
 - . Composición
 - . Características físico-químicas
 - . Cantidades a procesar

- Características de operación:
 - . Proporción de alimentación de residuos

- Disposición de los residuos del proceso de incineración (ceniza y escoria, aguas de desecho).
- Monitoreo y evaluación de los efluentes del proceso de incineración:
 - . Gases de combustión
 - . Cenizas
 - . Agua residual
- Las tecnologías factibles de ser implementadas son las siguientes:
 - . Hornos de parrillas; (capacidad de 3 a 40 ton/hr, temperatura ~~de 800°C~~ ^{mínima} de 800°C).
 - . Rotatorias, sistema "Dusseldorf"
 - . Reciprocantes
 - . Oscilantes
 - . De retroceso tipo "Martín"
 - . Horno rotatorio (capacidad de 2 a 40 ton/hr, temperatura mínima de 800°C).
 - . Horno de lecho fluidizado (capacidad de 4 a 40 ton/hr, temperatura mínima de 800°C).

Cualquiera que sea la tecnología empleada, deberá incluir la instalación de uno de los equipos anticontaminantes de cada uno de los siguientes grupos:

- Gases
 - . Lavador de gases húmedo, semi-húmedo o seco
 - . Torres de absorción, empacados
- Partículas
 - . Ciclones
 - . Filtro de bolsas
 - . Precipitador electrostático

- Equipo para tratamiento de aguas residuales del proceso
 - . Físico-químico
 - . Biológico

La tecnología empleada deberá cumplir con la normatividad ambiental - internacional vigente para procesos de incineración de residuos municipales.

Ventajas y desventajas del proceso

Ventajas

- Reducción del volumen original de los residuos hasta un 90%
- No requiere de grandes áreas para su instalación
- Recuperación potencial de energía calorífica, en forma de vapor y/o electricidad.
- Destrucción total de microorganismos patógenos
- Utilización de las cenizas y recuperación de metales en la escoria
- Capacidad variable
- No es necesaria la selección previa de los residuos
- No hay emisión considerable de contaminantes

Desventajas

- Costos elevados de instalación, operación y mantenimiento
- Requiere de personal especializado
- No es un proceso de disposición final total
- Requiere de sistemas anticontaminantes complejos y monitoreos periódicos.
- La incineración por lecho fluidizado requiere de la trituración - previa de los residuos a incinerar.
- Se destruyen materiales con posibilidad de reciclar si no hay una selección y separación previa, además de destruir materiales.

INCINERADOR DE HOGAR FIJO CON POST - QUEMADOR

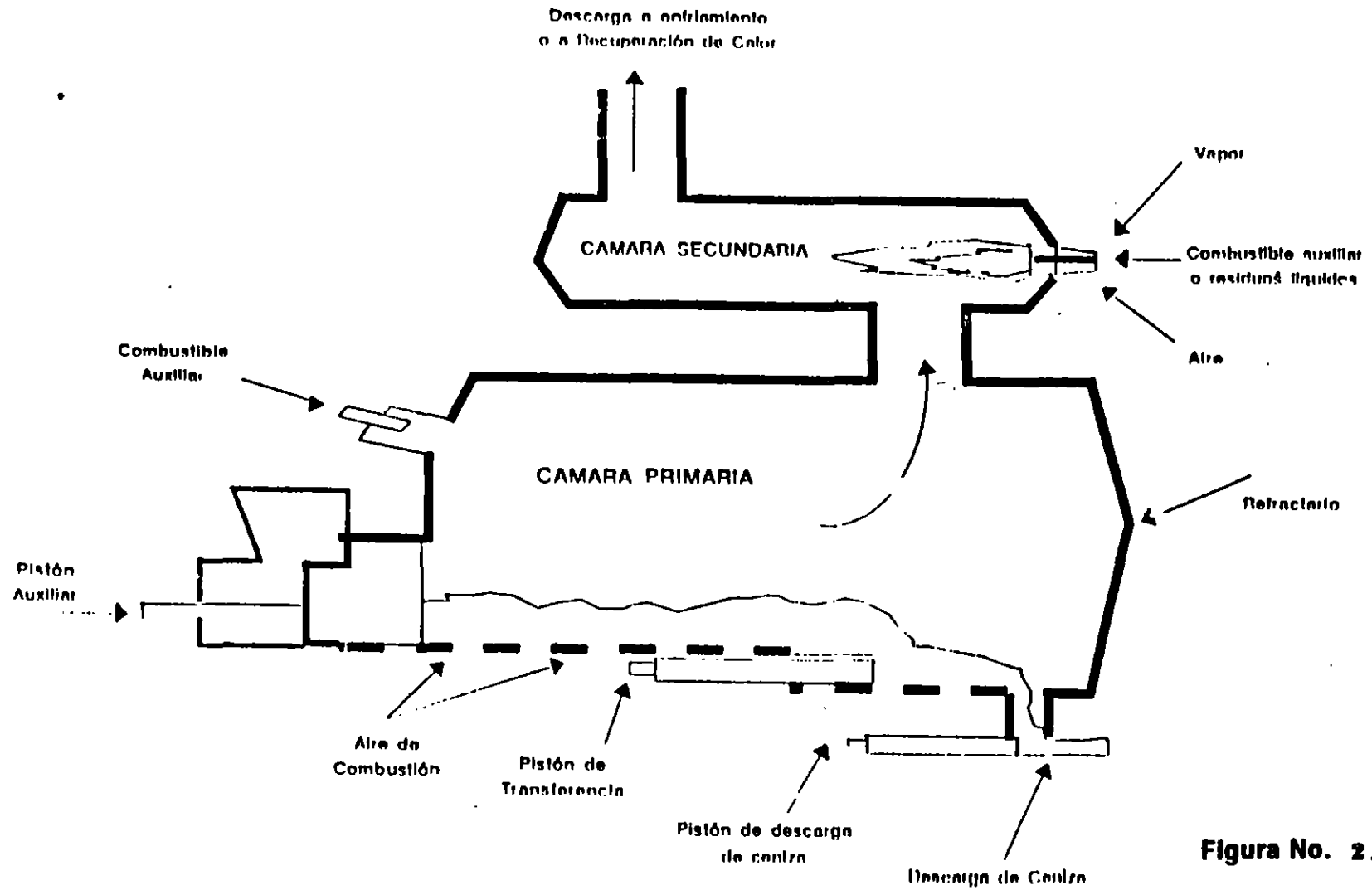
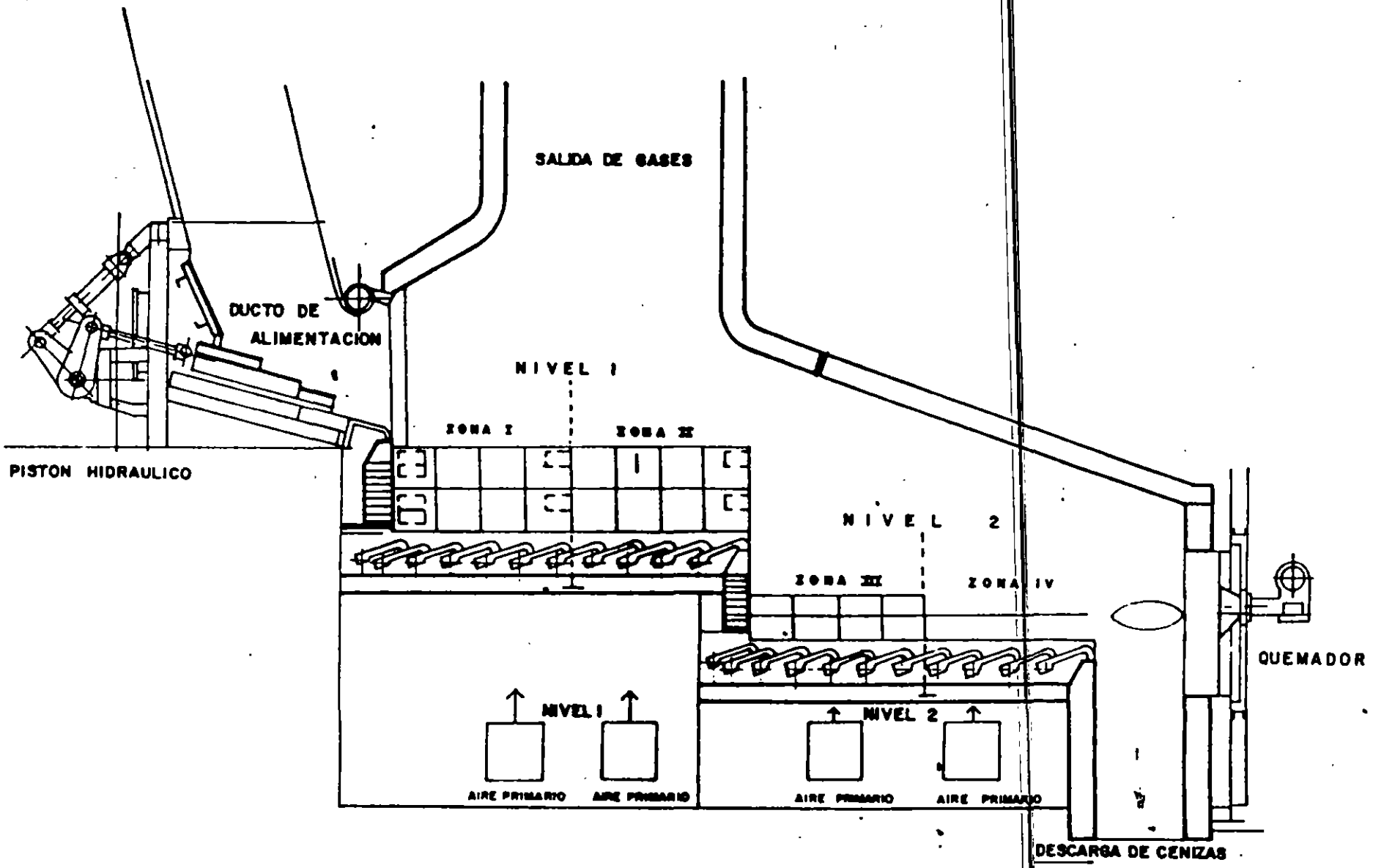


Figura No. 2.13



LOCALIZACION DE LAS PARRILLAS

INCINERADOR DE LECHO FLUIDIZADO

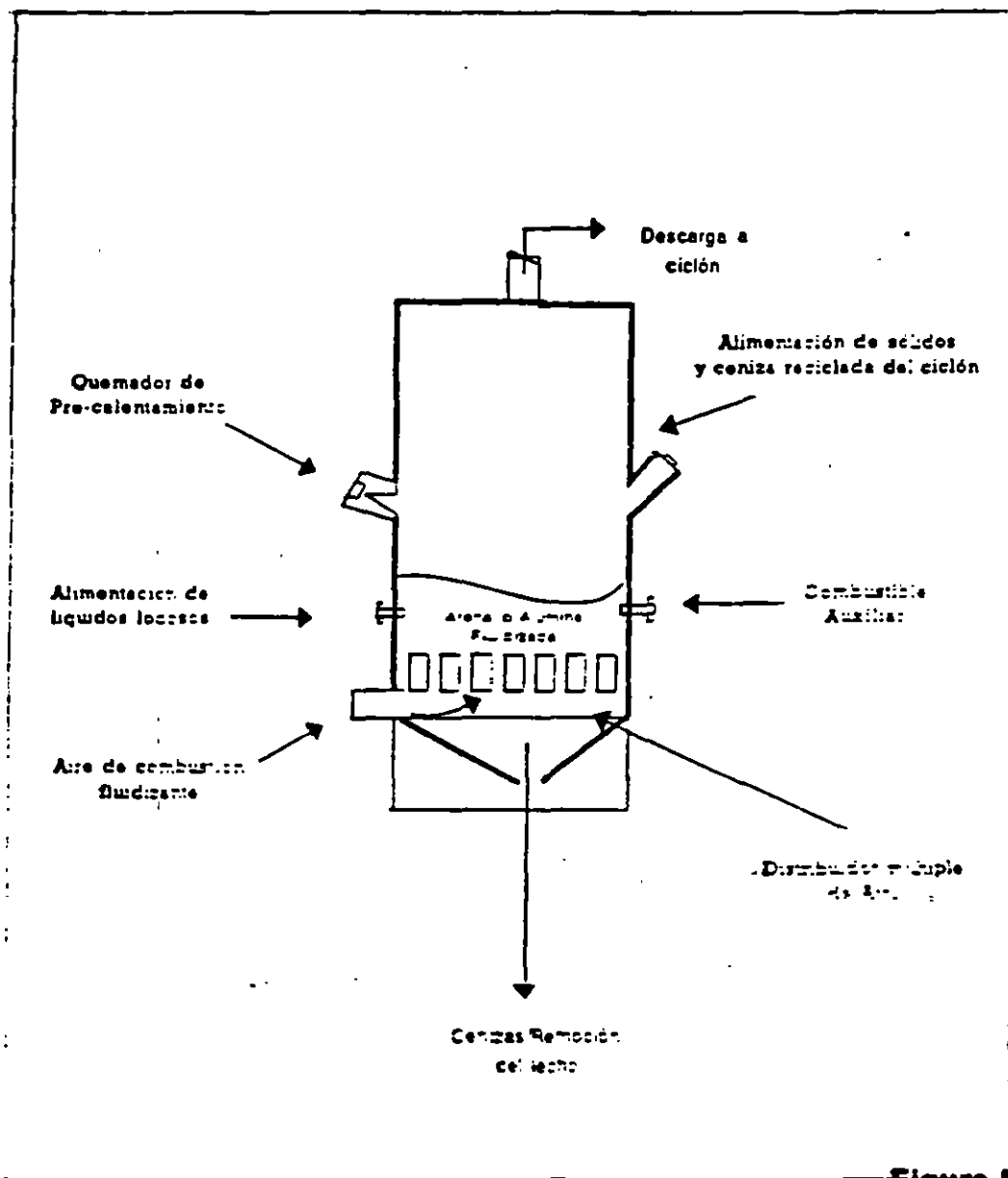


Figura No. 2.9

INCINERADOR DE HORNO ROTATORIO CON POST-QUEMADOR

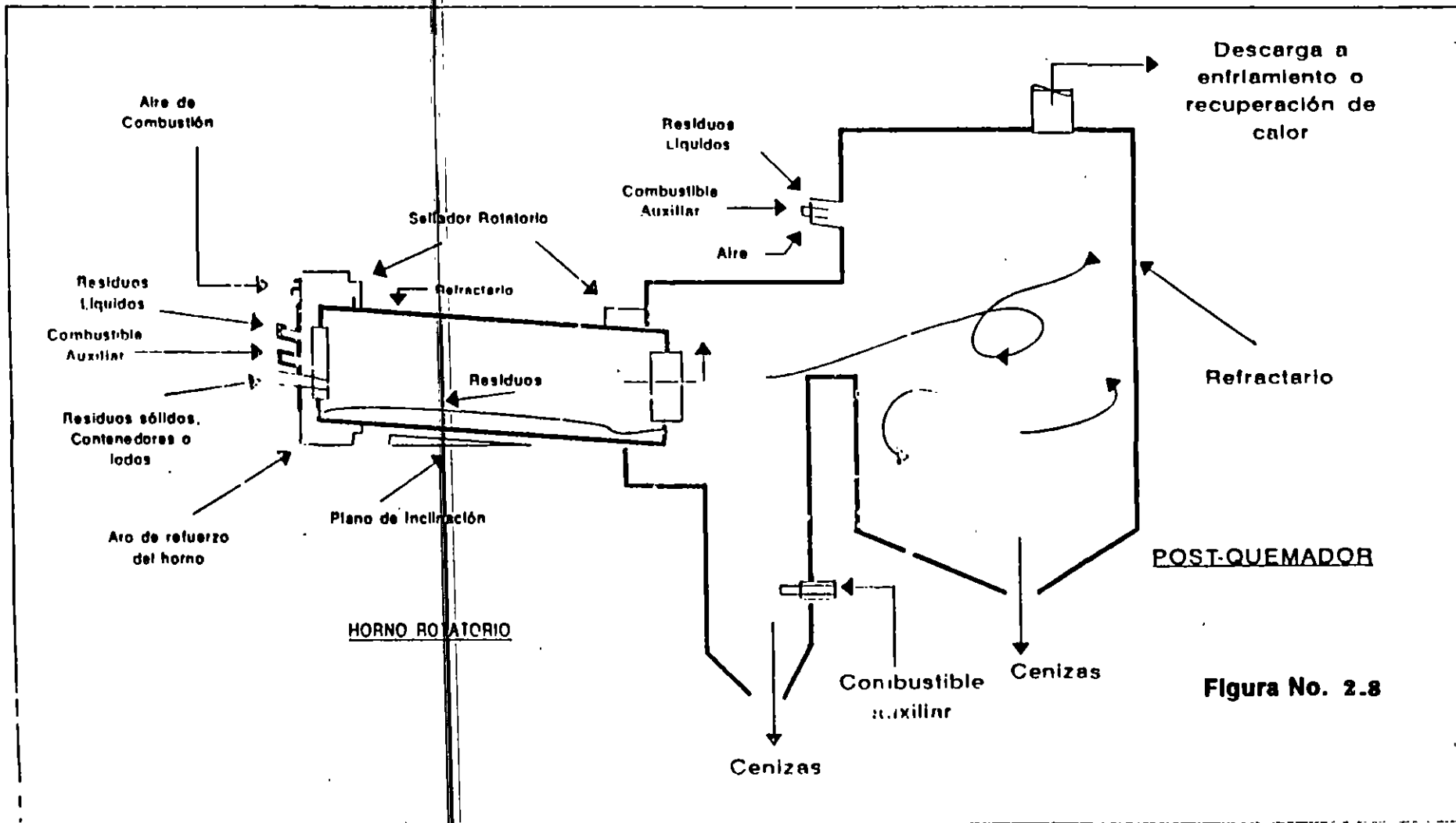
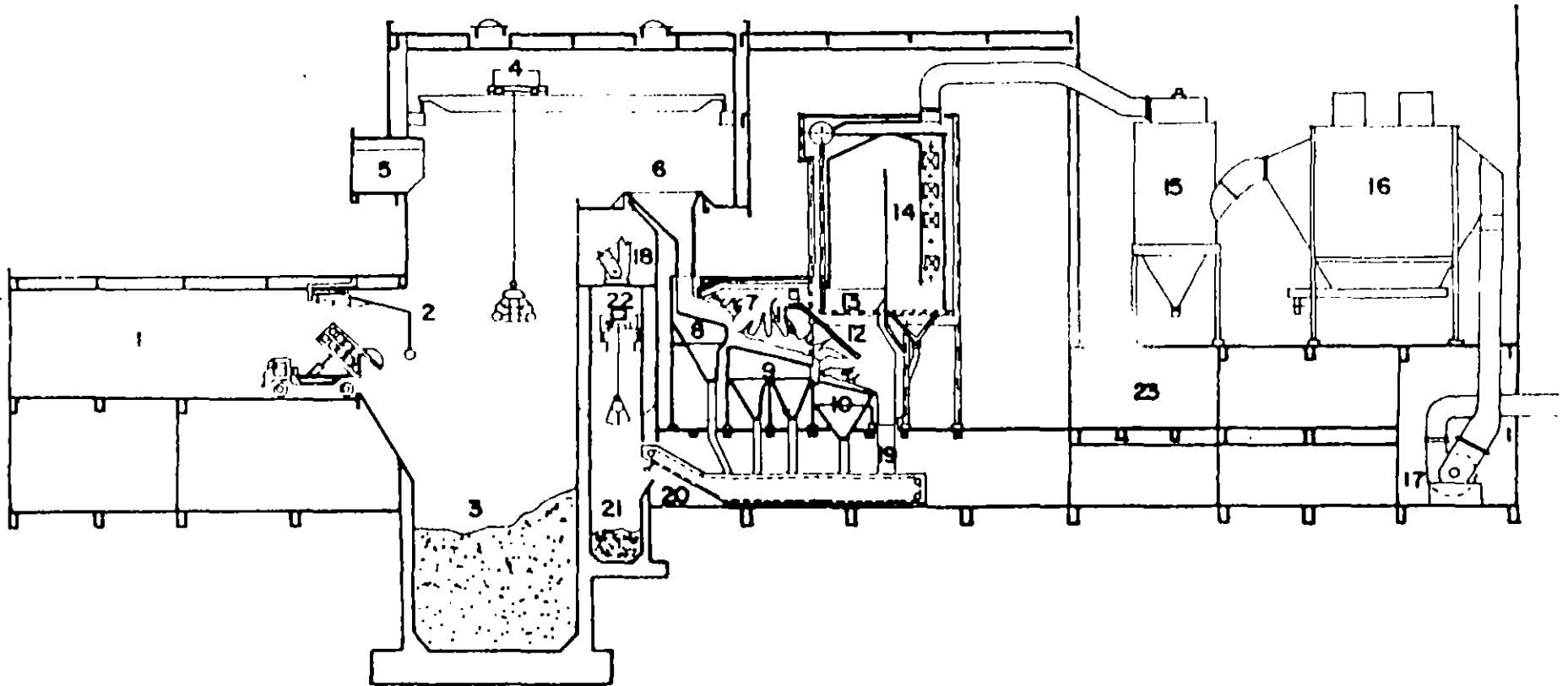


Figura No. 2.8

PLANTA INCINERADORA DE PARRILLAS MOVILES

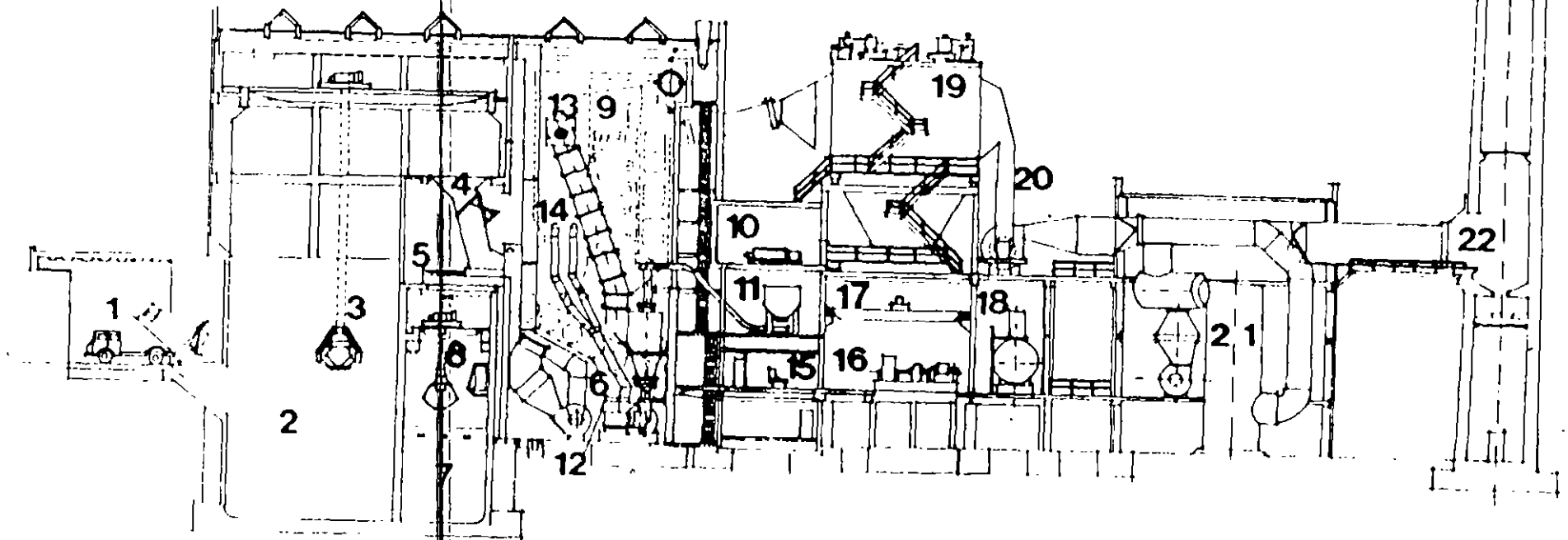


- 1. ZONA DE DESCARGA
- 2. PUERTA DE DESCARGA
- 3. FOSA DE ALMACENAMIENTO
- 4. PUENTE GRUA
- 5. CUARTO DE CONTROL DE GRUAS
- 6. DUCTO DE ALIMENTACION
- 7. HORNO
- 8. ZONA DE SECAJO

- 9. ZONA DE COMBUSTION
- 10. DESCARGA DE ESCORIAS
- 11. QUEMADOR AUXILIAR
- 12. DEFLECTOR
- 13. CAMARA DE POST-COMBUSTION
- 14. CALDERA
- 15. DEPURADOR DE GASES
- 16. PRECIPITADOR ELECTROSTATICO

- 17. VENTILADOR DE TIRO INDUCIDO
- 18. VENTILADOR DE TIRO FORZADO
- 19. DUCTO DE CENIZAS
- 20. TRANSPORTADOR DE CENIZAS
- 21. FOSA DE CENIZAS
- 22. GRUA PARA CENIZAS
- 23. CUARTO DE CONTROL CENTRAL

PLANTA INCINERADORA DE PARRILLAS ROTATORIAS

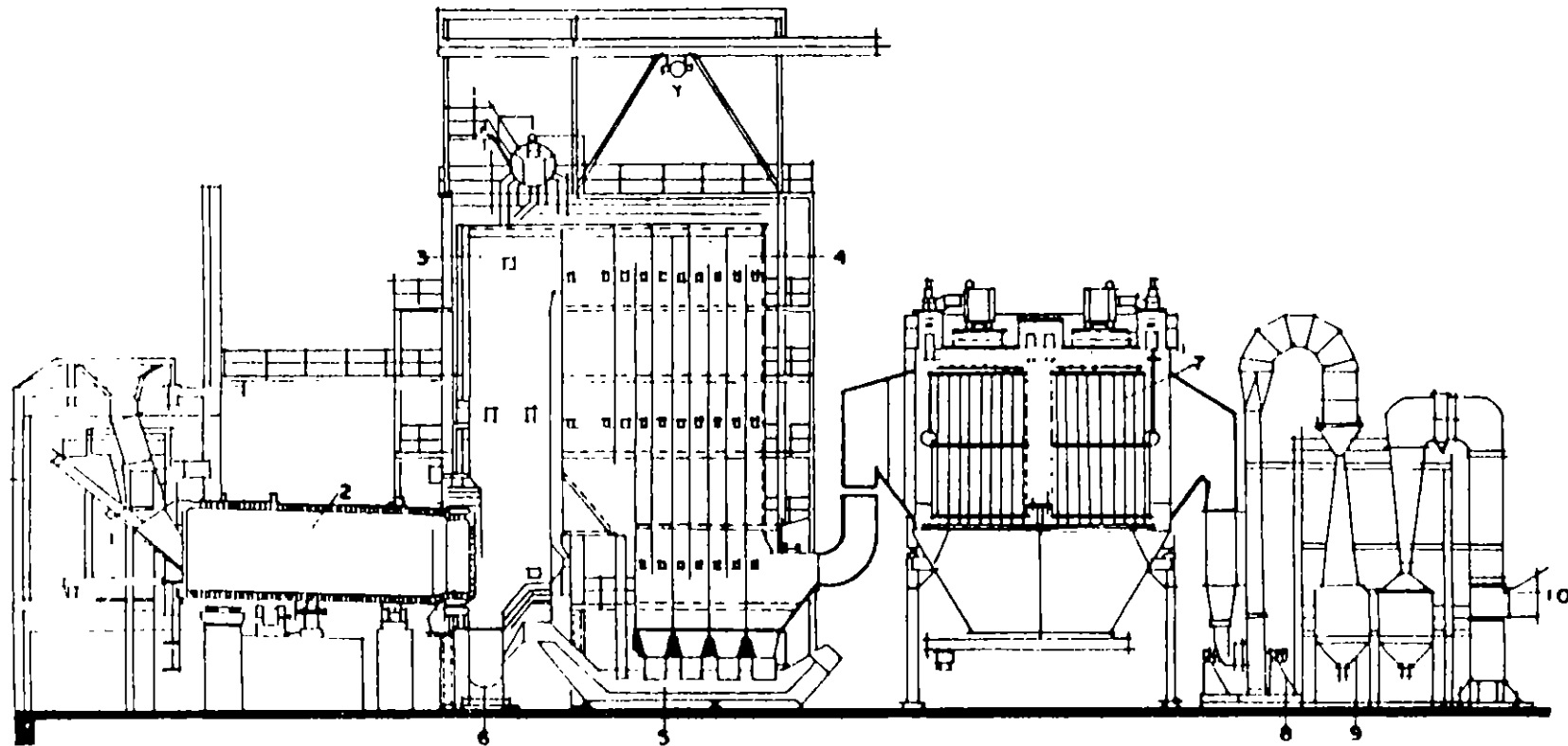


1. ZONA DE DESCARGA
2. LOSA DE ALMACENAMIENTO
3. GRUA VIAJERA
4. DUCTO DE ALIMENTACION
5. PISTON DE ALIMENTACION
6. PARRILLAS ROTATORIAS
7. LOSA DE CENIZAS
8. GRUA PARA CENIZAS

9. CALDERA DE TUBOS
10. CENTRIFUGACION DE LODOS
11. CAPTACION DE LODOS
12. SECADO DE LODOS
13. RECIRCULACION DE GASES
14. INYECCION DE LODOS
15. CUARTO DE CONTROL
16. GENERADOR DE TURBINA

17. GRUA PARA LA TURBINA
18. TANQUE DE AGUA
19. FILTRO DE POLVOS
20. DUCTO DE SUCCION
21. LAVADOR DE GASES
22. CHIMENEA

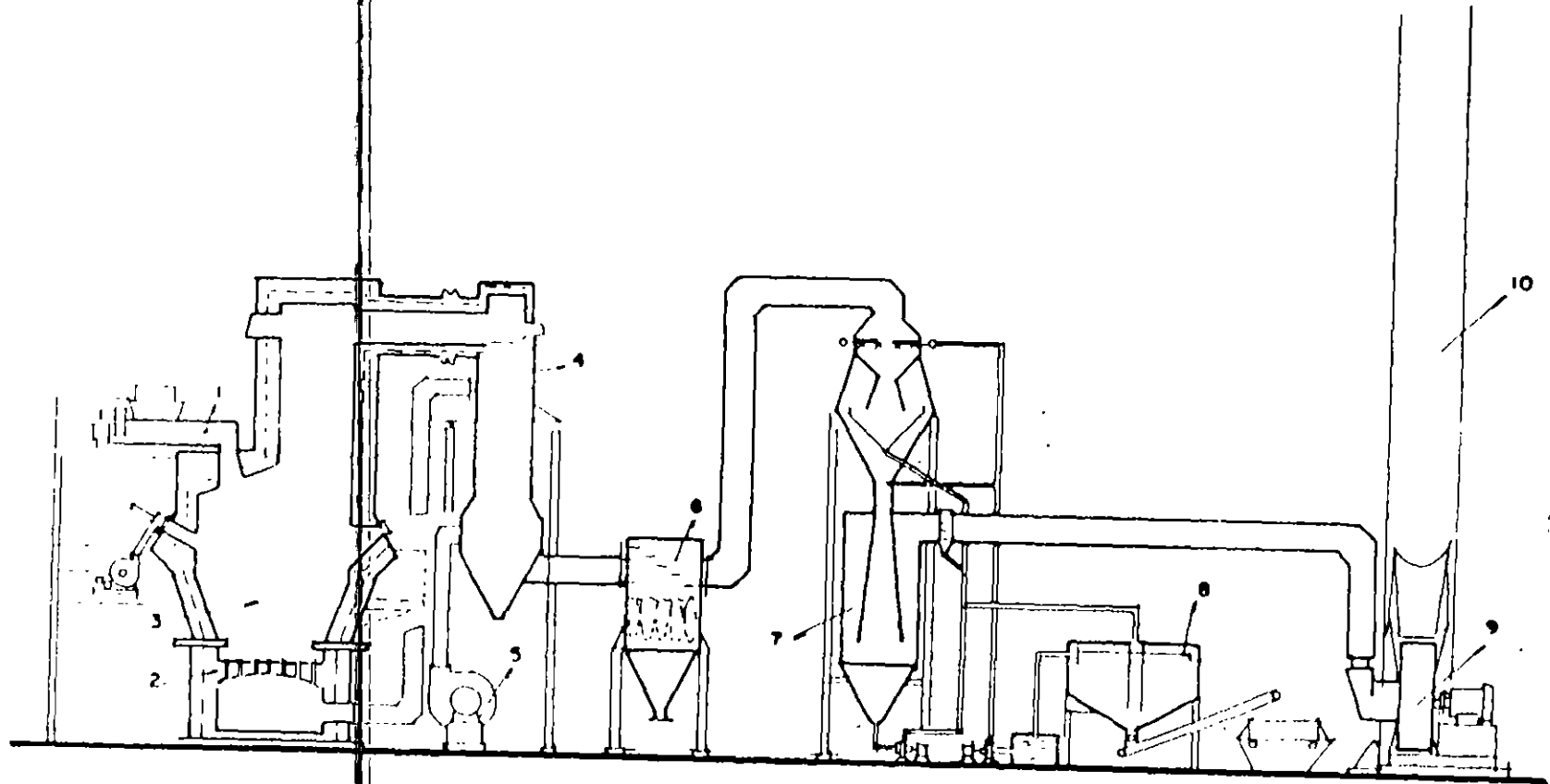
PLANTA INCINERADORA DE HORNO ROTATORIO



1. SISTEMA DE ALIMENTACION
2. HORNO ROTATORIO
3. CAMARA DE COMBUSTION
4. CALDERA
5. CAPTACION DE CENIZAS

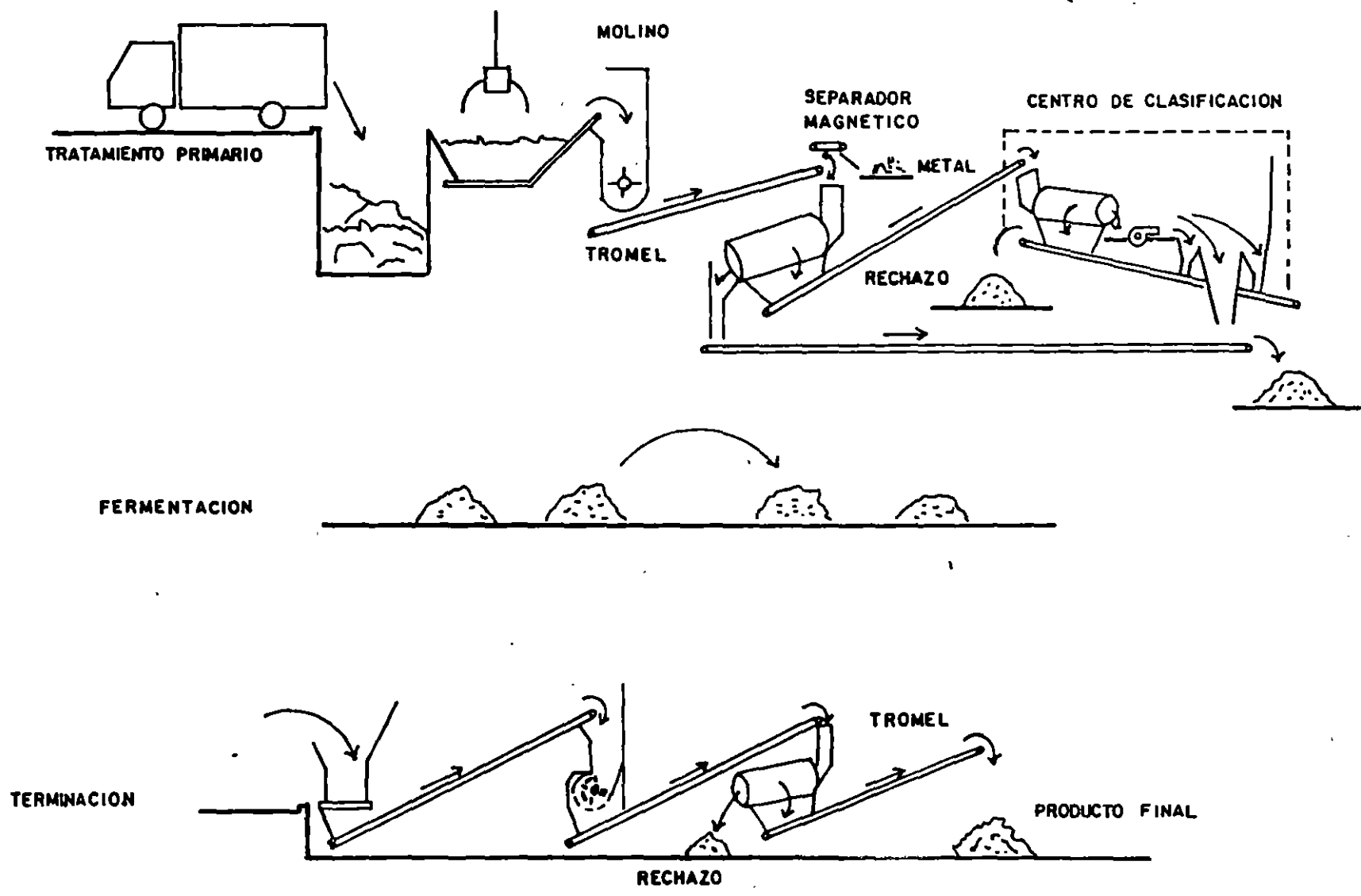
6. BANDA TRANSPORTADORA DE CENIZAS
7. PRECIPITADOR ELECTROSTATICO
8. VENTILADOR DE TIRO INDUCIDO
9. LAVADOR DE GASES
10. DUCTO DE CONEXION A CHIMENEA

PLANTA INCINERADORA DE HORNO DE LECHO FLUIDIZADO



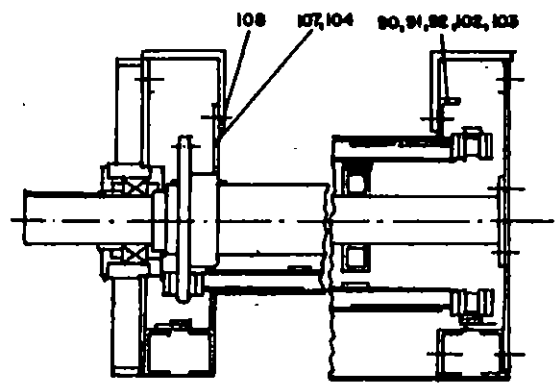
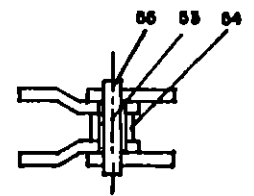
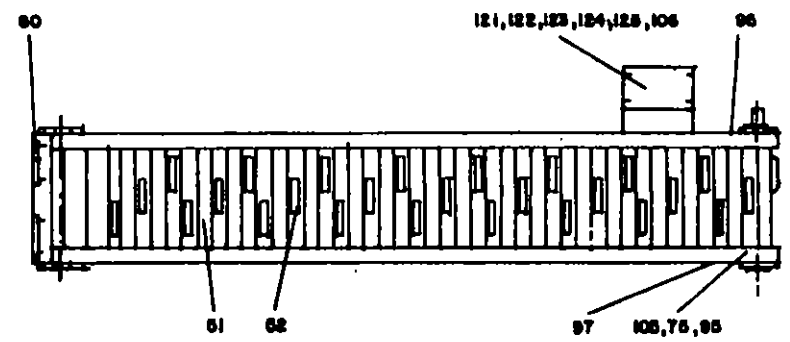
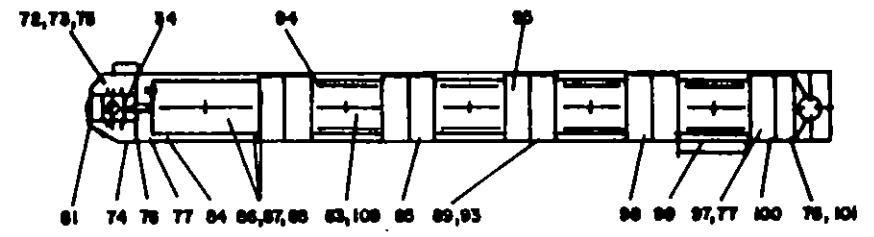
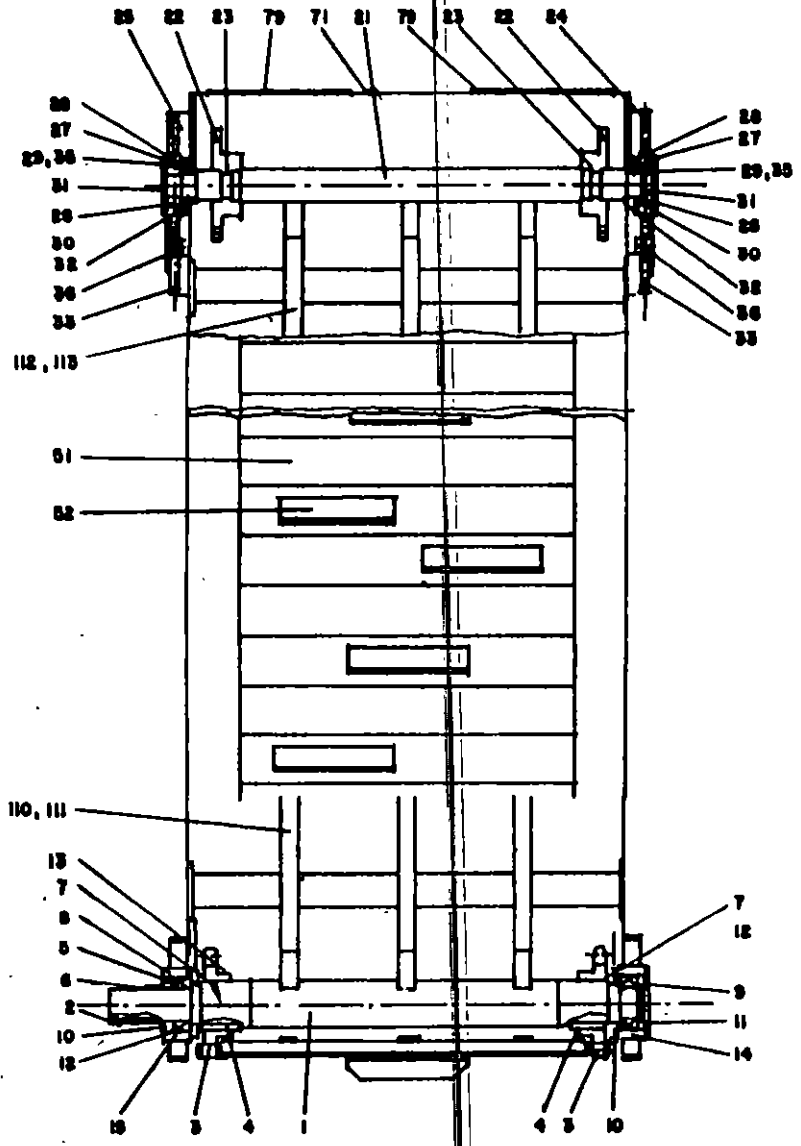
1. SISTEMA DE ALIMENTACION
2. CHAROLA DE DISTRIBUCION
3. COMBUSTOR DE LECHO FLUIDIZADO
4. CALDERA
5. VENTILADOR DE TIRO FORZADO

6. SEPARADOR CICLONICO
7. LAVADOR DE GASES
8. TANQUE DE SEDIMENTACION Y NEUTRALIZACION
9. VENTILADOR DE TIRO INDUCIDO
10. CHIMENEA



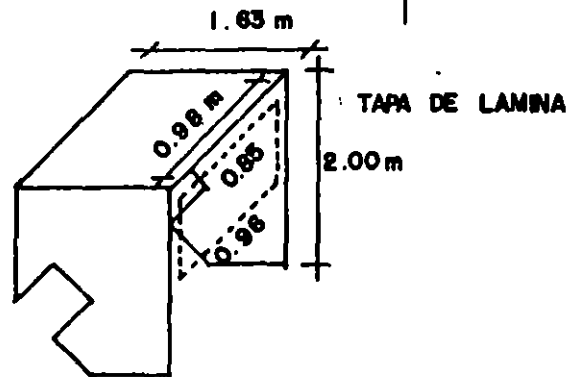
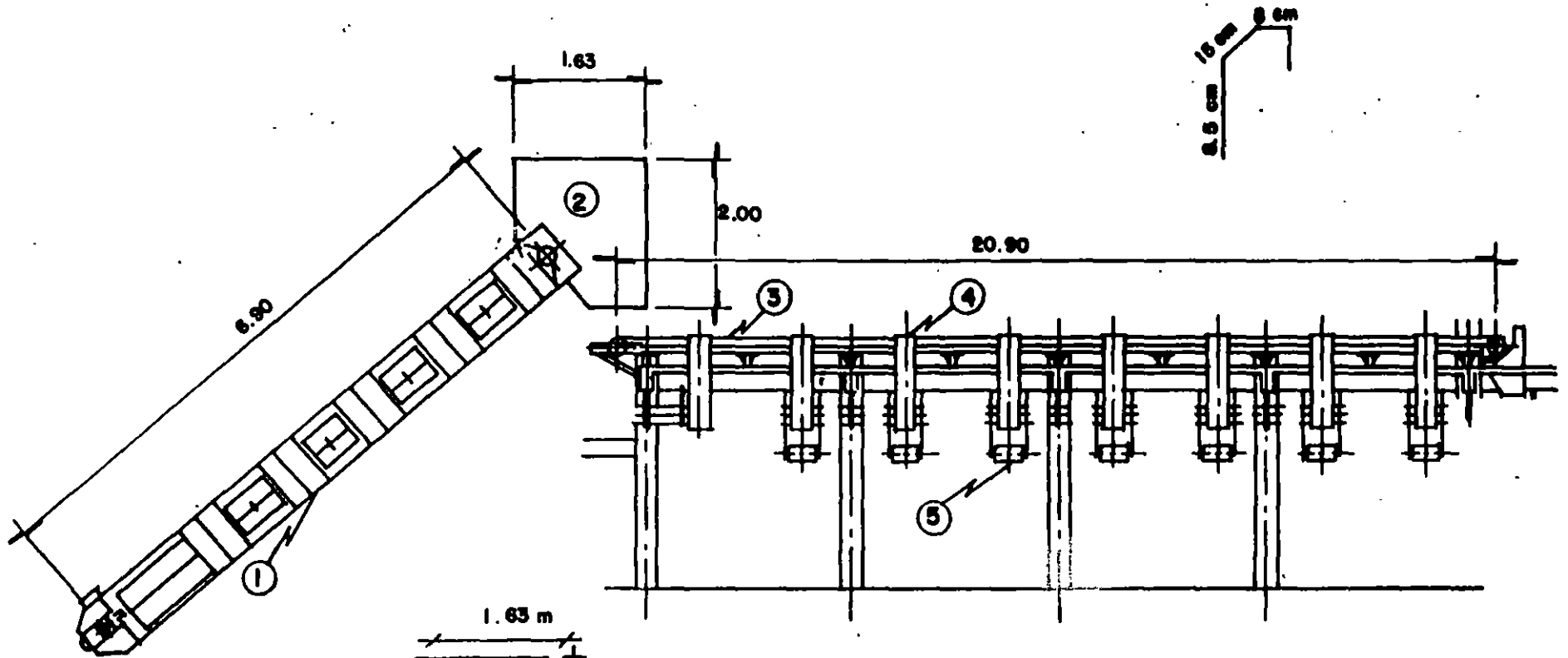
PROCESO DE COMPOSTAJE DE LA SOCIEDAD DE URBANISMO AQUITAINE-LANGUEDOC.(FRANCIA)

TRANSPORTADOR DE TABLILLAS



TRANSPORTADORES PLANTA INDUSTRIALIZADORA

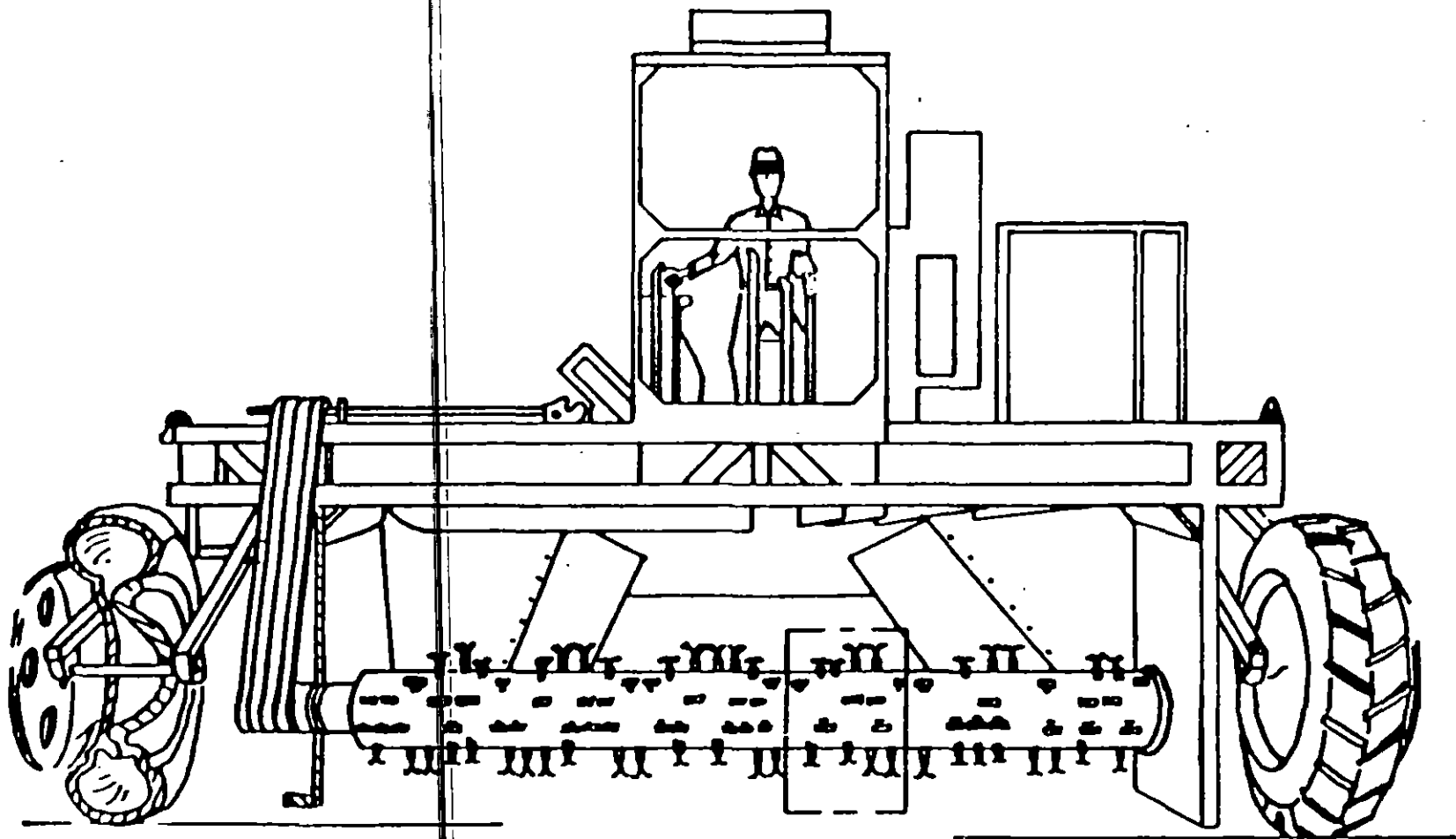
FALDON TRANSPORTADORES DE CLASIFICACION.



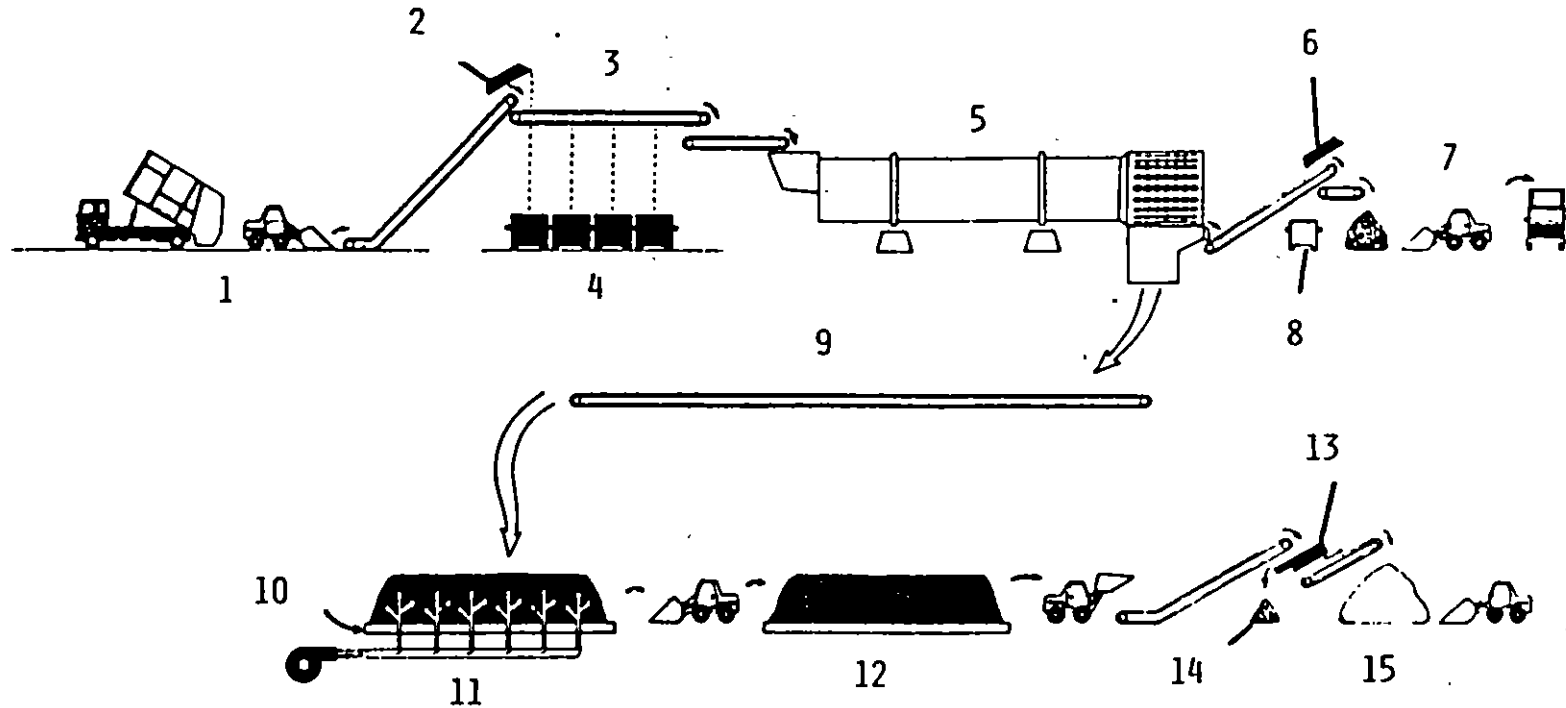
TOLVA DE SALIDA.

- ① TRANSPORTADORES DE TABLILLAS.
- ② TOLVAS DE SALIDA.
- ③ TRANSPORTADORES DE CLASIFICACION.
- ④ TOLVAS DE SUBPRODUCTOS.
- ⑤ TRANSPORTADORES DE SUBPRODUCTOS.

MAQUINA VOLTEADORA PARA COMPOSTA.



SEPARACION SEMI-MECANICA DE SUBPRODUCTOS CON PRODUCCION
COMPOSTA (PROCESO AEROBIO ACELERADO).



- 1.- AREA DE RECEPCION
- 2.- SEPARADOR MAGNETICO
- 3.- BANDA DE SELECCION
- 4.- SUBPRODUCTO PARA RECICLAJE
- 5.- DIGESTION

- 6.- SEPARADOR MAGNETICO
- 7.- MATERIAL DE RECHAZO
- 8.- METALES FERROSOS
- 9.- PULPA PARA COMPOSTEO
- 10.- CAMA DE AEREACION

- 11.- FERMENTACION ACELERADA
- 12.- PILA DE COMPOSTA
- 13.- TAMIZADO FINO
- 14.- RECHAZO
- 15.- COMPOSTA TERMINADA

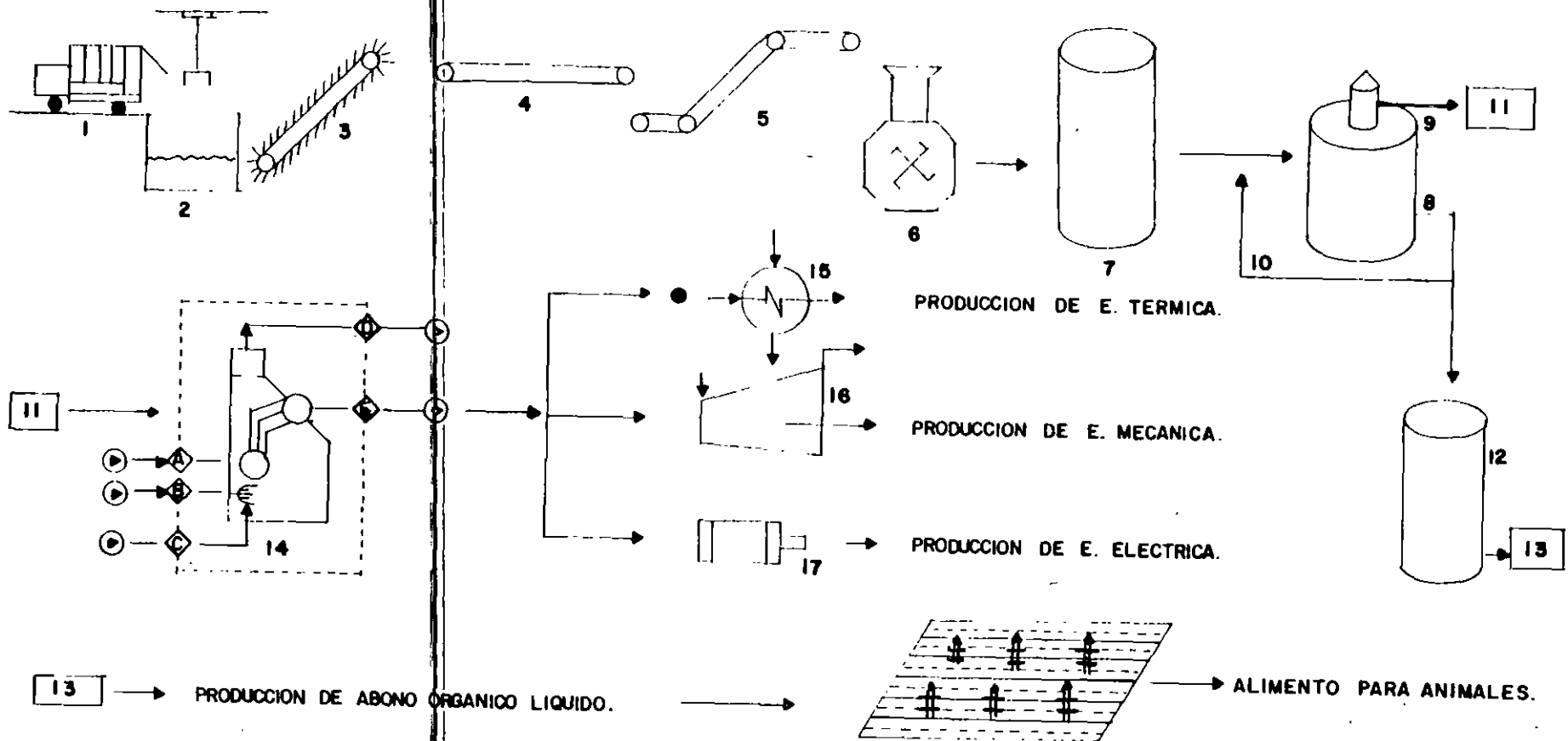
ERMENTACION

ANAEROBICA

DE RESIDUOS

SOLIDOS

MUNICIPALES.



- 1. DESCARGA DE RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES.
- 2. FOSA DE ALMACENAMIENTO.
- 3. TRANSPORTADOR DE TABLILLAS.
- 4. SELECCION DE SUBPRODUCTOS.
- 5. TRANSPORTADOR DE MATERIA ORGANICA.
- 6. MOLINO DE MARTILLOS.
- 7. TANQUE DE ALMACENAMIENTO.
- 8. BIODIGESTOR.
- 9. LINEA DE CAPTACION DE BIOGAS.

- 10. RECIRCULACION.
- 11. ALMACENAMIENTO DE BIOGAS.
- 12. TANQUE DE DESCARGA.
- 13. ABONO ORGANICO LIQUIDO.
- 14. GENERADOR DE VAPOR.
- 15. CAMBIADOR DE CALOR.
- 16. TURBINA.
- 17. GENERADOR ELECTRICO.

- NOTAS:**
- A - AGUA.
 - B - BIOGAS.
 - C - AIRE.
 - D - GASES COMBUSTION.
 - E - VAPOR ALTA PRESION.

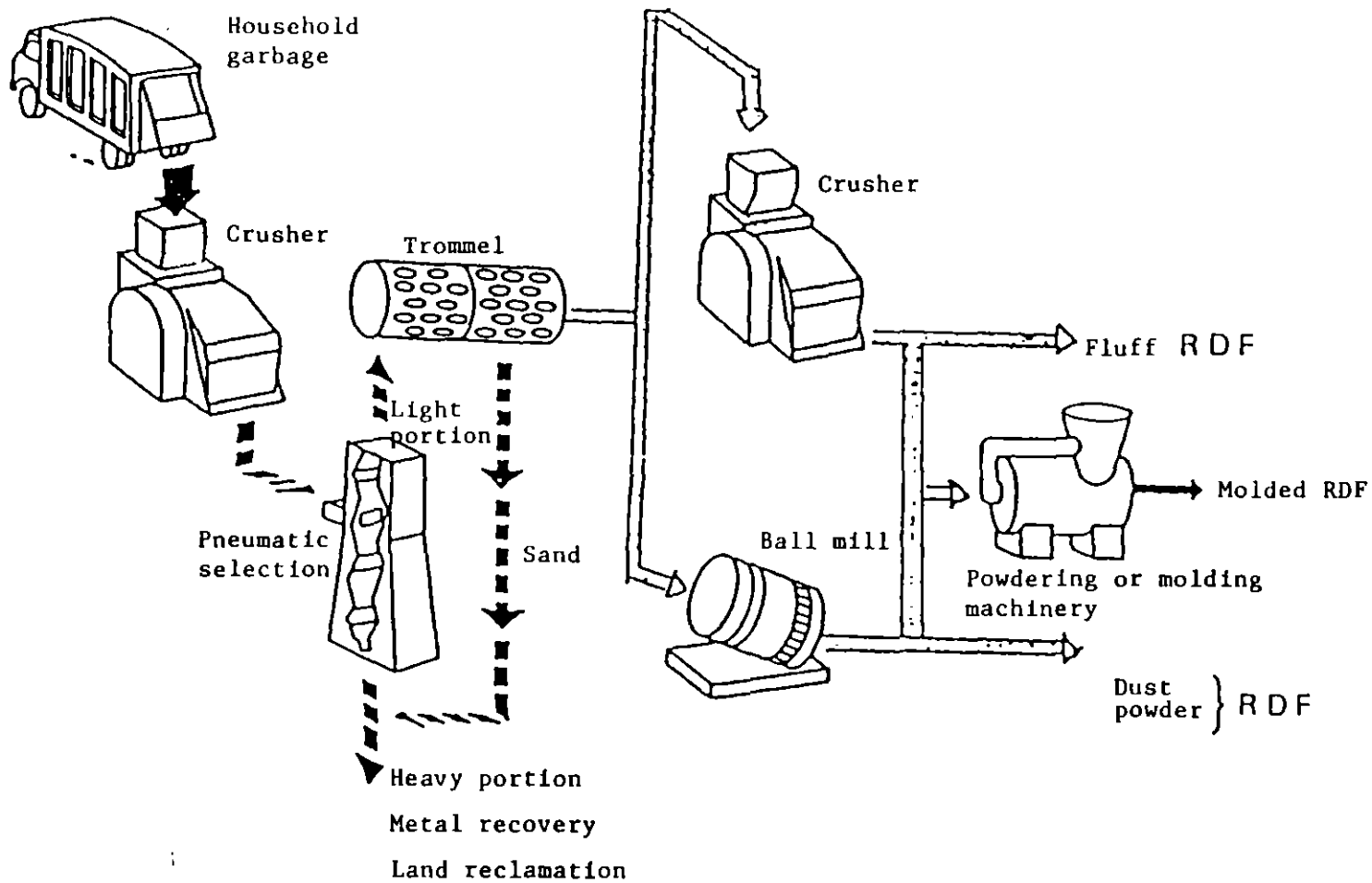


Fig. 3-44 RDF dry process

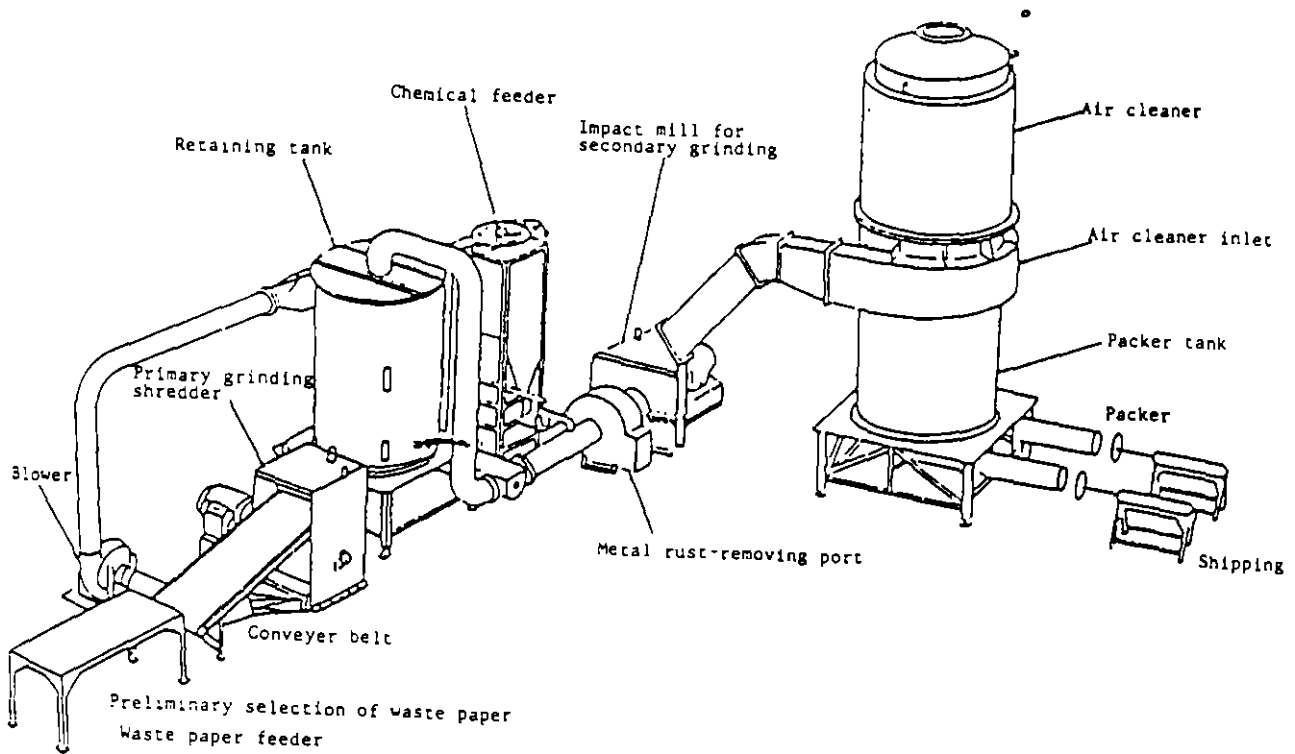


Fig. 3-66 Impact mill type CEL-COR 5000

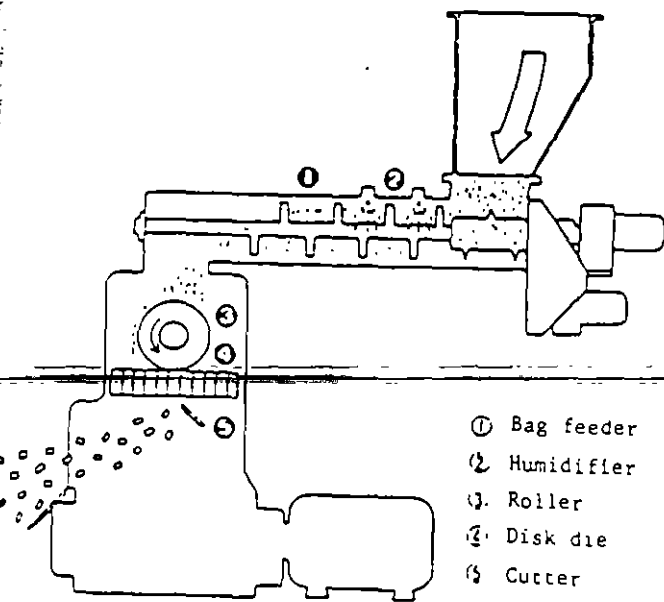


Fig. 3-66-1 Cylindrical pelletizer

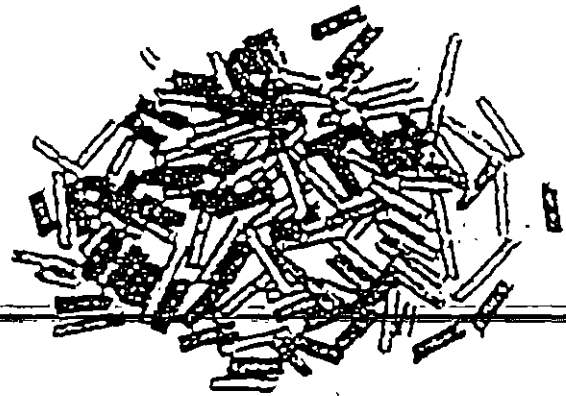


Photo 6-1 Pelletized fuel



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**DIPLOMADO EN SISTEMAS DE CONTROL DE
RESIDUOS SOLIDOS Y PELIGROSOS**

**MODULO III: PROCESOS DE TRATAMIENTO PARA EL
CONTROL DE RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES Y
PELIGROSOS**

PROCESOS DE BIOCONVERSION

Presentado por : **ING. MARGARITA GUTIERREZ ROJAS**

1996

PROCESOS DE BIOCONVERSION

Puede entenderse como bioconversión, todo aquel proceso en el cual se utilice materia prima de origen orgánico para ser transformada mediante microorganismos, en un ambiente controlado, para obtener algún producto que pueda reutilizarse. Ejemplos de este tipo de proceso son:

- 1.- Composteo de residuos orgánicos municipales.
- 2.- Fermentación anaerobia de residuo orgánicos municipales.
- 3.- Producción de harina vegetal para la elaboración de alimentos balanceados.
- 4.- Producción de abonos orgánicos mediante procesos para tratamiento de efluentes líquidos.
- 5.- Producción de abono orgánico mediante procesos de vermicompostaje.
- 6.- Producción de alimento proteico para actividades pecuarias.
- 7.- Cocompostaje.

- 8.- Obtención de concentrados proteicos a partir de residuos Frutícolas.

PRODUCCION DE ABONOS ORGANICOS

(Composteo / Digestión aerobia)

1.- Descripción del proceso.

Este proceso comunmente denominado "COMPOSTEO", consiste en la degradación aerobia y termófila de materiales putrescibles, por acción de microorganismos autóctonos de los residuos en proceso, obteniéndose como producto final un mejorador orgánico de suelos, cuyo valor energético y nutritivo es superior a cualquier estiércol animal.

Existen dos tipos de descomposición aerobia; la lenta o natural y la acelerada o inducida.

Según la experiencia en diversos países la degradación acelerada conlleva costos de operación más elevados que los correspondientes a la degradación natural.

1.1 Fases del proceso

Las fases que normalmente integran al proceso son:

- Recepción de residuos.
- Separación de subproductos reciclables del material orgánico.
- Reducción del tamaño por trituración o cribado (No en todos los casos).
- Fermentación aerobia lenta o acelerada, según el caso.
- Acondicionamiento para venta.

4.- Ventajas y Desventajas del proceso.

4.1 Ventajas

- Integración de la totalidad de la materia orgánica al ciclo natural.
- Se puede ocupar mano de obra extensiva.
- Recuperación de subproductos con valor comercial.
- La composta se puede usar como material de cubierta para relleno sanitario o regenerador de suelos de cultivo y parques públicos.

4.2 Desventajas

- Capacitación del personal.
 - Se requiere controlar las condiciones físicas, químicas y biológicas del proceso.
 - Existe un mercado reducido para la composta.
 - Elevados costos para el transporte de la composta.
 - Compite con fertilizantes inorgánicos (más baratos, por no tener una difusión adecuada para su uso).
-
- Costos elevados de mantenimiento, por el desgaste continuo del sistema de molienda.
 - Requiere de periodos prolongados para estabilizarse siendo estos mayores en el caso de digestión lenta.
 - Se requiere de extensiones grandes de terreno.

2.- Requerimientos para el proceso.

La descripción de las unidades que pueden ser consideradas dentro del proceso, para el tipo de residuos que se pretende -- aprovechar, se mencionan a continuación:

- Fosa y/o patio de recepción.
- Bandas de selección de subproductos.
- Molino.
- Criba rotatoria.
- Puente formador de pilas.
- Grandes extensiones de terreno.
- Mano de obra calificada.

3.- Tipos de residuos tratados.

Los residuos tratados con este proceso son los denominados - "Residuos Sólidos Municipales", que constan principalmente de residuos alimenticios, residuos de jardinería y residuos celulósicos domésticos y comerciales.

Actualmente, la cantidad de residuos potencialmente aprovechables es de 6,500 Toneladas diarias de materia orgánica, cuyas características químicas son:

H - 60 %
C - 38 %
N - 1.3 %
C/N - 30 %

FERMENTACION ANAEROBIA DE RESIDUOS DOMESTICOS

1.- Descripción del proceso

La digestión anaerobia es un proceso microbiológico mediante el cual la materia orgánica presente es desdoblada a compuestos más sencillos en ausencia de oxígeno, produciendo biogas y un lodo rico en nutrientes que puede ser utilizado como abono o mejorador de suelos.

1.1 Fases del proceso

- Recepción de materia prima.
- Separación de componentes inorgánicos de los orgánicos.
- Acondicionamiento del material a fermentar.
- Carga del material por fermentar al digestor.
- Digestión anaerobia.
- Captación de biogas.
- Descarga del efluente digerido.

2.- Requerimientos para el proceso.

-
- Tolvas de recepción.
 - Bandas de selección.
 - Tanque de carga.
 - Biodigestor.
 - Tanque de descarga.
 - Línea de conducción del biogas.
 - Equipo de secado.

- Equipo de molido

3.- Tipos de residuos tratados.

Los desechos que se tratan mediante este proceso son:

- Residuos orgánicos domiciliarios.
- Residuos de jardinería.

Los cuales tienen las características, siguientes:

H - 60 %
C - 38 %
N - 1.3 %
C/N - 30 %

4.- Ventajas y desventajas

4.1 Ventajas

- Reducción de la masa total.
- Obtención de metano (gas combustible).
- Obtención de lodo con propiedades fertilizantes y regenerativas de suelos.
- Control de la contaminación, derivada por la descomposición espontánea e incontrolada de la materia orgánica.
- Destrucción de patógenos .

4.2 Desventajas

- Puede tornar ácido el suelo donde son aplicados.
- Requiere personal capacitado.
- Requiere control del proceso.
- Competencia en el mercado de abonos naturales.
- Tiempos prolongados de proceso.
- Remoción constante de natas del digestor.
- Condiciones de operación muy controladas.
- Riesgos en el manejo de gas metano.

COCOMPOSTAJE

1.- Descripción del proceso.

Degradación aerobia de mezclas de lodos residuales y materia orgánica, ambos generados a nivel domiciliario, obteniéndose un producto final estable, parecido al humus.

1.1 Fases del proceso

~~Las etapas que constituyen este proceso son:~~

- Acondicionamiento del material.
- Formación de pilas.
- Fermentación con agitación.
- Maduración.
- Molido.

- Almacenaje.

- Venta.

2.- Requerimientos para el proceso.

El equipo requerido para llevar a cabo este proceso consiste en:

- Tolvas de recepción.

- Bandas de selección.

- Campo para composteo

- Trascavo.

- Molino.

3.- Tipos de residuos.

Por medio de este método pueden ser procesados los residuos - orgánicos domiciliarios, así como lodos residuales también - domiciliarios; sus características son las siguientes:

Características de residuos orgánicos domiciliarios.

H - 60 %

C - 38 %

N - 1.3 %

C/N - 30 %

Características de lodos biológicos residuales.

Peso volumétrico = 0.95 t/m^3

ST	= 29.00 %
SV	= 15.00 %
M. Orgánica	= 69.00 %
Humedad	= 70.00 %

4.- Ventajas y Desventajas.

4.1 Ventajas

- Reducción de la masa total.
- Obtención de un regenerador de suelos.
- Destrucción de microorganismos patógenos.

4.2 Desventajas

- Se requiere de personal capacitado.
- Mercado reducido para el abono.
- No es aconsejable el uso del producto resultante en ningún cultivo destinado a la alimentación humana.
- Se requiere de grandes áreas para llevar a efecto el proceso.
- ~~Aumento de costos por transportación del producto hacia las~~
áreas de comercialización.

**PRODUCCION DE ABONOS ORGANICOS MEDIANTE PROCESOS
PARA TRATAMIENTO DE ELFUENTES LIQUIDOS**

1.- Descripción del proceso.

La producción de abono orgánico se realiza a partir de la - fracción sólida orgánica obtenida mediante procesos de separación de los efluentes líquidos; dicha fracción, se somete a un proceso de tratamiento microbiológico ya sea aerobio o anaerobio, al finalizar este último, se obtiene un material amorfo que presenta características de abono orgánico.

1.1 Fases del proceso

Las fases que normalmente integran los procesos son:

- Concentración.
- Digestión.
- Deshidratación/secado.
- Fertilización y acondicionamiento.

2.- Requerimiento para el proceso.

Los equipos requeridos para la producción del abono orgánico están en función del tratamiento que se de a los lodos residuales.

a) En el caso de un tratamiento aeróbico se requiere:

- Filtro prensa.

- Zona de mezclado.
- Trascavo.
- Campos para composteo.
- Secador.
- Molino.

b) En el caso de un tratamiento anaerobio se requiere:

- Tanque de alimentación.
- Digestor.
- Tanque de descarga.
- Conductos para gases.
- Secador.
- Molino.

3.- Tipos de residuos tratados.

Mediante este proceso son tratadas las descargas domiciliarias de drenaje. (Lodos y suspensiones orgánicas).

~~4.- Ventajas y Desventajas~~

4.1 Ventajas

- Conservación y reutilización del agua.
- Obtención de un abono rico en materia orgánica, macro y micro nutrientes a partir de la fracción sólida orgánica.
- Disminución del volumen de lodos.

- El uso del abono orgánico puede ser útil en la recuperación de suelos erosionados de tipo forestal, áreas verdes públicas y jardinería.

4.2 Desventajas

- Se requiere de personal capacitado.
- Dentro del perímetro del D.F., existe un mercado reducido para el abono.
- Se requieren grandes áreas para efectuar el proceso.
- condiciones de operación muy controlada.
- En la digestión anaerobia existe el peligro de explosiones por mal manejo del gas.
- El abono puede tornar ácido el suelo donde es aplicado.
- Se corre el riesgo de transmisión de enfermedades, si los lodos no son correctamente digeridos.
- No hay mercados para la comercialización del abono.
- Elevados costos de instalación y mantenimiento.
- El proceso aerobio es un proceso muy sensible a variaciones ambientales.
- No es aconsejable el uso del producto resultante en ningún cultivo destinado a la alimentación humana.

PRODUCCION DE ABONOS ORGANICOS MEDIANTE PROCESOS DE VERMICOMPOSTAJE

1.- Descripción del proceso.

Esta técnica se basa en la crianza de lombrices de la especie Eisenia fétida, aunque no está restringida a esta especie.

El proceso de transformación de materia orgánica a compuestos húmicos, es mediante el proceso digestivo del anélido Eisenia fétida, cuyo desecho metabólico es un producto similar al humus que puede emplearse como abono orgánico y cuyas características físicas, químicas, lo convierten en un magnífico regenerador de suelos.

Adicionalmente, existe la posibilidad de obtener harina de lombriz como subproducto de alto valor protéico, que puede ser utilizado en la elaboración de alimentos balanceados para consumo animal.

1.1 Fases del proceso

Las características de operación para este tipo de proceso son:

- Camas de 1 m de ancho y de 10 m a 20 m de largo de una mezcla de residuos urbanos y/o lodos de tratamiento de aguas residuales.
- Control de humedad y temperatura.
- Población de lombrices recomendada de 40,000 a 50,000 org/m².

- Especies de lombrices recomendadas: Eisenia fétida, Lombricus robellus y Metaphire californica.
- Cosecha, secado y empaclado del humus y lombrices.

2.- Requerimientos del proceso.

Las unidades que pueden considerarse dentro del proceso para el tipo de residuos que se pretende aprovechar, se citan a -- continuación:

- Fosa de recepción de residuos.
- Maquinaria para la molienda de residuos.
- Camas de producción.
- Camas de conservación.
- Camas de comercialización.
- Tolva de cosecha (con criba vibratoria).
- Unidad de secado.
- Unidad de molienda fina (para la lombriz)
- Unidad de envasado.

3.- Tipos de residuos tratados.

Con este proceso se trata básicamente la mezcla de residuos orgánicos urbanos y/o lodos de tratamiento de aguas residuales.

La cantidad de residuos disponibles para este proceso, está dada por la fracción que no es llevada a una planta procesadora (4154 ton/día), así como de la fracción de rechazo de esta planta (3960 ton/día), lo que da un total de 8,114 Toneladas

diarias para la producción de abonos orgánicos mediante el -
proceso de vermicompostaje.

4.- Ventajas y Desventajas.

4.1 Ventajas

- Como producto final, se obtiene un material amorfo parecido al humus, cuyo elevado valor biológico le permite competir con los fertilizantes químicos en cuanto a su calidad, superando a éstos en algunas de sus cualidades físicas y biológicas.
- Posibilidad de producir harina de lombriz, producto con alto valor protéico, utilizado como complemento alimenticio para animales de corral.
- Bajos costos de operación.

4.2 Desventajas

- Requiere monitoreo y control permanente de los residuos por procesar, así como de las condiciones de humedad y temperatura de las camas de producción.
- ~~La producción de humus a a partir de lombrices es muy lenta,~~
por lo que se requiere trabajar a gran escala para compensar los tiempos de producción.
- Se requiere capacitar al personal para la crianza de lombrices.

PRODUCCION DE HARINA VEGETAL PARA LA ELABORACION DE ALIMENTOS BALANCEADOS

1.- Descripción del proceso.

Este proceso consiste en la deshidratación de los residuos orgánicos de origen vegetal, por medio de las operaciones unitarias de secado, molienda y tamizado, con el objeto de obtener un polvo seco que reúna las características de calidad, así como el tamaño de partícula de una harina de origen vegetal.

1.1 Fases del proceso

Las diferentes etapas que constituyen este proceso son las siguientes:

- Recepción.
- Picado.
- Deshidratación.
- Molienda y tamizado.
- Envasado.

2.- Requerimientos para el proceso

- El sistema debe utilizar una picadora de cuchillas y molino de martillos.
- Debe incluir sistemas de Control de Calidad del proceso y del producto terminado.

3.- Tipos de residuos tratados.

Todos los que se consideran residuos orgánicos de origen vegetal, generados principalmente en centros de abasto; su cantidad aproximada es de 500 Ton/día.

4.- Ventajas y desventajas.

4.1 Ventajas

- Obtención de un producto que sirve como complemento balanceado de animales.
- No requiere de grandes áreas.
- Fácil operación.

4.2 Desventajas

- Elevado consumo de energía.
 - Altos costos de Mantenimiento.
 - Análisis continuos del producto.
 - Altos costos de transporte del producto.
-

**PRODUCCION DE ALIMENTO PROTEICO PARA ACTIVIDADES PECUARIAS
(PIENSO LIQUIDO)**

1.- Descripción de proceso.

Este método de aprovechamiento procesa residuos orgánicos provenientes de restaurantes, mercados (frutas, legumbres y otros vegetales), residuos de cocina de escuelas, hospitales, hoteles y rastros. Los residuos son triturados y esterilizados - para destruir cualquier tipo de microorganismo, obteniéndose un producto inocuo apto para la alimentación de ganado porcino.

1.1 Fases del proceso

Las etapas que deben constituir un proceso de producción de pienso líquido son las siguientes:

- Recolección.
- Selección de Subproductos contaminantes.
- Molienda.
- Homogenización.
- Balance nutricional.
- Mezclado.
- Distribución del producto.

2.- Requerimientos para el proceso.

Las tecnologías factibles de ser implementadas deberán incluir:

- Sistemas de martillos para moliendas.
- Sistemas de esterilización de vapor a presión.

3.- Tipo de residuos tratados.

Los residuos que pueden ser aceptados son los residuos alimenticios de hoteles, restaurantes, centros educativos, centros de abasto y rastros.

4.- Ventajas y desventajas.

4.1 Ventajas

- Obtención de un producto para alimentación de ganado.
- Fácil operación.
- No requiere grandes áreas para su instalación.

4.2 Desventajas

- Requiere equipo adicional para suministro de vapores.
- Elevado consumo de combustible.
- Localización cerca de áreas agropecuarias.
- Análisis continuo del producto.
- Producto estable durante periodos cortos de tiempo.
- La materia prima comienza a degradarse rápidamente después de su generación.

SISTEMAS DE TRATAMIENTO	TIPO DE RESIDUO	DESCRIPCION DEL PROCESO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
1. PRODUCCION DE ABONOS ORGANICOS POR DIGESTION AEROBIA (COMPOSTEO).	TODOS LOS RESIDUOS BIODEGRADABLES QUE INTEGRAN LA CORRIENTE DE RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES COMO: - RESIDUOS ALIMENTICIOS - RESIDUOS CELULOSICOS - RESIDUOS DE JARDINERIA.	ESTE PROCESO CONSISTE EN LA DEGRADACION AEROBIA Y TERMOFILIA DE MATERIALES PUTRESCIBLES (ORGANICOS BIODEGRADABLES), POR ACCION DE LOS MICROORGANISMOS, DANDO COMO RESULTADO UN MEJORADOR DE SUELOS, CUYO VALOR ENERGETICO Y NUTRITIVO ES SUPERIOR A CUALQUIER ESTIERCOL.	- INTEGRACION DE LA TOTALIDAD DE LA MATERIA ORGANICA AL CICLO NATURAL. - OCUPA MANO DE OBRA EXTENSIVA. - RECUPERACION DE SUBPRODUCTOS CON VALOR COMERCIAL. - EL PRODUCTO PUEDE SER USADO COMO CUBIERTA PARA RELLENO SANITARIO O REGENERADOR DE SUELOS DE CULTIVO.	- REQUIERE PERSONAL CAPACITADO - REQUIERE CONTROL DE LAS CONDICIONES FISICAS, QUIMICAS Y BIOLÓGICAS. - MERCADO REDUCIDO PARA LA COMPOSTA. - ELEVADO COSTO DE TRANSPORTE DE LA COMPOSTA. - COSTOS ELEVADOS DE MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE MOLIENTA. - REQUIERE DE AREAS GRANDES PARA EFECTUAR EL PROCESO.
2. FERMENTACION ANAEROBIA DE RESIDUOS DOMESTICOS.	TODOS AQUELLOS DESECHOS BIODEGRADABLES TALES COMO: - RESIDUOS ALIMENTICIOS - RESIDUOS CELULOSICOS - RESIDUOS DE JARDINERIA.	ES UN PROCESO MICROBIOLÓGICO MEDIANTE EL CUAL LA MATERIA ORGANICA PRESENTE ES DESDOBLADA A COMPUESTOS MAS SENCILLOS EN AUSENCIA DE OXIGENO, OBTENIENDO AL FINAL METANO Y UN LODO RICO EN NUTRIENTES QUE PUEDE SER UTILIZADO COMO ABONO O MEJORADOR DE SUELOS.	- OBTENCION DE METANO (GAS COMBUSTIBLE). - OBTENCION DE LODO CON PROPIEDADES FERTILIZANTES. - CONTROL DE LA CONTAMINACION DERIVADA DE LA DESCOMPOSICION ESPONTANEA E INCONTROLADA DE LA MATERIA ORGANICA. - DESTRUCCION DE PATOGENOS.	- PUEDE TORNAR ACIDO EL SUELO DONDE ES APLICADO. - REQUIERE PERSONAL CAPACITADO. - REQUIERE CONTROL DEL PROCESO. - TIEMPOS PROLONGADOS DE PROCESO. - RIESGOS EN EL MANEJO DE GAS METANO. - PARA SU COMERCIALIZACION, ENFRENTA GRAN COMPETENCIA EN EL MERCADO DE ABONOS NATURALES.
3. PRODUCCION DE ABONOS ORGANICOS MEDIANTE PROCESOS PARA TRATAMIENTO DE RESIDUOS LIQUIDOS.	TODOS AQUELLOS RESIDUOS OBTENIDOS DE LAS DESCARGAS RESIDUALES URBANAS. - LODOS RESIDUALES.	PROCESO QUE SE REALIZA A PARTIR DE LA FRACCION SOLIDA ORGANICA OBTENIDA MEDIANTE PROCESOS DE SEPARACION DE LOS RESIDUOS LIQUIDOS; DICHA FRACCION SE SOMETE A UN PROCESO MICROBIOLÓGICO, Y AL FINALIZAR ESTE ULTIMO SE OBTIENE UN MATERIAL AMORFO QUE PRESENTA CARACTERISTICAS DE ABONO ORGANICO. SE PUEDE OPTAR POR UN TRATAMIENTO AEROBICO O POR UN ANAEROBICO.	- CONSERVACION Y REUTILIZACION DEL AGUA. - OBTENCION DE UN ABONO RICO EN MATERIA ORGANICA, MACRO Y MICRONUTRIENTES. - EL USO DEL ABONO ORGANICO PUEDE SER UTIL EN LA RECUPERACION DE SUELOS EROSIONADOS DE TIPO FORESTAL, AREAS VERDES Y JARDINES.	- REQUIERE PERSONAL CAPACITADO. - REQUIERE DE GRANDES AREAS PARA EL PROCESO. - CONDICIONES DE OPERACION MUY CONTROLADAS. - EN EL CASO DE DIGESTION ANAEROBIA, EXISTE PELIGRO DE EXPLOSIONES POR MAL MANEJO DEL GAS. - EL PROCESO AEROBICO ES MUY SENSIBLE A CAMBIOS AMBIENTALES. - ELEVADOS COSTOS DE INSTALACION Y MANTENIMIENTO.

SISTEMAS DE TRATAMIENTO	TIPO DE RESIDUO	DESCRIPCION DEL PROCESO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
4. PRODUCCION DE ABONOS ORGANICOS MEDIANTE PROCESOS DE VERMICOMPOSTAJE.	LOS RESIDUOS TRATADOS POR ESTE SISTEMA SON: - RESIDUOS ORGANICOS URBANOS. - Lodos DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.	ESTA TECNICA SE BASA EN LA CRIANZA DE LOMBRICES, PRINCIPALMENTE DE LA ESPECIE <u>EISENA FETIDA</u> ; Y CONSISTE EN LA TRANSFORMACION DE MATERIA ORGANICA A COMPUESTOS HUMICOS, MEDIANTE EL PROCESO DIGESTIVO DEL ANELIDO, CUYO DESECHO METABOLICO ES UN PRODUCTO SIMILAR AL HUMUS, QUE PUEDE EMPLEARSE COMO ABONO ORGANICO.	- SE OBTIENE UN PRODUCTO AMORFO PARECIDO AL HUMUS QUE SUPERA EN CUALIDADES FISICAS Y BIOLÓGICAS A ALGUNOS FERTILIZANTES QUÍMICOS. - POSIBILIDAD DE PRODUCIR HARINA DE LOMBRIZ, QUE SE UTILIZA COMO COMPLEMENTO DE ALIMENTO ANIMAL. - BAJOS COSTOS DE OPERACION.	- REQUIERE MONITOREO Y CONTROL PERMANENTE TANTO DE LOS RESIDUOS COMO DE LAS CAMAS DE PRODUCCION. - EL PROCESO ES LENTO, POR LO TANTO SE REQUIERE TRABAJAR A GRAN ESCALA PARA COMPENSAR LOS TIEMPOS DE PRODUCCION. - SE REQUIERE PERSONAL CAPACITADO PARA LA CRIANZA DE LOMBRICES.
5. PRODUCCION DE HARINAS VEGETALES PARA LA ELABORACION DE ALIMENTO BALANCEADO PARA ANIMALES DOMESTICOS.	LOS RESIDUOS IDONEOS PARA ESTE TIPO DE TRATAMIENTO ESTAN CONSTITUIDOS POR LOS RESIDUOS VEGETALES COMESTIBLES QUE SE GENERAN EN LOS CENTROS DE ABASTO.	ESTE PROCESO CONSISTE EN LA DESHIDRATACION DE LOS RESIDUOS ORGANICOS DE ORIGEN VEGETAL, PARA UNA POSTERIOR MOLIENDA Y TAMIZADO PARA OBTENER UN POLVO SECO QUE REUNE LAS CARACTERISTICAS DE UNA HARINA DE ORIGEN VEGETAL.	- OBTENCION DE UN PRODUCTO UTILIZADO COMO COMPLEMENTO PARA ALIMENTO BALANCEADO PARA ANIMALES. - FACIL OPERACION. - NO REQUIERE GRANDES AREAS PARA EL PROCESO.	- ELEVADO CONSUMO DE ENERGIA. - ALTOS COSTOS DE MANTENIMIENTO. - REQUIERE EFECTUAR ANALISIS CONTINUO DEL PRODUCTO. - ALTOS COSTOS DE TRANSPORTE DEL PRODUCTO.
6. PRODUCCION DE ALIMENTOS PROTEICOS PARA ACTIVIDADES PECUARIAS (PIENSO LIQUIDO).	RESIDUOS ALIMENTICIOS PROVENIENTES DE HOTELES, RESTAURANTES, CENTROS EDUCATIVOS, RASTROS, CENTROS DE ABASTO, ETC.	CON ESTE METODO, LOS RESIDUOS SON PROCESADOS POR OPERACIONES DE TRITURACION, HOMOGENEIZACION Y ESTERILIZACION. PARA ASI OBTENER UN PRODUCTO APTO PARA CONSUMO DEL GANADO PORCINO.	- OBTENCION DE UN PRODUCTO PARA ALIMENTAR GANADO PORCINO. - FACIL OPERACION. - NO REQUIERE GRANDES SUPERFICIES PARA EL PROCESO.	- REQUIERE EQUIPO ADICIONAL PARA SUMINISTRO DE VAPOR. - ELEVADO CONSUMO DE COMBUSTIBLE. - LA MATERIA PRIMA COMIENZA A DEGRADARSE RAPIDAMENTE DESPUES DE SU GENERACION.
7. COCOMPOSTEO.	LOS RESIDUOS TRATADOS POR MEDIO DE ESTE SISTEMA SON: - RESIDUOS ORGANICOS DOMICILIARIOS. - Lodos RESIDUALES DOMICILIARIOS.	DEGRADACION AEROBIA DE MEZCLAS DE Lodos Y MATERIA ORGANICA PROVENIENTES DE RESIDUOS DOMICILIARIOS. CON OBJETO DE FORMAR UN PRODUCTO ESTABLE CON PROPIEDADES AGROLOGICAS. AQUI, LAS PILAS DE LA MEZCLA TIENEN UN ALTO CONTENIDO DE HUMEDAD.	- OBTENCION DE UN REGENERADOR DE SUELOS. - DESTRUCCION DE MICROORGANISMOS. - REDUCCION DE LA MASA TOTAL.	- NO SE ACONSEJA USAR EL PRODUCTO A NINGUN CULTIVO DESTINADO A LA ALIMENTACION HUMANA. - REQUIERE GRANDES AREAS PARA EL PROCESO. - ALTOS COSTOS PARA EL TRANSPORTE DEL PRODUCTO AL AREA DE COMERCIALIZACION.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**DIPLOMADO EN SISTEMAS DE CONTROL DE
RESIDUOS SOLIDOS Y PELIGROSOS**

**MODULO III: PROCESOS DE TRATAMIENTO PARA EL
CONTROL DE RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES Y
PELIGROSOS**

**GESTION DE LAS EMPRESAS DEDICADAS AL TRATAMIENTO DE RBI EN
MEXICO**

Presentado por : **DRA. CLAIRE VAN RUYMBEKE D.**

1996

**GESTIÓN DE LAS EMPRESAS DEDICADAS AL
TRATAMIENTO DE RBI
EN MÉXICO**

Dra. Claire van Ruymbeke D.

Residuo infeccioso

Según EPA. Residuo sólido o una combinación de residuos sólidos los cuales por su calidad, concentración o características físicas, químicas o infecciosas pueden:

- a) Causar o contribuir significativamente a causar un aumento en la mortalidad o una lesión seria irreversible o una enfermedad incapacitante reversible.
- b) Ser un peligro presente o potencial para la salud humana o para el ambiente cuando es impropriadamente tratado , almacenado, transportado, dispuesto o manejado.

DEFINICIÓN DE LOS RESIDUOS BIOLÓGICO INFECCIOSOS

La Norma Oficial mexicana NOM-052-ECOL-1993 define que un residuo con características biológico infecciosas se considera “peligroso” cuando presenta cualquiera de las siguientes propiedades:

- ***cuando el residuo contiene bacterias, virus u otro organismos con capacidad de infección***
- ***cuando contiene toxinas producidas por microorganismos que causen efectos nocivos a seres vivos***

CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS BIOLÓGICO INFECCIOSOS

- **Desechos anatómicos humanos**
- **Desechos de animales y materiales con los que hayan tenido contacto el animal en el hospital veterinario**
- **Cultivos y cepas de agentes infecciosos provenientes de laboratorios industriales y de investigación**
- **Desechos de sangre, productos sanguíneos y líquidos orgánicos humanos**
- **Instrumentos punzocortantes**
- **Desechos biológicos y materiales producto de aislamiento**

Situación actual

- ⇒ Se disponen como residuos municipales
- ⇒ Los hospitales no están acostumbrados a pagar por la disposición de sus residuos.
- ⇒ No se tiene presupuesto para las bolsas y recipientes necesarios para el manejo de los residuos en los hospitales
- ⇒ En los hospitales, que es el lugar de origen no hacen la separación de acuerdo al área de procedencia, lo que facilitaría la disposición de estos.
- ⇒ El personal de los hospitales no esta capacitado para el manejo de los residuos dentro y fuera del hospital
- ⇒ Algunos hospitales incineran *in situ* los residuos dentro de sus áreas.

Problemas que son generados

La incineración *in situ* origina graves perjuicio, por diferentes razones:

a) Concepción del horno

- ◆ Capacidad inferior a 1 ton/día. Tienen un funcionamiento cíclico que provoca choques térmicos y contaminación en cada encendido.
- ◆ El tratamiento de humos es un proceso poco eficaz (ausencia de post combustión). La temperatura de 750°C, es insuficiente.

b) Existen emanaciones de humos negros mal olientes y emiten contaminantes gaseosos de SO₂, HCl, NO_x, metales pesados como el Hg, entre otros.

c) El mantenimiento e frecuentemente mal efectuado por un personal no competente, ej. el cambio de refractarios no se hace a tiempo.

ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO

Esterilización en autoclave

- **Calor húmedo o seco**

Desinfección química

- **Dióxido de cloro**
- **Hipoclorito de sodio**
- **Oxido de etileno**
- **Gas formaldehído**
- **Bromuro de metileno**
- **Cloro picrin, etc**

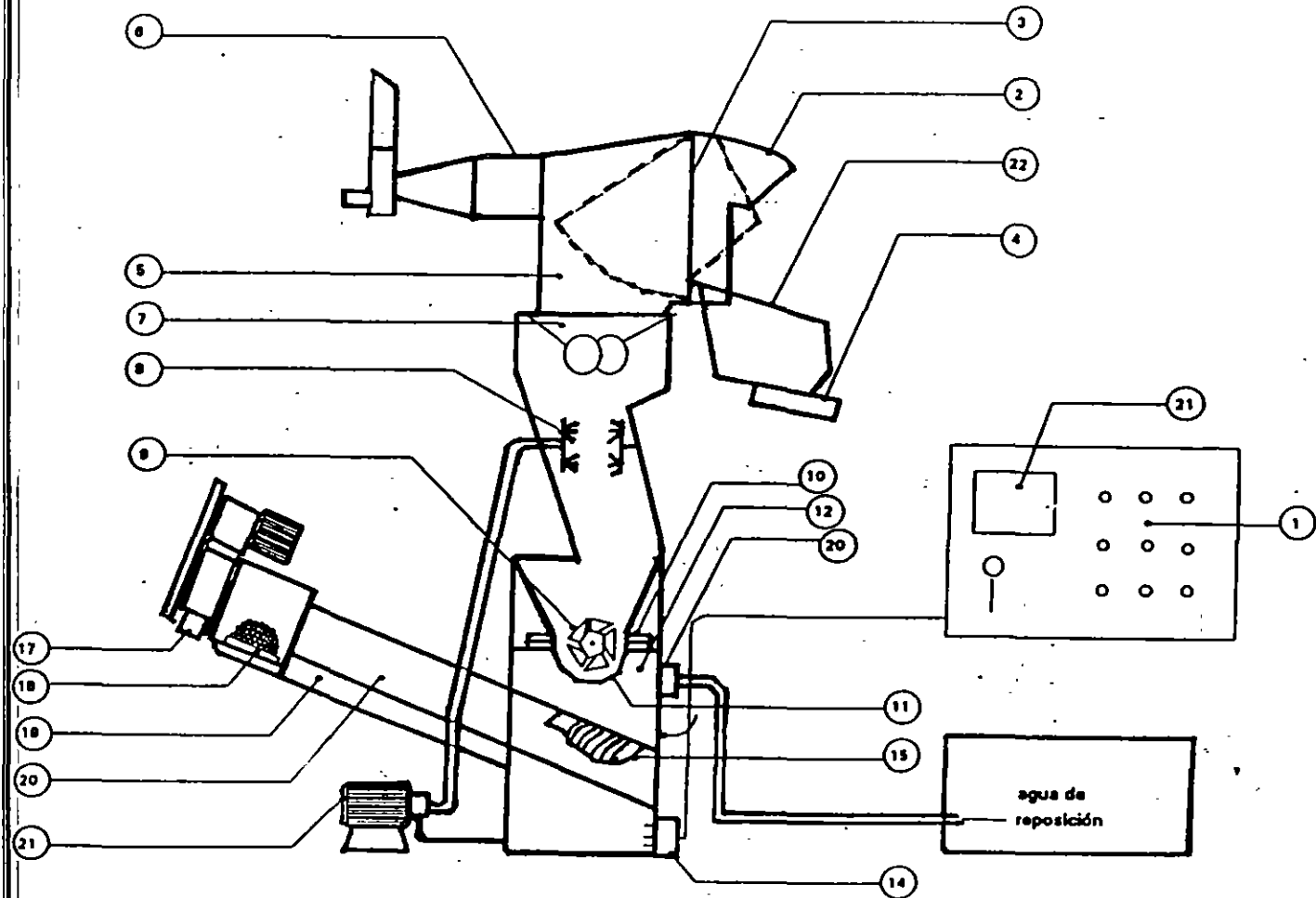
Incineración

5.- SISTEMA DE TRATAMIENTO DE DESECHOS HOSPITALARIOS POR EL SISTEMA CONDOR.

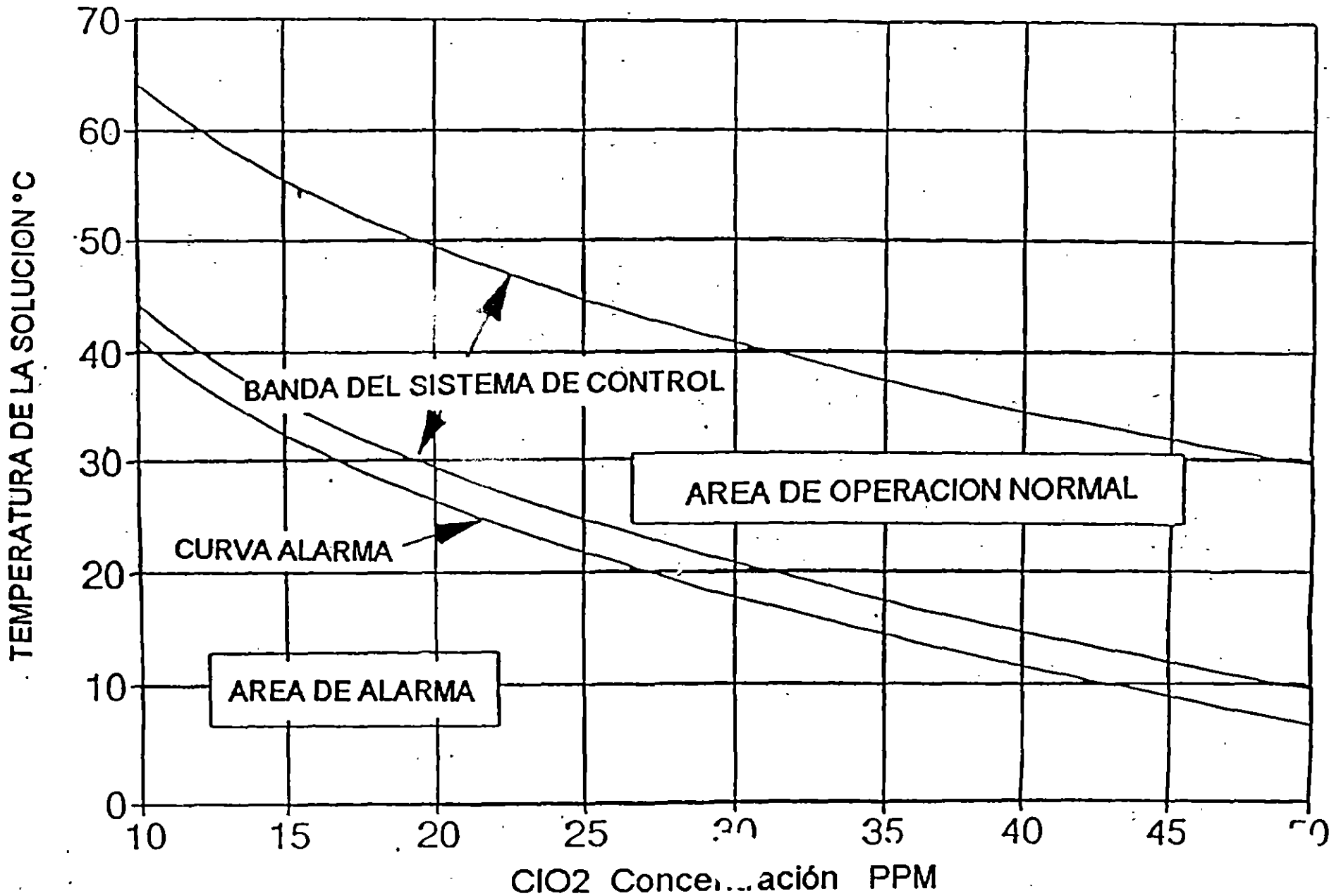
Este tratamiento consiste en una desinfección química a base de dióxido de cloro y una destrucción mecánica de los mismos

Partes del equipo CONDOR

- 1.- Tablero de control
- 2.- Tolva de relleno
- 3.- Puerta sellada
- 4.- Sistema electrónico
- 5.- Cámara demolida
- 6.- Filtro
- 7.- Disco giratorio cortador
- 8.- Rociador de solución de dióxido de cloro
- 9.- Cuchillas rotativas
- 10.- Cuchillas estáticas
- 11.- Malla
- 12.- Tanque de tratamiento
- 13.- Bomba para la recirculación de la solución
- 14.- Termostatos
- 15.- Tornillo sin fin
- 16.- Barril que contiene al tornillo sin fin
- 17.- Salida de los desechos
- 18.- Malla para retener sólidos ya tratados
- 19.- línea de retorno de la solución
- 20.- Selenoide (recibe señal de nivel de solución)
- 21.- Sistema de adquisición de datos.



Sistema Condor. Curva de Operación Estandar



EMISIONES AL AMBIENTE POR EL EQUIPO CONDOR

Emisiones al aire

- **Gases de dióxido de cloro durante la operación**

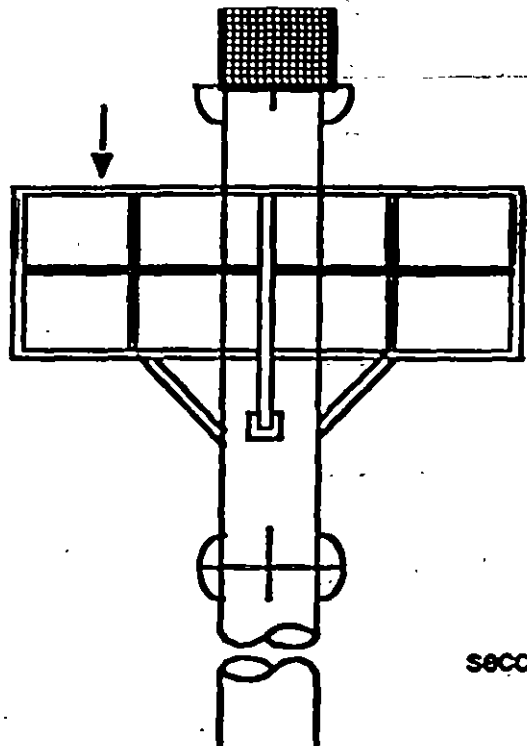
Emisiones al agua

- **No rebasan ningún parámetro de la NOM-031-ECOL-1993**
- **Si se aplica la NOM-029-1993 correspondiente a las descargas de aguas residuales provenientes de hospitales, se rebasan DBO, DQO, y sólidos suspendidos totales.**

Emisiones al suelo

- **Carentes de agentes infecciosos**

plataforma para muestreo



sección abatible para mantenimiento

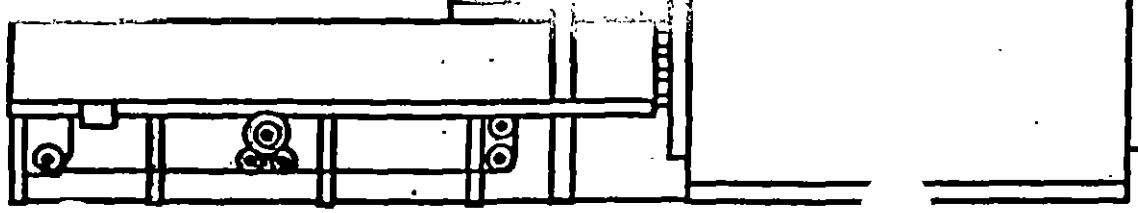
puerta abatible para mantenimiento

cámara secundaria

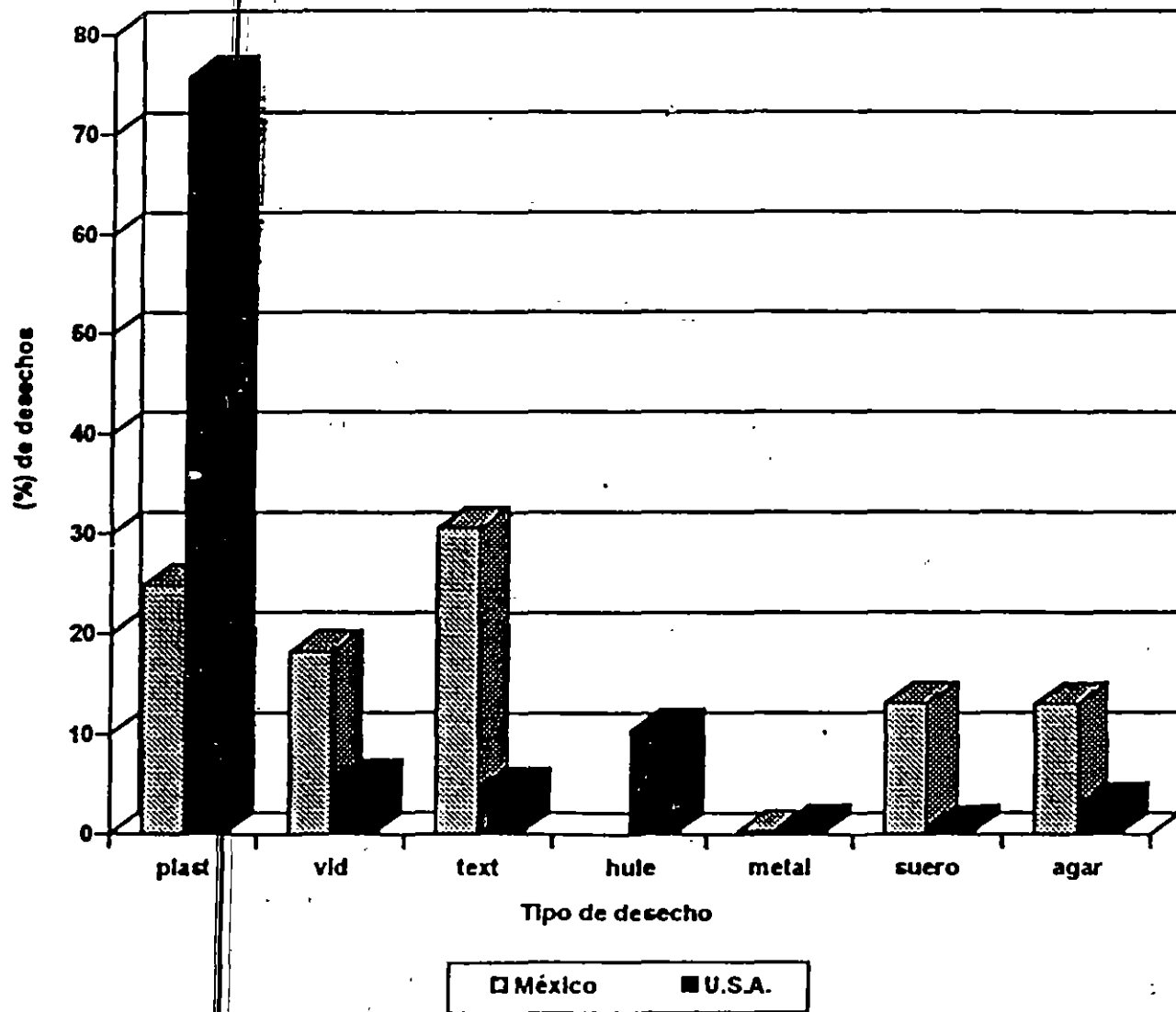
quemador secundario con cubierta

aire secundario

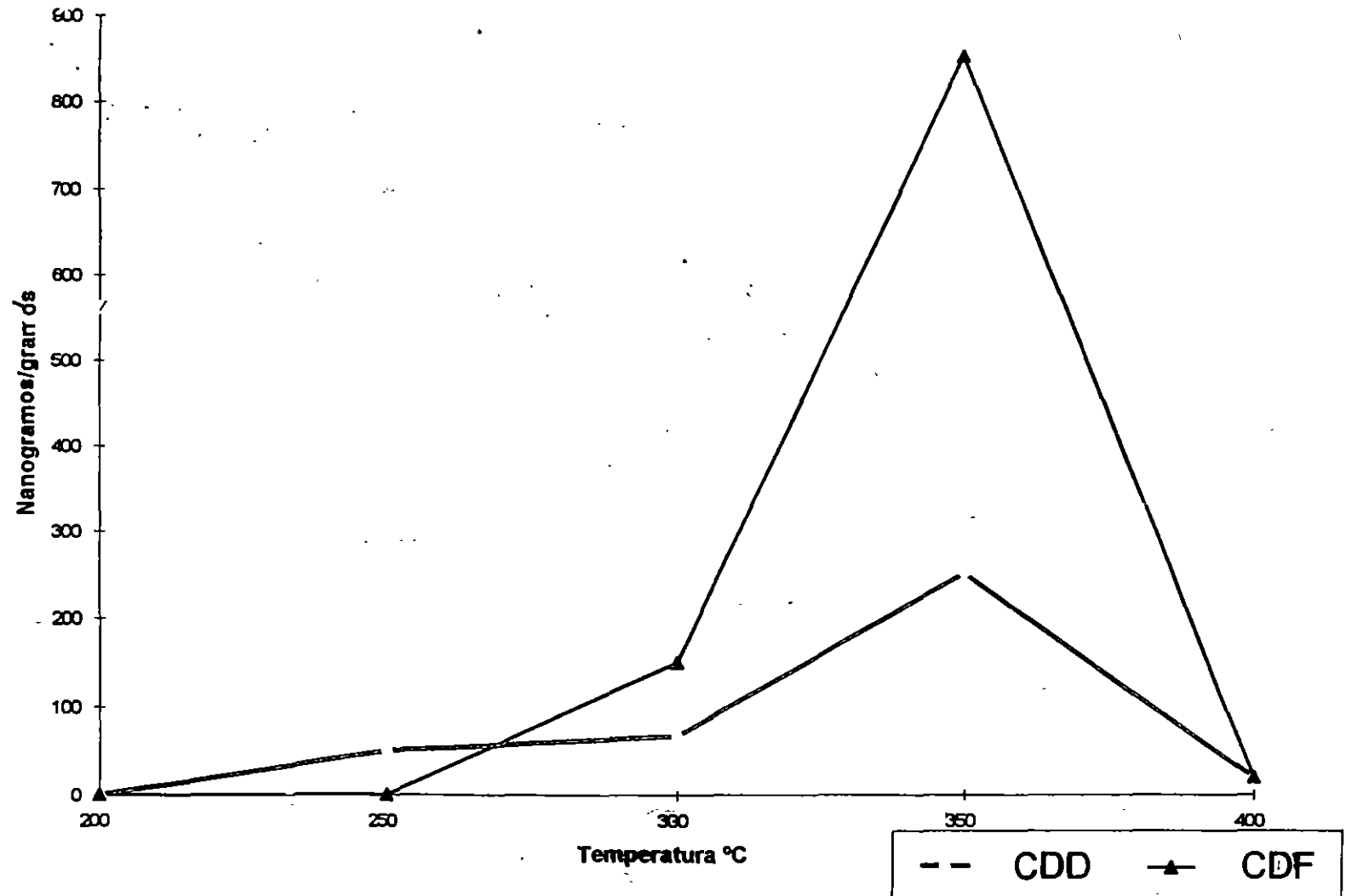
cámara primaria



1.1. Clasificación de los desechos hospitalarios por tipo de material.



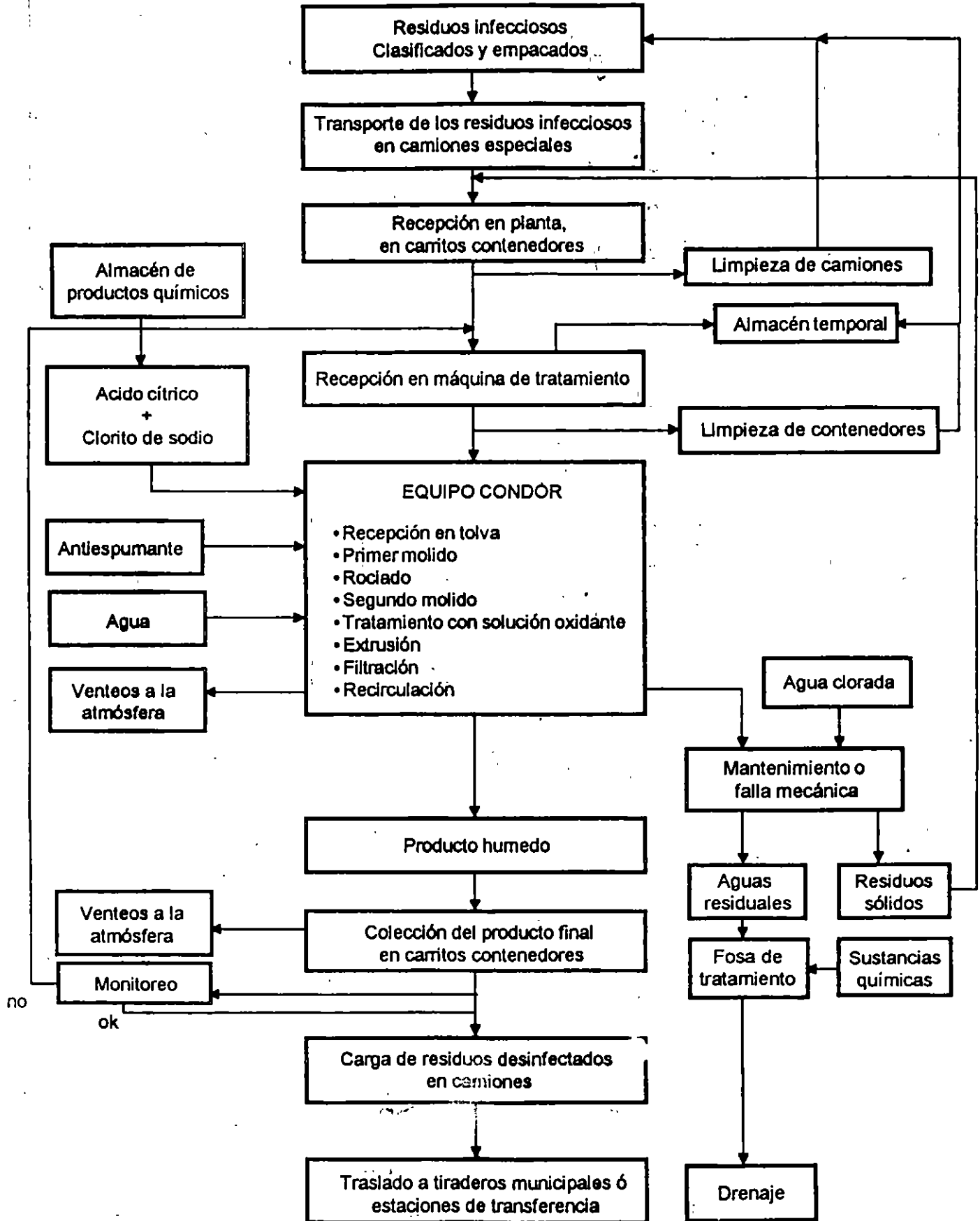
Efectos de temperatura en producción de CDD/CDF

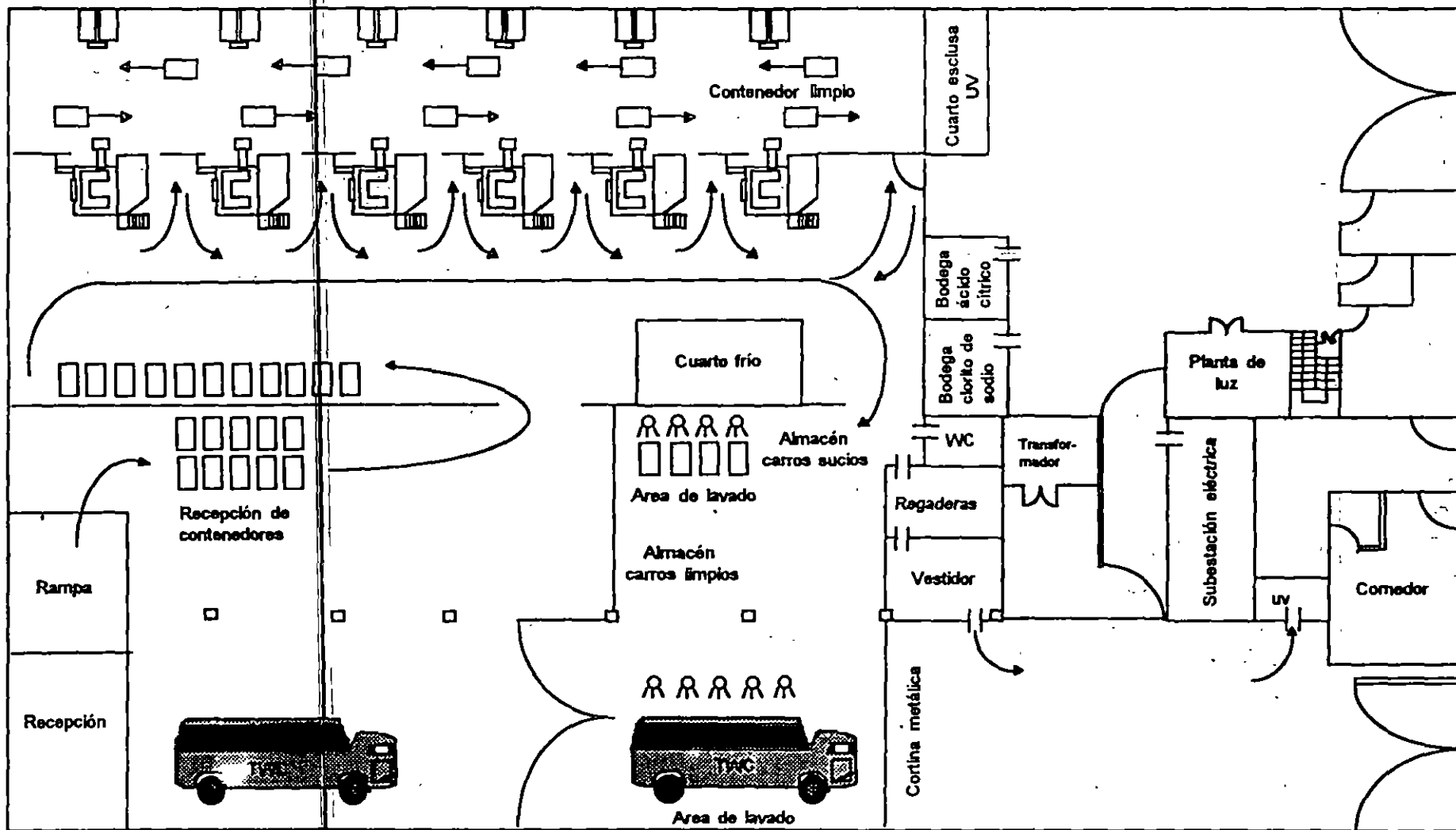


GESTIÓN DE LOS RESIDUOS BIOLÓGICO INFECCIOSOS

- **estrategias para reducir al mínimo las cantidades de residuos biológico infecciosos**
- **métodos de separación, envasado, rotulación, almacenamiento, tratamiento y transporte**
- **procedimiento de bitácora de generación, tratamiento y disposición final**
- **listado de la reglamentación en vigor**
- **programa de capacitación del personal**

Tratamiento de los residuos hospitalarios





Distribución general de la planta TWC

Estudios que deben realizar

Las empresas que se instalan en México deben presentar ante el INE los estudios siguientes:

- 1. Manifestación de Impacto Ambiental**
- 2. Estudio de riesgo**
- 3. Manifestación de residuos peligrosos.**

Dentro de las condicionantes expedidas por el INE para la instalación de plantas que se dediquen al tratamiento de RBI se pide un protocolo de pruebas.

¿ Que es protocolo de pruebas ?

Un protocolo de pruebas es una serie de pasos planeados para comprobar la eficiencia del equipo de tratamiento y verificar que este no sea una segunda fuente de contaminación tanto al aire, agua y suelo, mediante un programa sistemático de verificación e inspección aplicado por una organización.

Realización del protocolo de pruebas

El protocolo de pruebas se realiza en dos fases:

- 1. Planeación, es decir como se va a efectuar, que parámetros se van a medir y como se van a medir tanto en el equipo de tratamiento como en el equipo de monitoreo y análisis.**

Se presenta esta primer fase ante el INE para que la revise y evalúe, para así autorizar que se lleve a cabo.

- 2. Ejecución del protocolo. Se va a llevar a la práctica dándole seguimiento mediante unas hojas de verificación en campo, las cuales también forman parte de la planeación.**

Una vez realizada la prueba se presenta ante el INE los resultados obtenidos.

Términos de referencia generales del protocolo de pruebas

I. Para equipos de autoclave o desinfección química con o sin destrucción mecánica.

1. Descripción general del equipo y condiciones normales de operación
2. Condiciones normales de operación
3. Para evaluar el sistema se hace una siembra con las bacterias en su forma esporulada de *Bacillus termophilus* para autoclave y *Bacillus subtilis* para desinfección química en una concentración mínima de 1×10^5 ufc/g.
4. Evaluar el sistema al 85 y 100% de su capacidad real de carga.
5. La frecuencia de las pruebas, así como el número de muestras utilizadas en cada una de ellas, será definido por la Dirección General, a partir de las características técnicas del sistema que sean proporcionadas mediante el formato MRP
6. Debe monitorearse la emisión de compuestos contaminantes a la atmósfera y en las descargas de agua residual.

Términos de referencia generales del protocolo de pruebas

II. Incineración

1. Iniciales (sin carga de residuos). Realizar medición inicial de los parámetros de control para fuentes fijas de acuerdo a la NOM-085.ECOL-1994.
2. De operación (con carga de residuos).
 - ◆ El equipo debe probarse al 85 y 100% de la capacidad de diseño.
 - ◆ Deben evaluarse condiciones controladas de carga de residuos de PVC.
 - ◆ Efectuar las pruebas por triplicado
 - ◆ No se aceptarán instalaciones con emisiones a temperaturas mayores de 250°C.

Términos de referencia generales del protocolo de pruebas

Los parámetros a medir en las chimeneas de los incineradores son:

- ◆ Partículas suspendidas totales
- ◆ Monóxido de carbono
- ◆ Acido clorhídrico
- ◆ Bióxido de azufre
- ◆ Plomo
- ◆ Cadmio + mercurio
- ◆ Cromo VI
- ◆ Arsénico
- ◆ Dibenzodioxinas
- ◆ Dibenzofuranos

Entidades que intervienen en el protocolo y sus funciones

En el protocolo intervienen 4 entidades las cuales son:

- Instituto Nacional de Ecología que determina si el equipo es apto para el tratamiento de residuos biológico infecciosos.
- Empresa supervisora que plantea como va a realizarse el protocolo y verifica que el muestreo se realice cuando el equipo esta operando en condiciones normales
- Empresa que realiza el muestreo y análisis
- Institución educativa que certifica que el protocolo se efectuó en base a los términos de referencia.

CONCLUSIONES

- **El manejo y disposición inadecuado de los residuos biológico infecciosos representa un riesgo para la salud en general.**
- **La selección de las soluciones que permitan manejar adecuadamente los residuos hospitalarios, tanto en el interior del establecimiento como fuera de él, debe tomar en cuenta los requerimientos sanitarios y ambientales como las reales posibilidades económicas y tecnológicas locales.**
- **Entre las alternativas de tratamiento, la selección adecuada dependerá del tamaño del establecimiento y localidad donde se encuentra y deberá tomar en cuenta factores como costo de inversión, de operación, transporte, disponibilidad de personal, etc.**

COMPARACIÓN DE VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE DIFERENTES MÉTODOS

Parámetro	Tipo de tratamiento		
	Esterilización con vapor	Dstrucción/ Desinfección química	Incineración
Operación			
Aplicabilidad	Mayoría de los desechos	Mayoría de los desechos	Todos los desechos
Operación del equipo	Fácil	Moderadamente complejo	Complejo
Clasificación	Seleccionar desechos	Seleccionar desechos	Ninguna
Efecto del tratamiento	Apariencia intacta	Granulada	Cenizas
Reducción del volumen	30%	30%	85-95%
Riesgo ocupacional	Bajo	Moderado	Moderado
Pruebas	Fácil, económico	Compleja, costosa	Protocolo en desarrollo
Localización in situ/ex situ	Ambos	Ambos	Ambos
Operarios	Entrenados	Bien entrenados	Elevada experiencia
Parámetros ambientales regulados			
Emisiones a la atmósfera	Bajo riesgo vía ventilación	Bajo riesgo vía ventilación	Altos riesgos vía emisiones
Descargas aguas residuales	Bajo riesgo vía drenado	Bajo riesgo vía drenado	Bajo riesgo
Generación de residuos	A relleno sanitario	A relleno sanitario	Ceniza pueden ser residuos peligrosos
Costos			
Capital	Bajo	Moderado	Elevado
Mano de obra	Bajo	Moderado	Elevado
Operación	Bajo	Moderado	Elevado
Mantenimiento	Bajo	Moderado	Elevado
Tiempos muertos de operación	Bajo	Moderado a bajo	Elevado



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**DIPLOMADO EN SISTEMAS DE CONTROL DE
RESIDUOS SOLIDOS Y PELIGROSOS**

**MODULO III: PROCESOS DE TRATAMIENTO PARA EL
CONTROL DE RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES Y
PELIGROSOS**

FUNDAMENTOS DE LOS TRATAMIENTO EN EL SUELO DE RESIDUOS

Presentado por : SILKE CRAM

1996

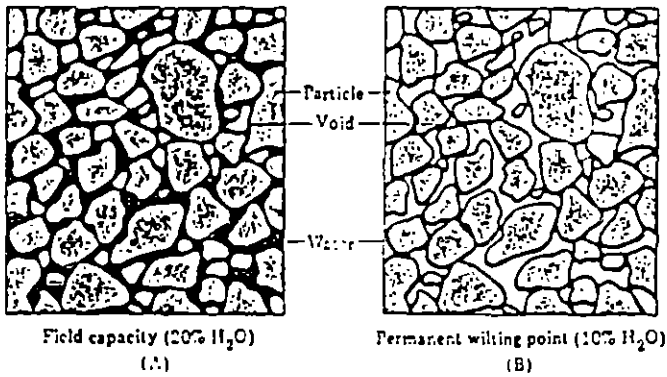
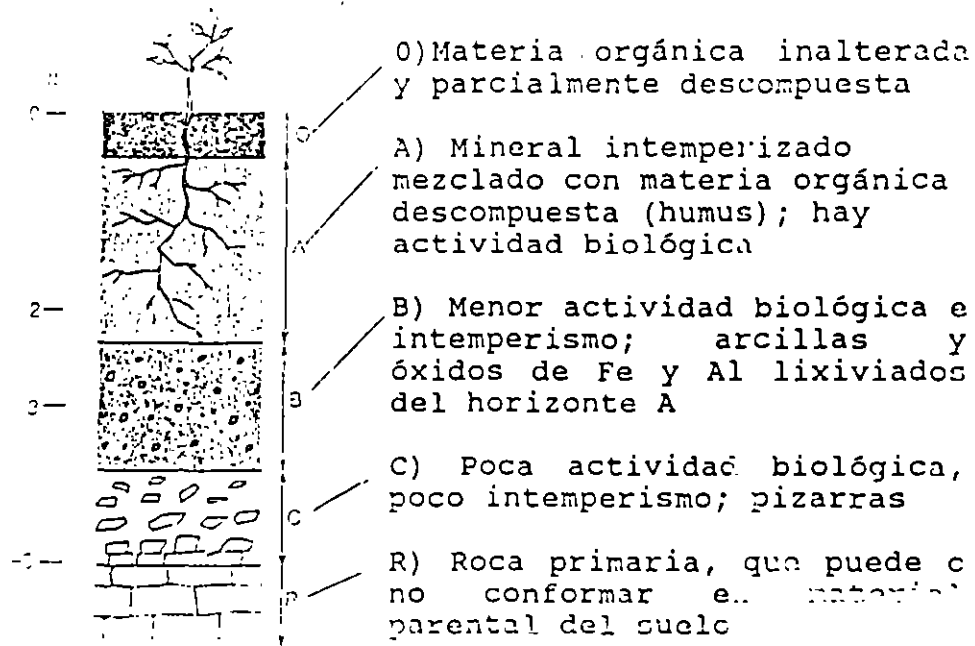
PROCESOS DE FORMACION DE SUELOS.

TERMINO	BREVE DEFINICION.
ELUVIACION	SALIDA DE MATERIALES DE UNA PORCION DEL SUELO, COMO EN LOS HORIZONTES ALBICOS.
ILUVIACION	ENTRADA DE MATERIALES A UNA PORCION DEL PERFIL DEL SUELO COMO EN UN HORIZONTE ESPODICO O ARCILLOSO.
LIXIVIACION (AGOTAMIENTO)	TERMINO GENERAL PARA EL DESLAVE O ELUVIACION DE MATERIALES SOLUBLES DEL SOLUM.
ENRIQUECIMIENTO	TERMINO GENERAL PARA LA ADICION DE MATERIALES A UN SUELO.
CALCIFICACION	PROCESOS DE ACUMULACION DE CARBONATO DE CALCIO EN EL Cca Y QUIZA, EN OTROS HORIZONTES DEL SUELO.
SALINIZACION	ACUMULACION DE SALES SOLUBLES, TALES COMO SULFATOS Y CLORUROS DE CALCIO, MAGNESIO, SODIO Y POTASIO EN HORIZONTES SALINOS.
ALCALINIZACION	ACUMULACION DE IONES DE SODIO EN LOS SITIOS DE INTERCAMBIO DE UN SUELO.
ARGILIZACION	MIGRACION MECANICA DE PEQUEÑAS PARTICULAS MINERALES DEL HORIZONTE A AL B DE UN SUELO, CON UN CONSECUENTE ENRIQUECIMIENTO DE ARCILLA EN EL B.
PODZOLIZACION	MIGRACION QUIMICA DE ALUMINIO, HIERRO O MATERIAS ORGANICAS DANDO COMO RESULTADO LA CONCENTRACION DE SILICIO EN LAS CAPAS ELUVIADAS.
LATERIZACION	MIGRACION QUIMICA DEL SILICIO FUERA DEL SOLUM Y CONCENTRACION CONSECUENTE DE SESQUIOXIDOS (GEOTITA, GIBSITA, ETC) COMO EN LOS HORIZONTES OXICOS, CON O SIN LA FORMACION DE CONCRECIONES O PIEDRAS DE HIERRO (PLINTITA)
DESCOMPOSICION	DISOCIACION DE MINERALES Y MATERIAS ORGANICAS.
SINTESIS	FORMACION DE NUEVOS MINERALES Y ESPECIES ORGANICAS.
GLEIZACION	REDUCCION DEL HIERRO EN SUELOS INUNDADOS Y ANAEROBICOS, CON LA PRODUCCION DE VETEADOS GRISACEOS VERDOSOS Y HASTA AZULADOS, PUEDEN PRESENTARSE CONCRECIONES FERRICAS O MANGANIFERAS.

LOS PROCESOS MAS GENERALES COMPREDEN TRES CATEGORIAS:

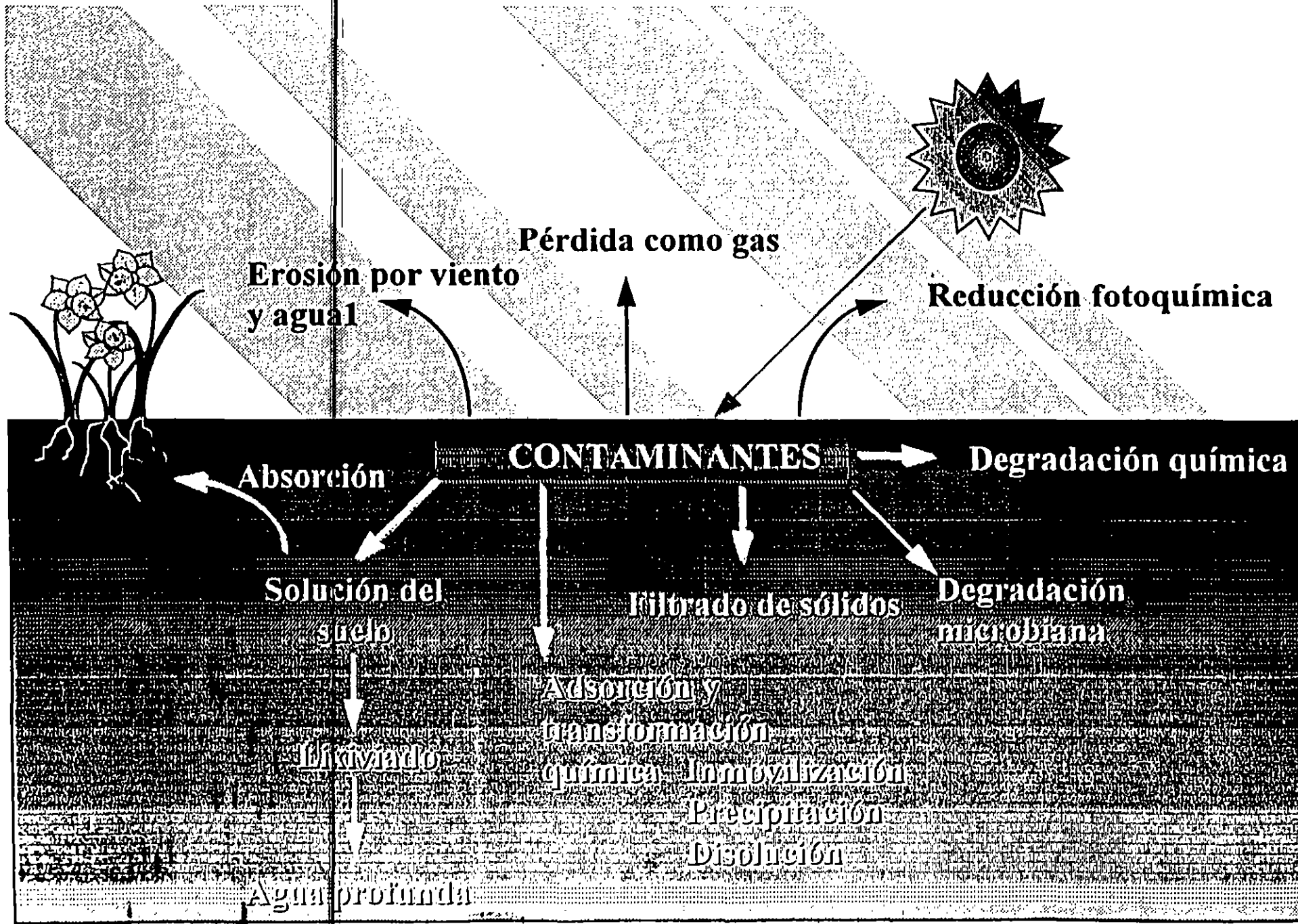
DESCOMPOSICIONES, MIGRACIONES Y ACUMULACIONES.

PERFIL DEL SUELO



(A) Suelo a capacidad de campo

(B) Punto permanente de "marchites"



TRATAMIENTO EN SUELO

PROCESOS DE TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN EN DONDE LOS DESECHOS SE MEZCLAN E INCORPORAN AL SUELO SUPERFICIAL Y AHÍ SE DEGRADAN, TRANSFORMAN O INMOVILIZAN POR MEDIO DE UN MANEJO ADECUADO.

☛ EL SUELO SE UTILIZA COMO UN MEDIO DE TRATAMIENTO CUYO FUNDAMENTO ES ANTE TODO, LA DESCOMPOSICIÓN AERÓBICA DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS PELIGROSOS.

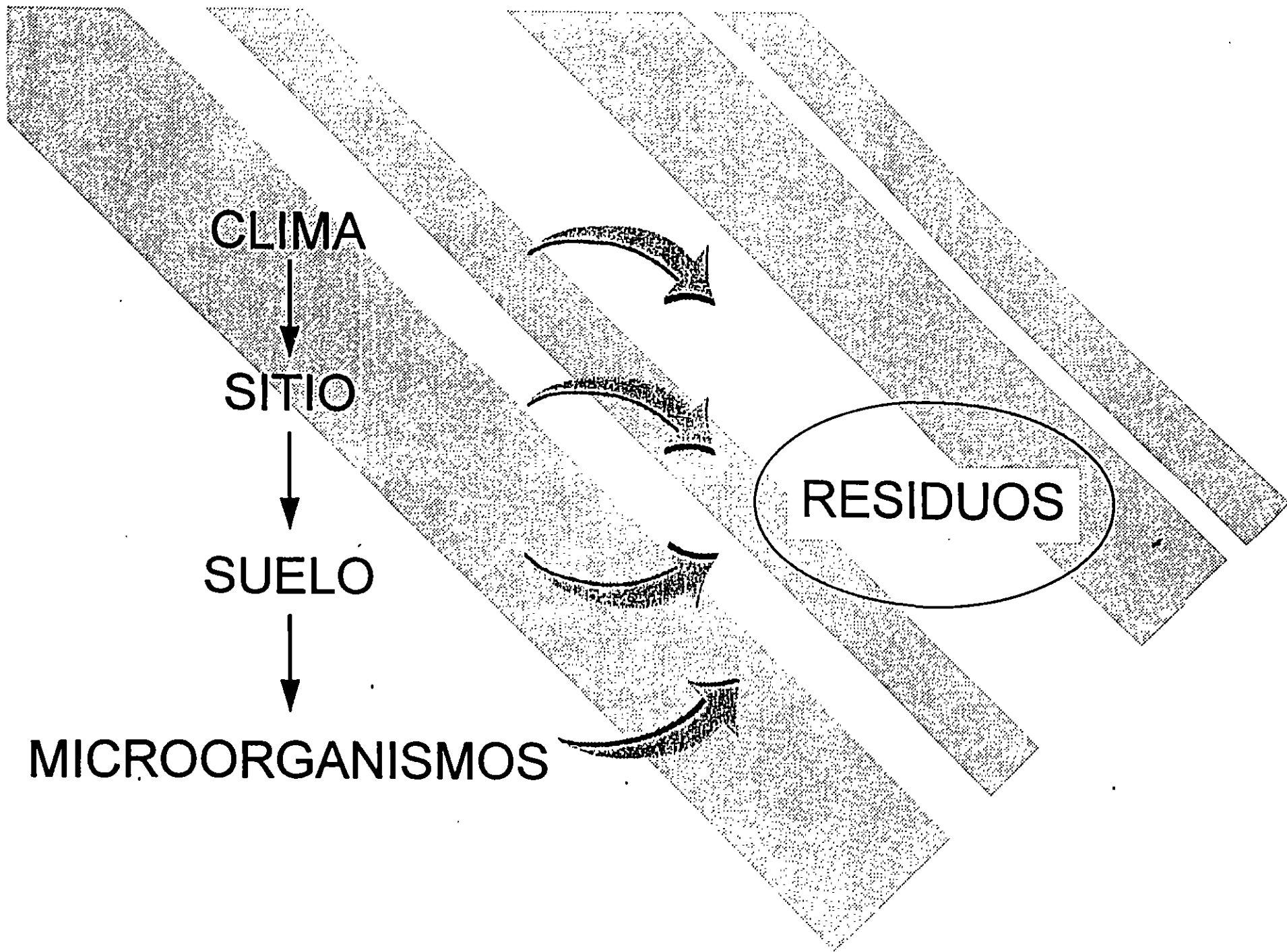
☛ LA PRINCIPAL RESTRICCIÓN DE ÉSTAS TÉCNICAS ES QUE AMENAZAN LA CALIDAD DE LAS AGUAS SUPERFICIALES, SUBTERRÁNEAS Y AL SUELO MISMO.

EL PROGRAMA DE TRATAMIENTO SE CENTRA EN TRES PUNTOS:

- 1) EL TIPO DE RESIDUO A TRATAR.**
- 2) EL DISEÑO O MEDIDAS DE OPERACIÓN.**
- 3) EL PROGRAMA DE MONITOREO DE LA ZONAS ALEDAÑAS.**

➤ **SE REQUIERE ADEMÁS, DE UN ESTUDIO PILOTO EN DONDE SE DEMUESTRE QUE EL CONSTITUYENTE PELIGROSO DEL RESIDUO SEA TOTALMENTE DEGRADADO, TRANSFORMADO O INMOVILIZADO EN LA ZONA DE TRATAMIENTO.**

➤ **SU ACEPTACIÓN ESTÁ RESTRINGIDA POR LA FALTA DE CLAROS CRITERIOS DE DISEÑO.**



**ALGUNOS RESIDUOS SUSCEPTIBLES DE SER UTILIZADOS POR
ESTA TÉCNICA SON:**

- **ALGUNOS SOLVENTES HALOGENADOS USADOS**
- **ALGUNOS PESTICIDAS**
- **SUELO, CONTAMINADO CON DERIVADOS DEL PETRÓLEO**

CARACTERÍSTICAS

RESIDUOS:

NO SE RECOMIENDAN:

- * LÍQUIDOS VOLÁTILES, REACTIVOS O INFLAMABLES, NI *
- * INORGÁNICOS COMO:
- * METALES PESADOS
- * ÁCIDOS Y BASES, (CIANUROS, NI AMONIACOS)

HAY QUE DETERMINAR:

- * ESTRUCTURAS QUÍMICAS
- * PESO MOLECULAR
- * SOLUBILIDAD

MICROORGANISMOS (AEROBIOS)

- * BACTERIAS
- * ACTINOMYCETOS
- * HONGOS
- * ALGAS
- * PROTOZOARIOS

SUELO:

- * pH (ENCALADO)
- * SALINIDAD
- * CIC
- * COND. REDOX
- * TEXTURA
- * AIREACIÓN
- * CAPACIDAD DE RETENCIÓN DE HUMEDAD (30 - 90°C)
- * DRENAJE INTERNO
- * TEMPERATURAS (A 5°C)
- * NUTRIMENTOS (N)

DETERMINAN:

- * BIODEGRADACIÓN
- * LIXIVIADOS Y POR TANTO DOSIS Y FRECUENCIA DE APLICACIÓN

SELECCIÓN DE SITIOS POTENCIALES

SE DEBE CONSIDERAR:

✓ GEOHIDROLOGÍA

✓ HIDROLOGÍA

✓ TOPOGRAFÍA

✓ SUELOS

✓ CLIMA

✓ USO DEL SUELO

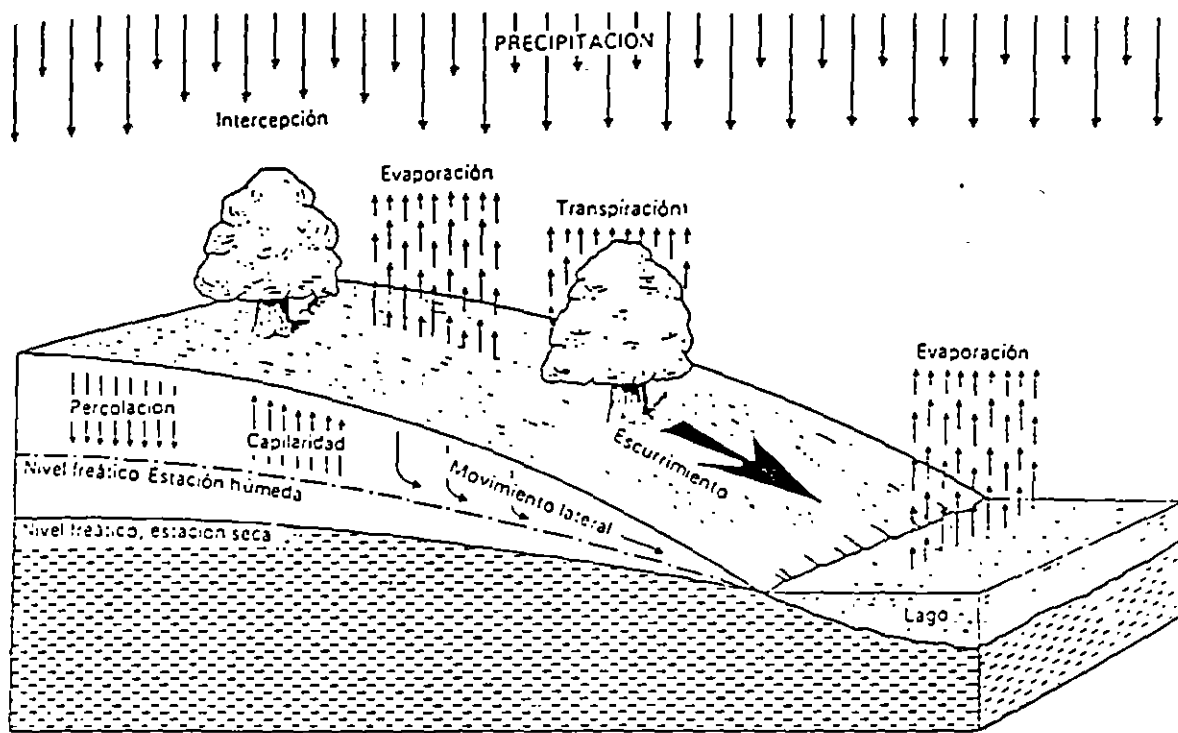


Fig. 2.26 El ciclo de humedad en condiciones húmedas

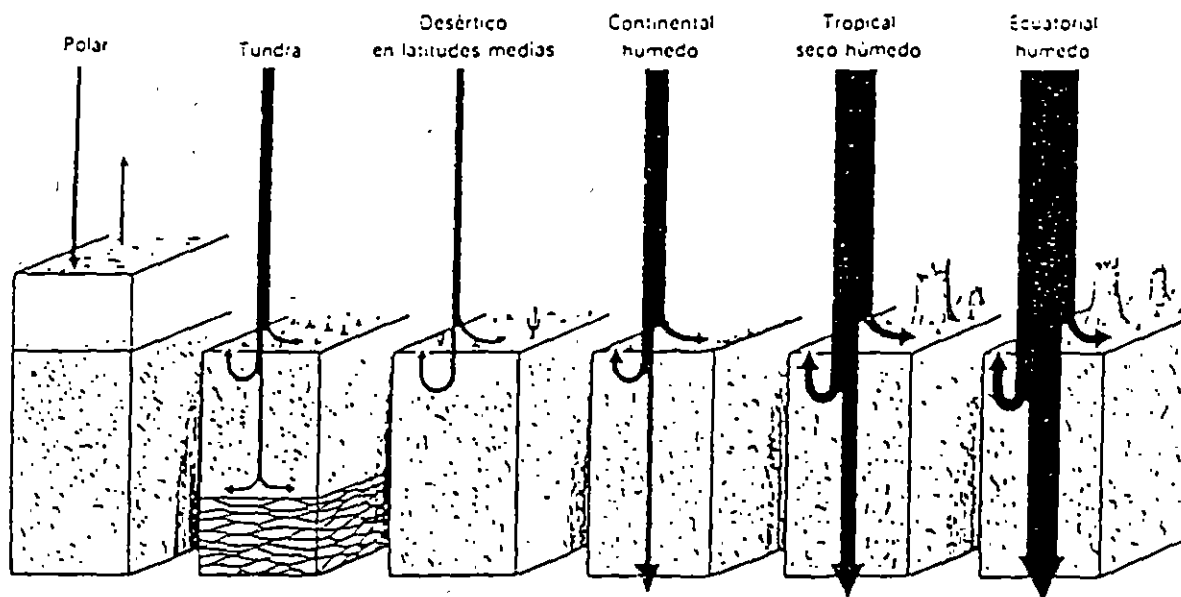










Fig. 2.27 Destino de la humedad que cae en la superficie del suelo, en diversas condiciones climatológicas

Suelo


% Composición


#	1	2	3	
	0	25	45	%
	50	25	5	%
	5	5	5	%
	45	45	45	%

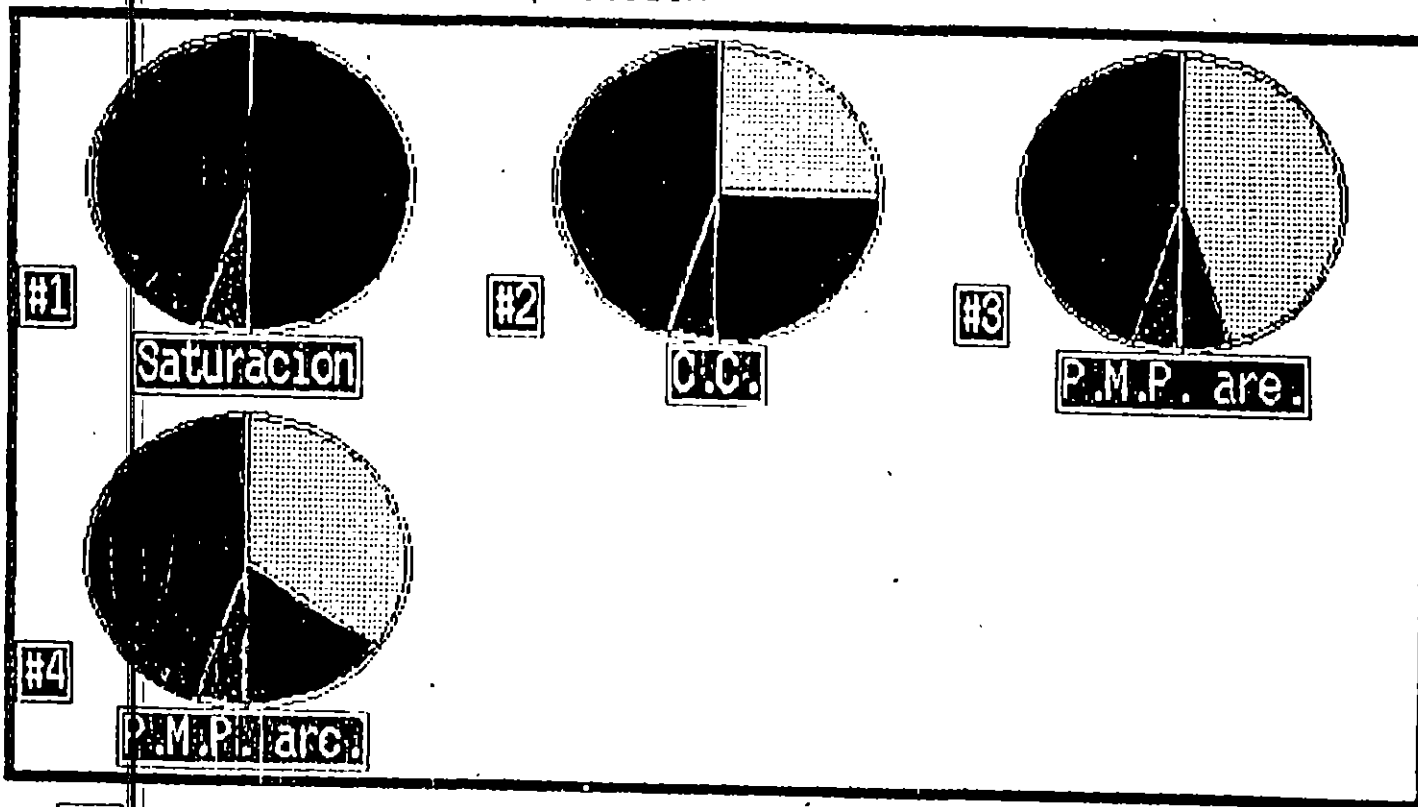
#	4	
	35	%
	15	%
	5	%
	45	%

 Aire

 Agua

 M.O.

 Minerales



DEL CLIMA SE DEBE CONSIDERAR:

- **VIENTO**
- **PRECIPITACIÓN**
- **TEMPERATURA**

DEL USO DEL SUELO:

- **PLANES FUTUROS**
- **CERCANÍAS A ZONAS SENSIBLES**
- **EFFECTOS EN LA ECONOMÍA LOCAL**

ANÁLISIS DE RESIDUOS

X DENSIDAD

X % SÓLIDOS (O ACEITES)

X pH

X SALINIDAD

X CONSTITUYENTES PELIGROSOS

X METALES PESADOS

X TOXICIDAD: A LARGO PLAZO, AGUDA (SOBRE MICROBIOS O VEGETALES)

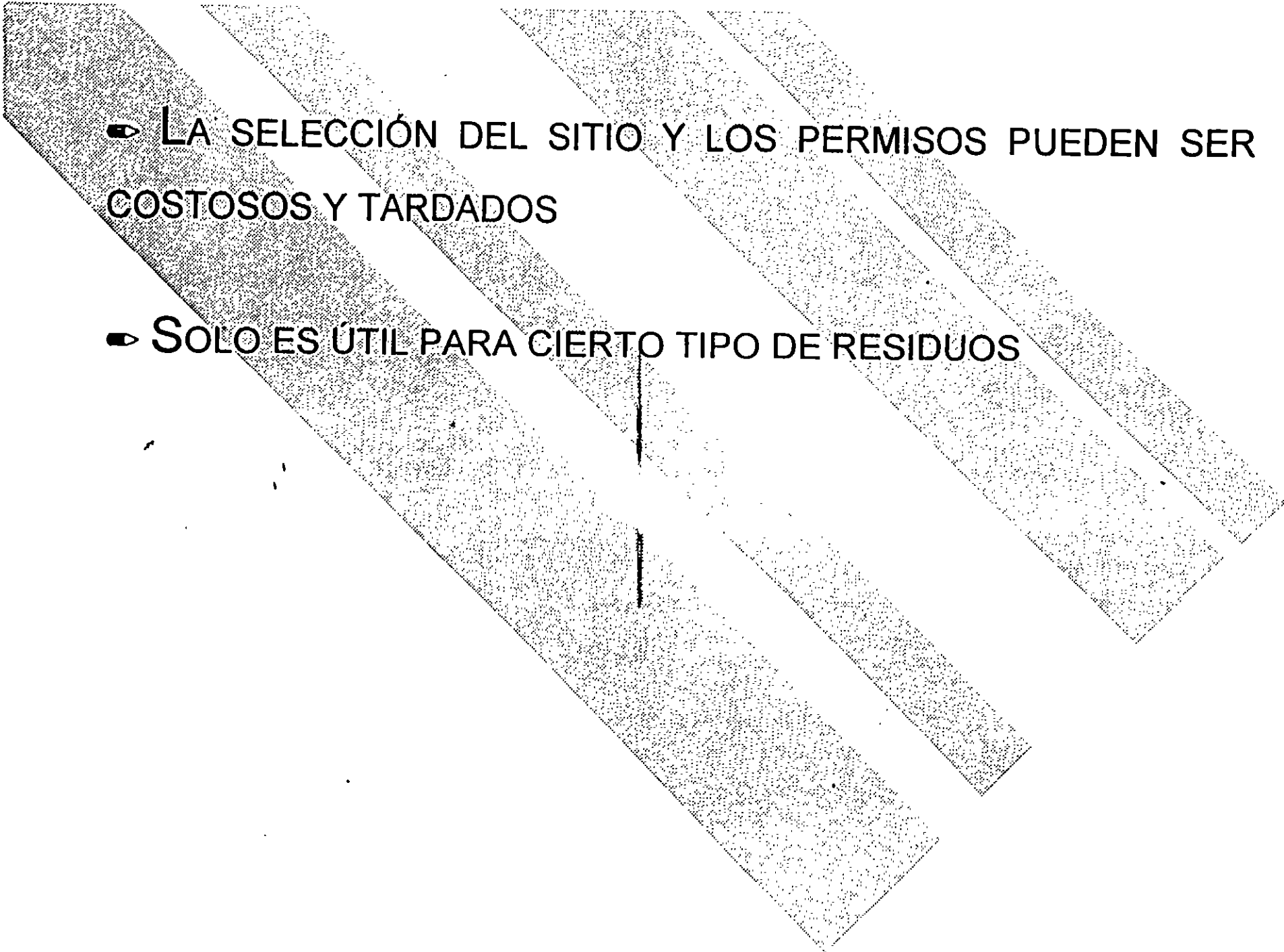
X MEZCLAS DE RESIDUOS. ESTABLECER NECESIDADES DE PRETRATAMIENTO

VENTAJAS DEL TRATAMIENTO

- ▶ DADO QUE LOS RESIDUOS SE "INACTIVAN" SON MENOS RIESGOSOS QUE OTROS TRATAMIENTOS
- ▶ EL ÁREA DE TRATAMIENTO SE MONITOREA CONSTANTEMENTE SI HAY MIGRACIÓN U OTRO SE CONTROLA DE INMEDIATO
- ▶ EL COSTO ES MENOR QUE PARA RELLENO O INCINERACIÓN
- ▶ LOS SITIOS DE TRATAMIENTO PUEDEN RECONVERTIRSE LUEGO A PARQUES O ÁREAS DE JUEGO

DESVENTAJAS DEL TRATAMIENTO

- ▶ EN OCASIONES SE REQUIERE ALMACENAR LOS RESIDUOS DEBIDO A MAL CLIMA O DESCOMPOSTURAS DE EQUIPO
- ▶ ES UN PROCESO INTENSIVO TANTO EN TERRENO COMO EN MANEJO
- ▶ LOS GASES Y OLORES PUEDEN SER MOLESTOS Y HASTA INSALUBRES
- ▶ SI NO SE MANEJAN BIEN PUEDEN PRESENTARSE IMPACTOS AMBIENTALES ADVERSOS



➤ LA SELECCIÓN DEL SITIO Y LOS PERMISOS PUEDEN SER COSTOSOS Y TARDADOS

➤ SOLO ES ÚTIL PARA CIERTO TIPO DE RESIDUOS

CONSIDERACIONES DE DISEÑO Y OPERACIÓN

SE REQUIERE UN TERRENO GRANDE CON:

- ✓ ÁREAS DE TRATAMIENTO (UNA O VARIAS PARCELAS EN ROTACIÓN)
- ✓ ÁREAS DE AMORTIGUACIÓN
- ✓ CAMINOS DE ACCESO
- ✓ ALMACÉN DE RESIDUOS
- ✓ ALMACÉN DE EQUIPOS
- ✓ ESTANQUE DE RETENCIÓN
- ✓ Y OTRAS

EQUIPO:

- ✓ DEPENDE DEL RESIDUO A ESPARCIR
- ✓ LAS CONDICIONES DEL SITIO
- ✓ DE NORMAS ESPECÍFICAS
- ✓ DE PREFERENCIA QUE SEA COMPATIBLE CON LABORES AGRÍCOLAS

CONTROL DE AGUA:

- ✓ EL CONTROL DE ESCORRENTÍAS (SALIENTE Y ENTRANTE) ES IMPRESCINDIBLE PARA EVITAR DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES
- ✓ DIQUES Y ESTANQUES PARA CAPTAR ESCORRENTÍAS

CONTROL DE EROSIÓN:

- ✓ **TERRAZAS O EMPASTADOS PARA EROSIÓN HÍDRICA**
- ✓ **CUBIERTA VEGETAL Y HUMEDAD PARA EROSIÓN EÓLICA**

APLICACIÓN DEL RESIDUO

- ✓ **CÁLCULO DE DOSIS Y FRECUENCIA DE APLICACIÓN DEBE PENSARSE EN EL COMPONENTE LIMITANTE PRINCIPAL (CONTENIDO DE AGUA, VELOCIDAD DE DEGRADACIÓN, CONTENIDO DE METALES)**
- ✓ **MUCHAS VECES SE PREFIERE PEQUEÑAS DOSIS CON ALTAS FRECUENCIAS**
- ✓ **APLICACIONES UNIFORMES**

INSPECCIONES Y REGISTROS

- ✓ **INSPECCIÓN DIARIAS DE LAS PARCELAS Y DE LOS TANQUES ASÍ COMO SEMANAL PARA ESTRUCTURAS Y EQUIPO**
- ✓ **REGISTROS DE: RESIDUOS INCORPORADOS, EN QUE PARCELA, RESULTADOS DE MONITOREO, DATOS CLIMÁTICOS, PLANES DE MANTENIMIENTO, Y ACCIDENTES**
- ✓ **PLANES DE CONTINGENCIA**

MONITOREO DEL SITIO

- ✓ **ANÁLISIS DE: AGUAS SUBTERRÁNEA, NÚCLEOS DE SUELO Y SOLUCIÓN DEL SUELO; ASÍ COMO RESIDUOS A APLICAR**
- ✓ **PARA GARANTIZAR LA PRESERVACIÓN DEL AMBIENTE SE RECOMIENDA MONITOREAR AIRE, VEGETACIÓN, AGUA DE ESCORRENTÍAS, Y EL SUELO DE LOS ALREDEDORES**

CLAUSURA DE LA UNIDAD DE TRATAMIENTO:

- ✓ **AL LLEGAR AL LÍMITE DE LA CAPACIDAD ACUMULATIVA DEL SUELO**
- ✓ **SEGUIR CONTROLANDO HASTA QUE LA DEGRADACIÓN DE ORGÁNICOS SEA COMPLETA SI NO CONFINAR EL SUELO SUPERFICIAL**
- ✓ **POSTCLAUSURAS, PUEDEN DURAR HASTA 30 AÑOS PARA EVALUAR EFECTOS A LARGO PLAZO**

IMPACTOS POTENCIALES

- ▶ RESIDUOS DE ALGUNOS ELEMENTOS O COMPUESTOS NO CAPTADOS O TRANSFORMADOS EN EL SUELO SUPERFICIAL Y POR LO TANTO CONTAMINACIÓN DE ACUÍFEROS
- ▶ LAS LLUVIAS Y/ O ESCORRENTÍAS PUEDEN ARRASTRAR CONTAMINANTES A RÍOS O DEPÓSITOS DE AGUA DE LAS INMEDIACIONES
- ▶ A VECES SE RECOMIENDA LA COLOCACIÓN DE UNAS CAPAS IMPERMEABLES CON UN SISTEMA RECOLECTOR DE LIXIVIADOS POR DEBAJO DE LAS ZONAS DE TRATAMIENTO PARA EVITAR ESCAPES



► **AIRE:** MALOS OLORES, POLVO, SUSTANCIAS VOLÁTILES Y AEROSOL

► **SALUD:** PUEDEN SER DE ORIGEN BIOLÓGICO, QUÍMICO, FÍSICO, MECÁNICO, PRINCIPALMENTE POR BIOACUMULACIÓN DE ALGUNOS CONTAMINANTES



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**DIPLOMADO EN SISTEMAS DE CONTROL DE
RESIDUOS SOLIDOS Y PELIGROSOS**

**MODULO III: PROCESOS DE TRATAMIENTO PARA EL
CONTROL DE RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES Y
PELIGROSOS**

TECNICAS DE TRATAMIENTO EN EL SUELO DE RESIDUOS

Presentado por : **ING. IRENE SOMMER**

1996

TIPOS DE TÉCNICAS

I. UTILIZACIÓN DEL RESIDUO POR EL SUELO

EL SUELO SE BENEFICIA
EL RESIDUO SE DISPONE Y SE
CONSTITUYE EN UN
RECURSO

II. APLICACIÓN DEL RESIDUO A SUELOS
ABANDONADOS O INFÉRTILES

EL SUELO SE BENEFICIA
EL RESIDUO SE DISPONE
DE DOS RESIDUOS SE
OBTIENEN DOS RECURSOS

III. EL SUELO ES UN MEDIO DE TRATAMIENTO
PARA EL RESIDUO

CAPACIDAD
"NEUTRALIZADORA" DEL
SUELO (RECURSO) QUE
RECIBE AL RESIDUO PARA
SU TRATAMIENTO

A CADA GRADO SE DEBEN ADAPTAR:

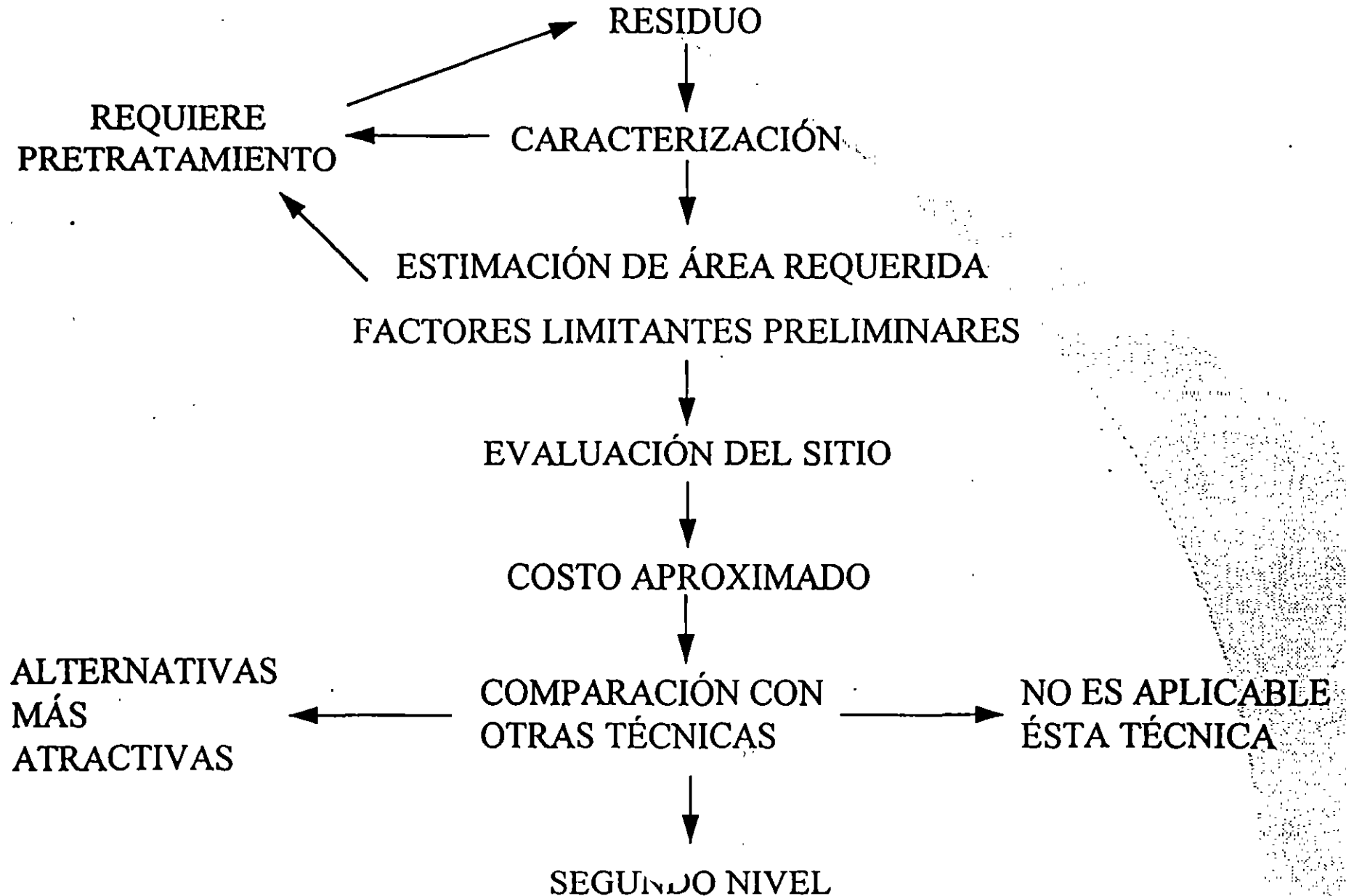
TIPO DE RESIDUO

TIPO DE SUELO

RESTRICCIONES Y/O TÉCNICAS DE CONTROL

PLANEACIÓN DEL USO DE LAS TÉCNICAS PARA APLICACIÓN DE RESIDUOS A SUELOS

PRIMER NIVEL



SEGUNDO NIVEL

DE NIVEL I

EXAMEN DETALLADO DE FACTORES
LIMITANTES:
CONTROL DE CONTAM:
ORGÁNICOS, ELEMENTOS, TÓXICOS, PATÓGENOS

APLICACIÓN DE CRITERIOS DE
SEGURIDAD

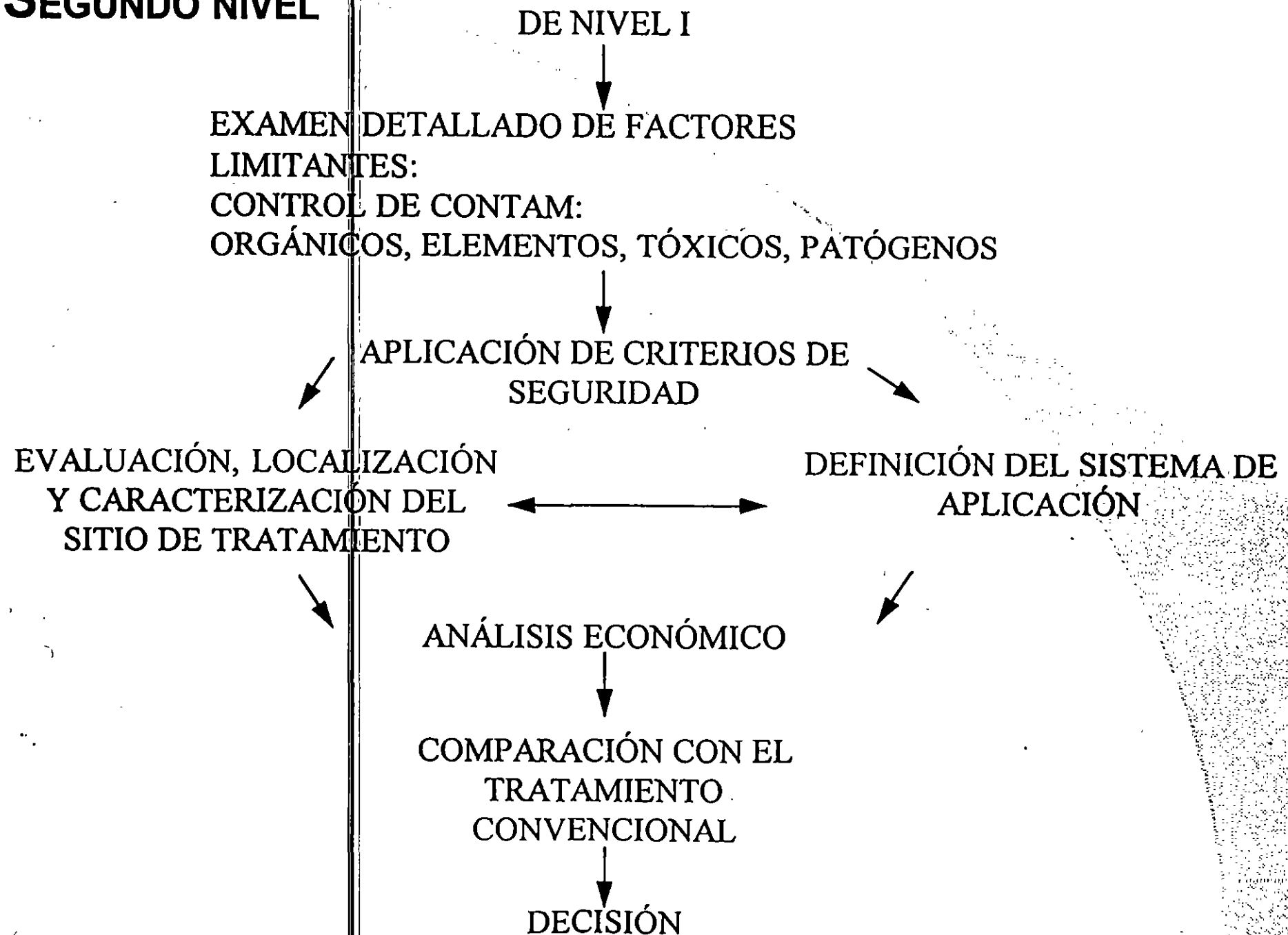
EVALUACIÓN, LOCALIZACIÓN
Y CARACTERIZACIÓN DEL
SITIO DE TRATAMIENTO

DEFINICIÓN DEL SISTEMA DE
APLICACIÓN

ANÁLISIS ECONÓMICO

COMPARACIÓN CON EL
TRATAMIENTO
CONVENCIONAL

DECISIÓN



I. RECOMENDACIONES

AGRUPAR LOS RESIDUOS A TRATAR POR AFINIDAD:

- ☛ AGRÍCOLAS**
- ☛ MUNICIPALES**
- ☛ INDUSTRIAL**
- ☛ INSTITUCIONAL**

NO MEZCLAR ENTRE SÍ

I.

☛ LAS TÉCNICAS DE TRATAMIENTO Y APLICACIÓN DE LOS RESIDUOS NO INTERFIEREN CON LOS CICLOS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

☛ LOS RESIDUOS TIENEN UN “VALOR” PARA EL SUELO, SEA: FERTILIZANTE, ACONDICIONADOR O FORMADOR DEL SUELO

☛ EJEMPLOS MUY CLAROS HAN SIDO EL USO DE:

☛ ESTIÉRCOLES

☛ DRENAJES MUNICIPALES

☛ LODOS DE DRENAJE

I. PARA PODER CONTEMPLAR A UN RESIDUO COMO CANDIDATO A SU APLICACIÓN SOBRE TERRENOS DE CULTIVO DEBE LLENAR LOS SIGUIENTES REQUISITOS:

- ✓ *NO PRESENTAR PROPIEDADES TÓXICAS PARA HUMANOS, ANIMALES, O CADENAS TRÓFICAS A DOSIS EFICIENTES*
- ✓ *ESTAR LIBRES DE CONCENTRACIONES EXCESIVAS DE METALES PESADOS*
- ✓ *LIBRES DE CONCENTRACIONES EXCESIVAS DE SALES COMUNES COMO Na, K, Ca, y Mg,*
- ✓ *ESTABLECER DOSIS ÓPTIMAS EVITANDO MIGRACIONES DEL RESIDUO A AGUAS SUBTERRÁNEAS*

TIPOS DE APLICACIÓN

I. COLOCACIÓN SUPERFICIAL: (SÓLIDOS Y LÍQUIDOS)

VENTAJAS

- ✍ *CONSERVACIÓN DE HUMEDAD SUPERFICIAL*
- ✍ *TEMPERATURA ESTABLE EN LA SUPERFICIE*
- ✍ *MENORES REQUERIMIENTOS DE NITRÓGENO*
- ✍ *MENORES COSTOS DE APLICACIÓN*
- ✍ *FUNCIÓN DE "ARROPE" AL SUELO*

DESVENTAJAS

- ✍ *MAYOR SUSCEPTIBILIDAD A LA EROSIÓN*
- ✍ *MOLESTIAS A LA POBLACIÓN, OLORES, VOLATILIZACIÓN, POLVOS, AEROSOLES*
- ✍ *PUEDE ATRAER MOSCAS, GUSANOS Y RATAS*
- ✍ *PÉRDIDAS DE NUTRIMENTOS A LA ATMÓSFERA Y POR EROSIÓN*
- ✍ *CONTROL DE DOSIS MÁS DIFÍCIL*
- ✍ *PÉRDIDAS DE AGUA POR EVAPORACIÓN*

II. INCORPORACIÓN O INYECCIÓN AL SUELO (SUELOS Y LÍQUIDOS)

VENTAJAS

- ✍ *SE REDUCE EL RIESGO DE DISPERSIÓN*
- ✍ *MAYOR CONTACTO CON EL SUELO POR LO TANTO MÁS RÁPIDA DESCOMPOSICIÓN*
- ✍ *MENOR INTERFERENCIA CON LABORES*
- ✍ *MAYOR INFILTRACIÓN DE AGUA*
- ✍ *SE ELIMINAN PROBLEMAS COMO OLORES, VOLÁTILES Y FAUNA NOCIVA (EJ. LODOS SE INYECTAN A 0.5 M)*
- ✍ *LOS NUTRIMENTOS QUEDAN AL ALCANCE DE LA RAÍZ*

DESVENTAJAS

✎ *EQUIPO PARA APLICAR MÁS COSTOSO O SOFISTICADO*

✎ *MUCHAS VECES REQUIERE PRETRATAMIENTO DEL RESIDUO PARA
PODER APLICARLO*

- ✓ LA ADOPCIÓN DE LA TÉCNICA, NO DEBE ENCARECER LOS COSTOS DEL PRODUCTO, NI COMPLICAR EL PROCESO PRODUCTIVO
- ✓ DEBERÁ COMPROBARSE QUE EL RESIDUO ES BIODEGRADABLE DENTRO DE UN PLAZO RAZONABLE SIN DEJAR RESTOS TÓXICOS
- ✓ LA RELACIÓN $C/N < 30$, Ó AGREGAR FERTILIZANTE N.
- ✓ LOS BENEFICIOS AL CULTIVO PODRÁN SER: NUTRIMENTOS, ACONDICIONAMIENTO DEL SUELO, ARROPÁNDOLO O MEJORAN LA ECONOMÍA DEL AGUA
- ✓ LA SUSCEPTIBILIDAD AL MISMO A SER ACARREADOS POR AGUAS O CON MALOS OLORES DEBEN SER MÍNIMOS

ALGUNOS EJEMPLOS DE RESIDUOS SÓLIDOS QUE HAN SIDO APLICADOS MEDIANTE ÉSTAS TÉCNICAS

RESIDUO

**RESIDUOS MUNICIPALES
(DRENAJES, LODOS Y BASURA)**

**PAPELERAS
(DRENAJES, LODOS Y RESIDUOS
DE PAPEL)**

**ENLATADORAS
(TOMATES, MAÍZ)**

**CURTIDURÍAS
(POLVOS Y LODOS)**

PRODUCTORA LÁCTEOS

RASTROS

JALES (PROCESADA)

CULTIVO

PASTOS, ALGODÓN Y GRAMÍNEAS

ALFALFA, PRADERAS

GRAMÍNEAS

PRADERAS

PRADERAS

JARDINES

MÚLTIPLES

FACTORES A CONSIDERAR PARA ESTABLECER CANTIDAD Y FRECUENCIA DE APLICACIÓN (RESIDUOS LÍQUIDOS) S.A.

- ✍ *DEGRADABILIDAD DEL RESIDUO*
- ✍ *PROPIEDADES QUÍMICAS DEL SUELO*
- ✍ *PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO*
- ✍ *TOPOGRAFÍA DEL SITIO*
- ✍ *CLIMA*
- ✍ *PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DEL SUELO*
- ✍ *USO DEL SUELO*
- ✍ *PROGRAMACIÓN DE CULTIVOS*
- ✍ *REQUERIMIENTOS NUTRITIVOS Y SENSIBILIDAD DE CADA CULTIVO*
- ✍ *ACEPTABILIDAD DEL PÚBLICO*
- ✍ *ASPECTO ECONOMICO*

FACTORES A CONSIDERAR PARA ESTABLECER CANTIDAD Y FRECUENCIA DE APLICACIÓN (RESIDUOS SÓLIDOS) L19.

I. CALIDAD DEL AGUA RESIDUAL:

- ✎ VELOCIDAD DE DESCOMPOSICIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA
(BOD, COD, TOC), PREVENIR ANAEROBIOSIS***
- ✎ METALES PESADOS (CIC SUELOS, Pb>Zn>Cu>Ni>Cd)***
- ✎ SALES DISUELTAS***
- ✎ NITRÓGENO (NO₃)***
- ✎ FÓSFORO (EUTROFIZACIÓN)***
- ✎ PATÓGENOS (BACTERIAS, PARÁSITOS)***
- ✎ QUÍMICOS ORGÁNICOS (TÓXICOS, PELIGROSOS,
CARCINÓGENOS, O SOLVENTES)***

II. CALIDAD DEL SUELO:

✍ *TEXTURA*

✍ *ESTRUCTURA*

✍ *PERMEABILIDAD E INFILTRACIÓN*

✍ *PRESENCIA DE "BARRERAS"*

✍ *DRENAJE*

III. CLIMAS:

✍ *LLUVIA*

✍ *TEMPERATURA*

✍ *VIENTO*

✍ *EVAPOTRANSPIRACIÓN*

✍ *HUMEDAD RELATIVA*

IV. TOPOGRAFÍA

 *PENDIENTE*

 *POTENCIAL EROSIVO*

 *INUNDACIONES*

V. FORMACIONES GEOLÓGICAS

 *PROFUNDIDAD A LA ROCA*

 *CALIZAS*

VI. AGUAS SUBTERRÁNEAS

 *PROFUNDIDAD DEL MANTO*

 *DIRECCIÓN Y VELOCIDAD DE FLUJO*

 *POZOS*

DOSIS DE ESTIÉRCOL EN FUNCIÓN DE CLIMAS
(EUA)

CLIMA	ESTIÉRCOL t/ha (BASE SECA)
REGIONES IRRIGADAS CÁLIDAS	34-56
REGIONES IRRIGADAS FRÍAS	34-45
REGIONES SECAS	6.7-11
REGIONES HÚMEDAS	34-45

PARA LODOS EN GENERAL SE HA USADO 1/2 DE LA DOSIS DE ESTIÉRCOL, SI ES QUE NO PRESENTA PROBLEMAS DE METALES

→ PARA LA DOSIFICACIÓN DE LÍQUIDOS DEBE CONSIDERARSE QUE EL AGUA SE “FILTRÉ” EN EL SUELO Y QUE RECARGUE LOS MANTOS PURIFICADOS

→ SI LAS AGUAS RESIDUALES PRESENTAN TÓXICOS SE DEBE EVITAR SU USO

→ OTRO CRITERIO IMPORTANTE EN LA DOSIFICACIÓN DE LÍQUIDOS ES LA CANTIDAD Y VIABILIDAD DEL PATÓGENO

TIEMPOS DE SOBREVIVENCIA DE ALGUNOS ORGANISMOS PATÓGENOS

<i>ORGANISMO</i>	<i>MEDIO</i>	<i>TIEMPO</i>
<i>ÁNTRAX (BACTERIAS)</i>	<i>AGUA Y DRENAJE</i>	<i>19 DÍAS</i>
<i>ASCARIS (HUEVOS)</i>	<i>VEGETALES, EN SUELO</i>	<i>27-35 DÍAS 2-6 AÑOS</i>
<i><u>B. DYSENTERIAE</u></i>	<i>EN AGUA</i>	<i>160 DÍAS</i>
<i><u>CHOLERA VIBROS</u></i>	<i>VEGETALES (LECHUGA, ESPINACA)</i>	<i>22-29 DÍAS</i>
<i><u>ENTAMOECIA HISTOLYTICA</u></i>	<i>VEGETALES EN SUELO</i>	<i>3 DÍAS 12 DÍAS</i>
<i><u>ENTERO VIRUSES</u></i>	<i>EN VEGETALES</i>	<i>7-40 DÍAS</i>
<i><u>SALMONELLA</u></i>	<i>EN SUELO SUPERFICIAL EN LODOS DIGERIDOS</i>	<i>46 DÍAS 17 SEMANAS</i>

II. DISPOSICIÓN EN SUELOS NO CULTIVADOS

VENTAJAS

- ✍ *SE ENCUENTRA LEJOS DE ACTIVIDAD HUMANA*
- ✍ *NO HAY TANTO RECHAZO DE ACEPTACIÓN*
- ✍ *MANEJO MÁS SENCILLO*
- ✍ *TERRENOS POBRES (N, P Y K)*
- ✍ *EL TRATAMIENTO SE INTERRUMPE MENOS*
- ✍ *PROPÓSITO DOBLE DISPOSICIÓN Y UTILIZACIÓN DE RESIDUOS*
- ✍ *MENOS "SENSIBLES" A SOBREDOSIS*

DESVENTAJAS

- ✎ *ALGUNOS DEMASIADOS LEJOS*
- ✎ *EN TERRENOS PEDREGOSOS O CON FUERTES PENDIENTES*
- ✎ *IMPACTOS AMBIENTALES , LA VIDA SILVESTRE PUEDE SER MUY ALTA*
- ✎ *CONTAMINACIÓN POR LIXIVIADOS*
- ✎ *SI ES PASTOREADO, HAY ENTRADA DIRECTA DE CONTAMINACIÓN A LA CADENA TRÓFICA*
- ✎ *PRÁCTICAS DE CONTROL DE EROSIÓN Y/O ESCORRENTÍAS*

REQUISITOS DEL SUELO PARA APLICACIÓN DE ÉSTA TÉCNICA

- ✍ *TENER MÁS DE 60 CM DE PROFUNDIDAD*
- ✍ *TENER PENDIENTES MENORES AL 12%*
- ✍ *NO TENER PERMEABILIDAD EXCESIVA (ARENAS, GRAVAS, PIEDRAS)*
- ✍ *EL MANTO FREÁTICO DEBER ESTAR A MÁS DE 60 CM DE PROFUNDIDAD*
- ✍ *NO ESTAR SUJETOS A INUNDACIONES, ENCHARCAMIENTOS O EROSIÓN*
- ✍ *NO TENER "BARRERAS" IMPERMEABLE A POCA PROFUNDIDAD*
- *NO ESTAR UBICADO SOBRE ACUÍFEROS ACTIVOS*

CON RESPECTO A LA APLICACIÓN DE RESIDUOS A TERRENOS PRODUCTIVOS

- ✍ *SE AMPLÍA LA GAMA DE RESIDUOS UTILIZABLES O, EN SU CASO, LAS DOSIS*
- ✍ *PARA SU APLICABILIDAD, SE DEBEN CONSIDERAR CRITERIOS COMO: DIVERSIDAD DE VEGETACIÓN, SUELOS, TOPOGRAFÍA, USO DEL SUELO CERCANO, MICROCLIMA*
- ✍ *DEBERÁN EVALUARSE CUIDADOSAMENTE LOS EFECTOS A LARGO PLAZO*

MEJORADOR O ACONDICIONADOR DEL SUELO

SON SUSTANCIAS QUE FAVORECEN:

- ✍ RETENCIÓN, DISPONIBILIDAD Y MOVIMIENTO DE HUMEDAD DEL SUELO*
- ✍ CONTROLAN LA ACUMULACIÓN DE SALES INDESEABLES*
- ✍ LAS TEMPERATURAS ESTABLES*
- ✍ EL ESPACIO POROSO*
- ✍ LA ACTIVIDAD MICROBIANA*
- ✍ DISPONIBILIDAD DE NUTRIMENTOS*
- ✍ ESTRUCTURAS DEL SUELO*

LOS PRINCIPALES GRUPOS RECONOCIDOS:

- ✍ QUÍMICOS INORGÁNICOS: ÁCIDO SULFÚRICO, S, SULFATOS DE Fe, YESO, SALES MINEROS*
- ✍ MATERIALES INERTES: ARENAS, GRAVAS, ROCA, SILICATOS, CENIZAS, FIBRA DE VIDRIO*
- ✍ MATERIALES VEGETALES O ANIMALES: ASERRÍN, MADERAS, CORTEZAS, COMPOSTA, PAPEL, PAJA, ESTIÉRCOL, LODOS DRENAJE, PESCADO, SANGRE, GUANO, RESIDUOS INDUSTRIALES, ALIMENTARIA*
- ✍ COMPUESTOS ORGÁNICOS SINTÉTICOS: SURFACTANTES, GRANULADORES*
- RESIDUOS DE ACEITE: AGREGANTES ESTRUCTURALES*

EJ. ÁREAS AFECTADAS POR MINERÍA

LOS TERREROS NO SE RECUPERAN NATURALMENTE POR UNA O VARIAS DE LAS SIGUIENTES CAUSAS:

- ✍ *EXCESO DE ACIDEZ*
- ✍ *ALTA CONCENTRACIÓN DE ELEMENTOS TÓXICOS (Al Y Mn)*
- ✍ *BAJA PERMEABILIDAD*
- ✍ *ALTAS TEMPERATURAS Y RESEQUEDAD EN LA SUPERFICIE*
- ✍ *BAJO CONTENIDO DE NUTRIMENTOS (N,, P, K)*
- ✍ *EROSIÓN POR AIRE Y AGUA*

SE APLICAN LODOS POR EJEMPLO PARA SUBIR $pH > 5.0$ POR LO TANTO FAVORECER RECOLONIZACIÓN VEGETAL Y REDUCIR EL CONTENIDO DE METALES EN LIXIVIADO

LOS DEPÓSITOS DE JALES PRESENTAN PROBLEMAS:

- ✍ *POR CONCENTRACIÓN DE ELEMENTOS TÓXICOS*
- ✍ *SON SUSCEPTIBLES A EROSIÓN*

SE PUEDEN APLICAR A SUELOS COMO “MEJORADORES” O SE PUEDEN ESTABILIZAR MEDIANTE UN MEJORADOR

EJ. SUELOS SALINOS Y SÓDICOS

SE DEBE:

- ✍ *BAJAR NIVEL MANTO FREÁTICO*
- ✍ *APLICAR MEJORADOR (CaSO_4 , FeSO_4 , H_2SO_4 , DOSIS 4.5 T/ha)*
- ✍ *ARAR PARA ROMPER CAPAS*
- ✍ *MEJORAR ESTRUCTURA (MEJORADOR M.O.)*
- ✍ *LAVAR EL Na*

SE PUEDE:

- ✍ *APLICAR EL H_2SO_4 RESIDUAL PROVENIENTE DE LA INDUSTRIA COMO METAL-MECÁNICA (EN SUELOS CÁLCICOS) AHMSA-TEXCOCO*
- ✍ *APLICAR SULFATOS DE Fe Y Al, QUE PROVIENEN DE LA MINERÍA*

III. EL SUELO COMO SISTEMA DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS

SE ASUME QUE:

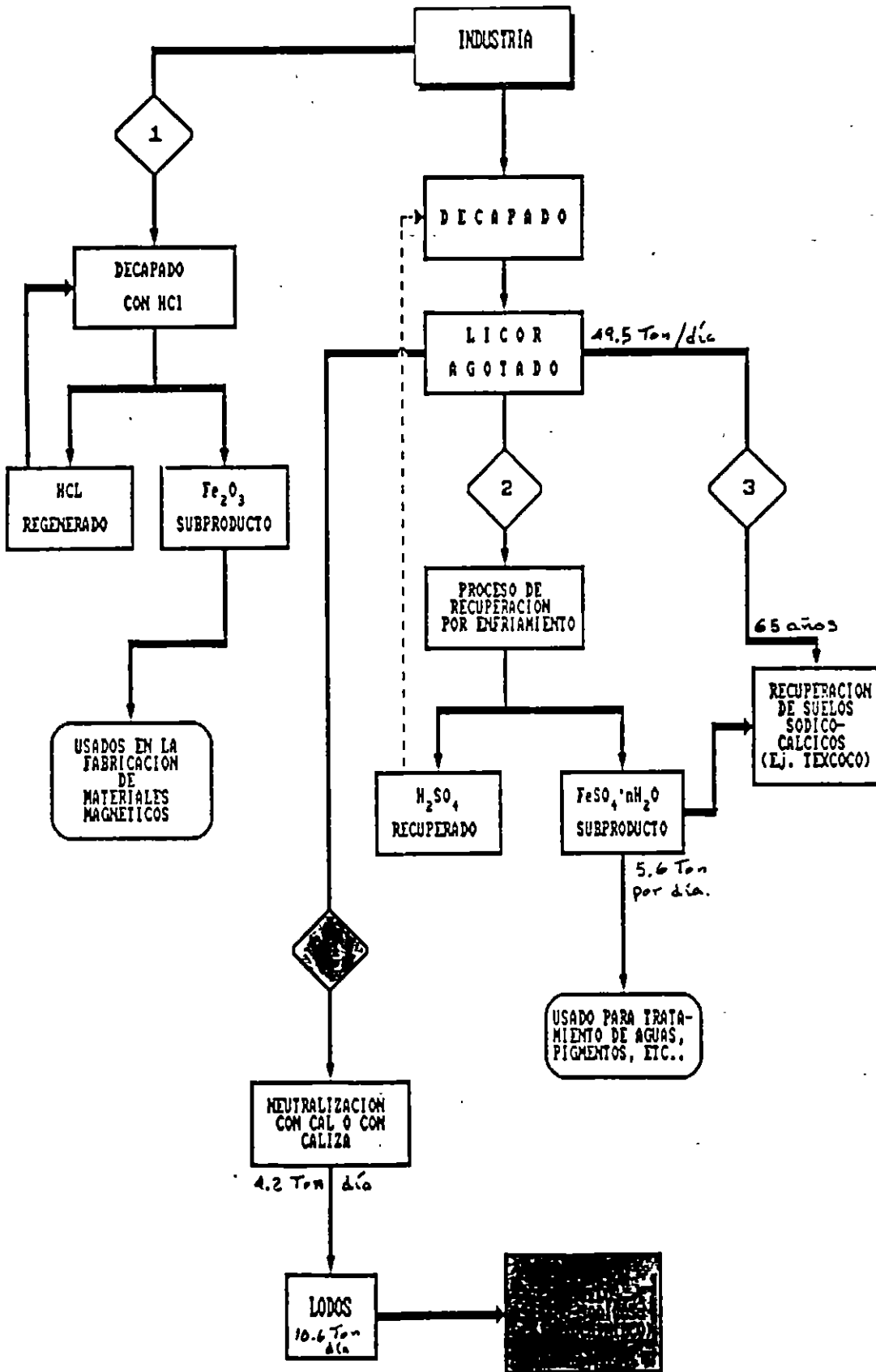
- ✍ *LAS BACTERIAS NATIVAS DEL SUELO DESCOMPODRÁN LOS RESIDUOS ORGÁNICOS QUE SE AÑADAN*
- ✍ *LAS INTERACCIONES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO SERÁN CAPACES DE INMOVILIZAR LOS COMPUESTOS METÁLICOS INORGÁNICOS*
- ✍ *TIENEN UN FUERTE COMPONENTE EMPÍRICO*
- ✍ *DEBERÁN UTILIZARSE MEMBRANAS Y SISTEMAS AISLADOS EN TODOS LOS CASOS*

INCLUYEN TÉCNICAS COMO:

- ✍ *"CULTIVO" DE RESIDUOS, DISPERSIÓN SOBRE SUELO*
- ✍ *RELLENOS SANITARIOS*
- ✍ *"ENCAPSULAMIENTO" EN SUELOS Y MEMBRANAS*
- ✍ *COMPOSTEO Y "ARROPES" (MULCHINGS)*
- ✍ *SUELOS PARA ABSORBER GASES*

REQUIEREN CASI SIEMPRE TÉCNICAS COSTOSAS DE CONTROL DE EROSIÓN Y ESCORRENTÍAS PARA EVITAR DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES

FIGURA 1 Opciones de solución al problema de contaminación por licores ácidos.



ANALISIS DEL LICOR ACIDO UTILIZADO COMO MEJORADOR

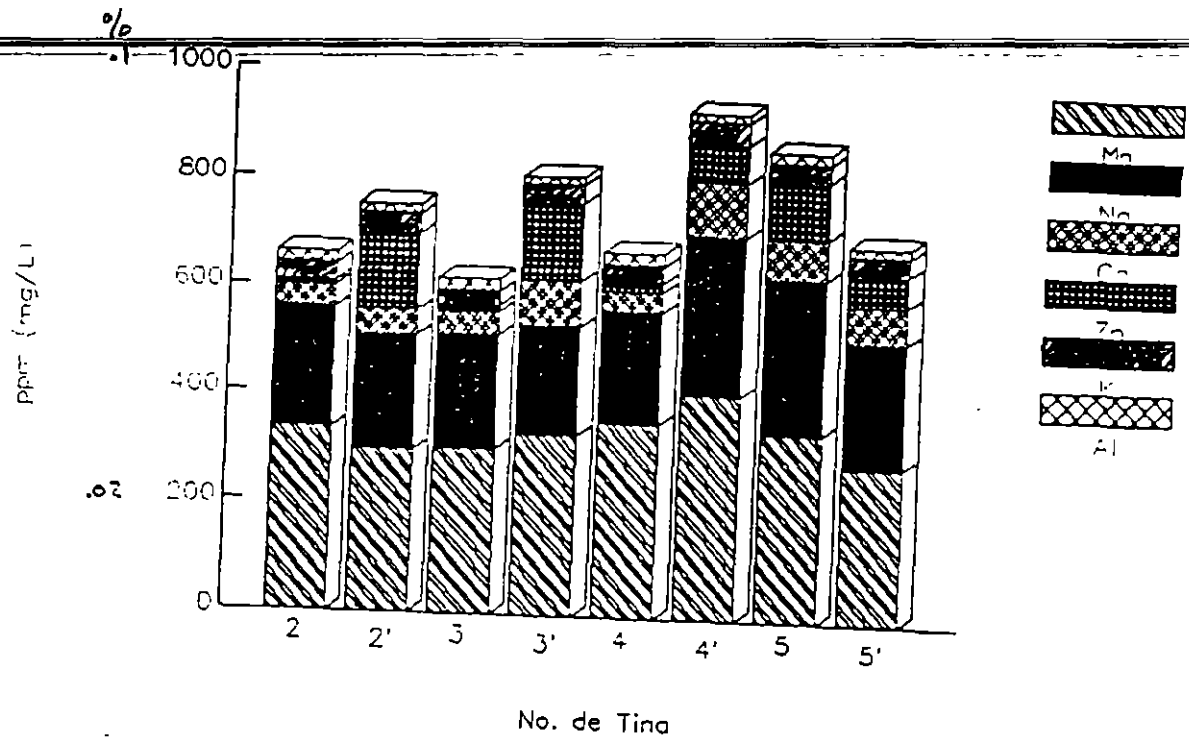


Figura 9 Metales más abundantes en los licores ácidos.

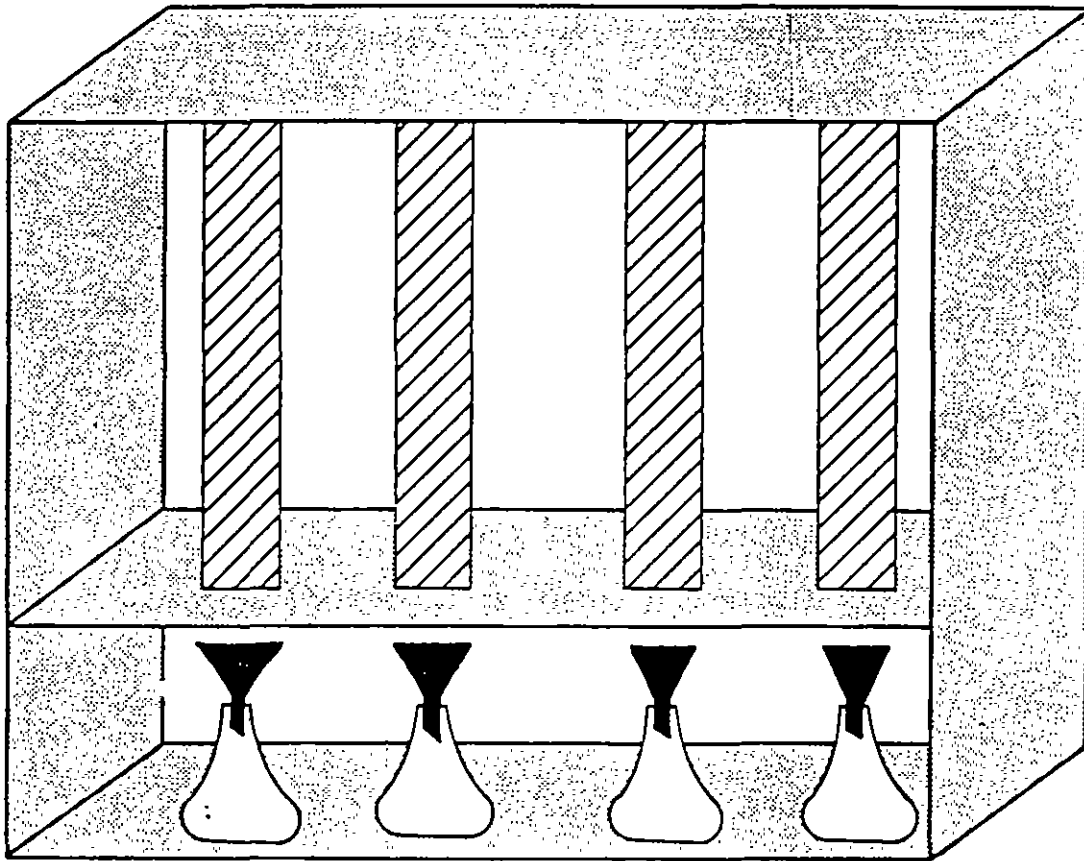
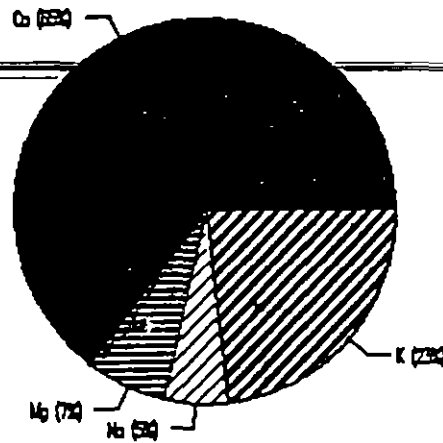


Figura 7 Dispositivo diseñado para el experimento con columnas de suelo.

CATIONES EN SUELOS RECUPERADOS:
MUESTRA 5Sa



CATIONES EN SUELOS RECUPERADOS
MUESTRA 5Sb

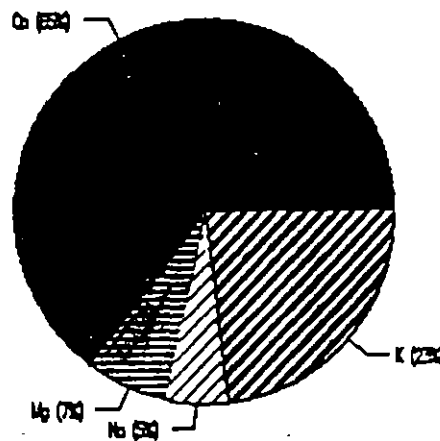
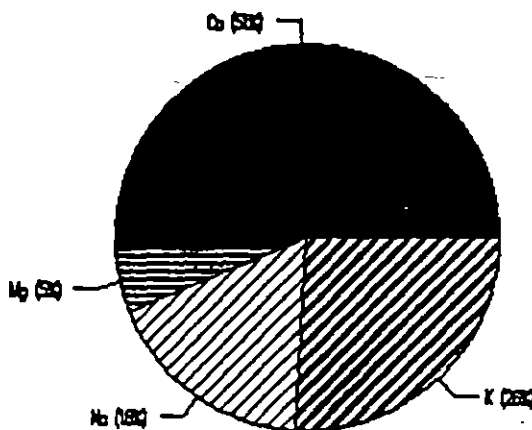


FIGURA 27 Porcentajes de cationes totales en los suelos "suelos" tratados con los licores ácidos.

33

✓

CACIONES EN SUELOS RECUPERADOS MUESTRA 5Ca



CACIONES EN SUELOS RECUPERADOS MUESTRA 5Cb

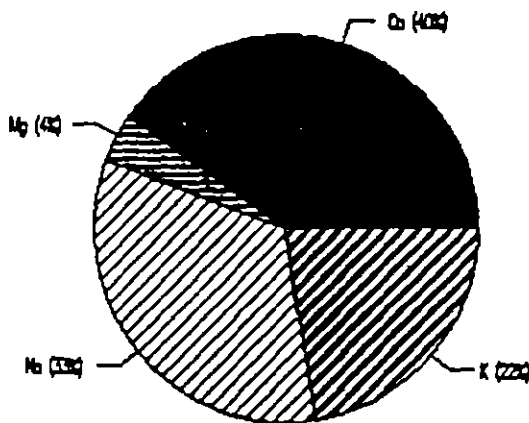
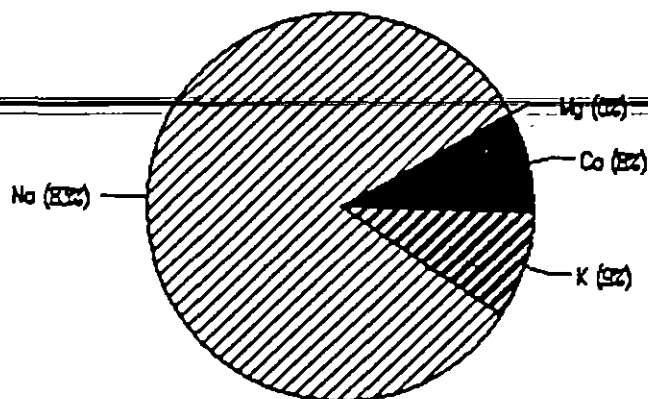


FIGURA 26 Porcentajes de cationes totales en los suelos "compactos" tratados con los licores ácidos.

CACIONES EN LOS SUELOS ORIGINALES
MUESTRA 5a



CACIONES EN LOS SUELOS ORIGINALES
MUESTRA 5b

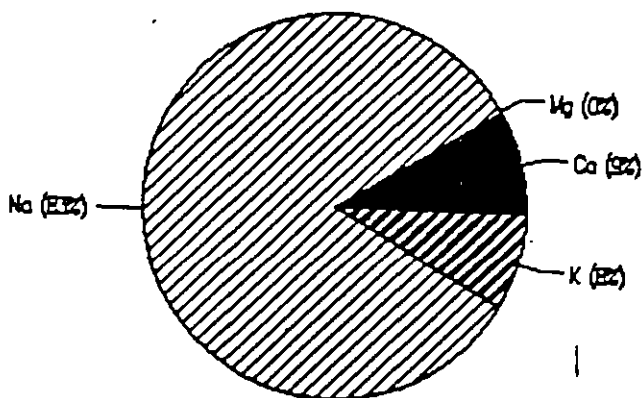


FIGURA 25 Porcentajes de cationes totales en los suelos sin tratar con los licores ácidos.

EL FLUJO TOTAL DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA CIUDAD DE MÉXICO ES DE $60\text{m}^3/\text{s}$ (SIENDO $105\text{ m}^3/\text{s}$ EL FLUJO TOTAL DEL PAÍS

EL ÁREA CULTIVADA DE TODO EL PAÍS ES DE $270\ 182\ \text{Km}^2$, DE LA CUAL $58\ 031\ \text{Km}^2$ SON DE IRRIGACIÓN Y $1\ 564\ \text{Km}^2$ SON DE IRRIGACIÓN POR MEDIO DE AGUAS RESIDUALES

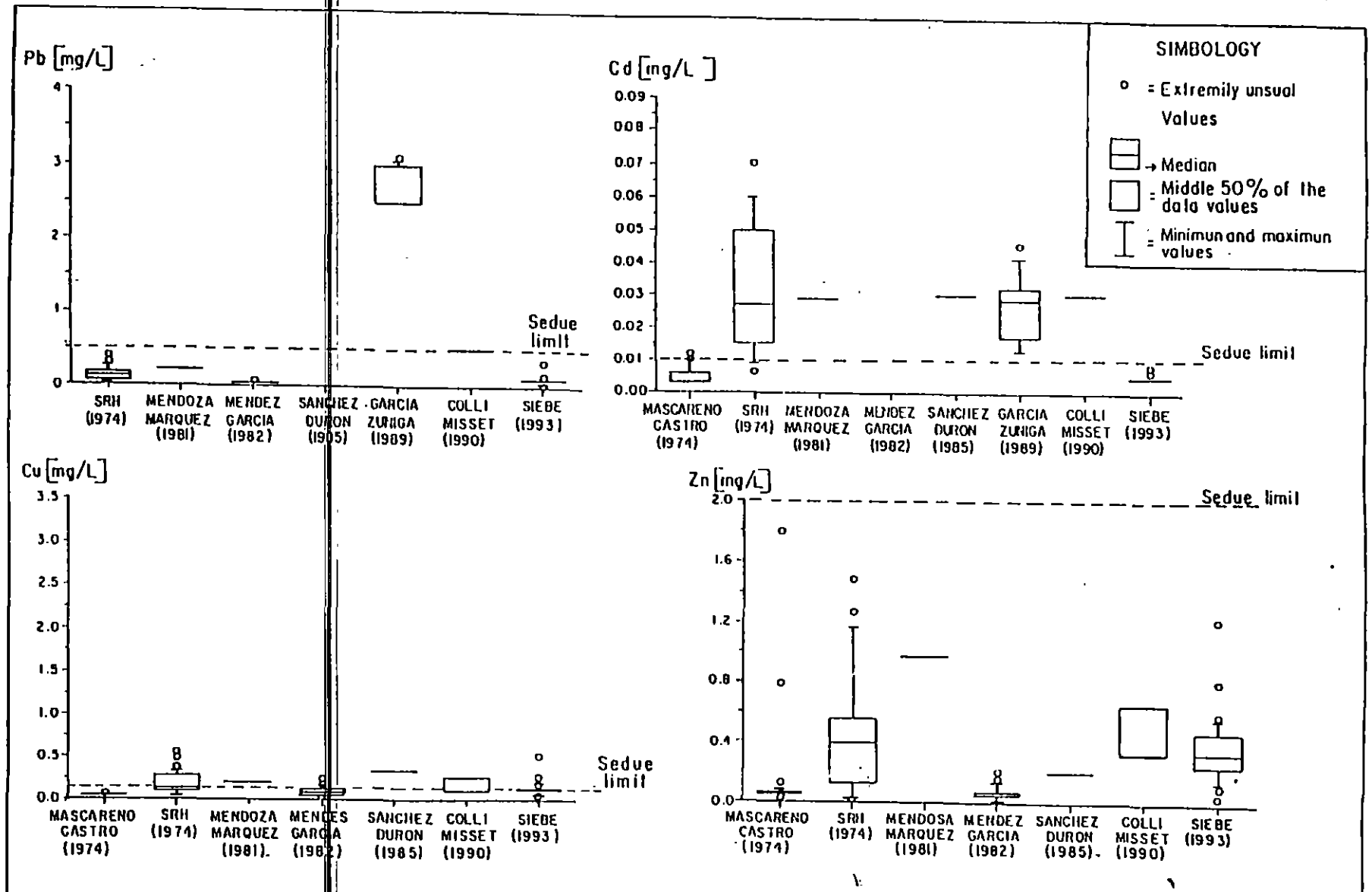


Fig:2 Concentrations of Pb, Cd, Cu and Zn in wastewater used in Irrigation District O3, Mexico, and comparison with Mexican regulation limits (Sedue, 1991)

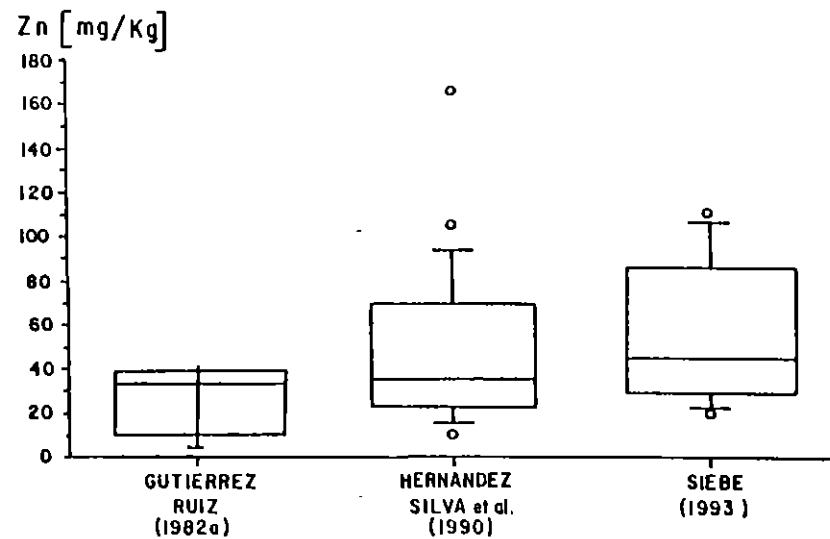
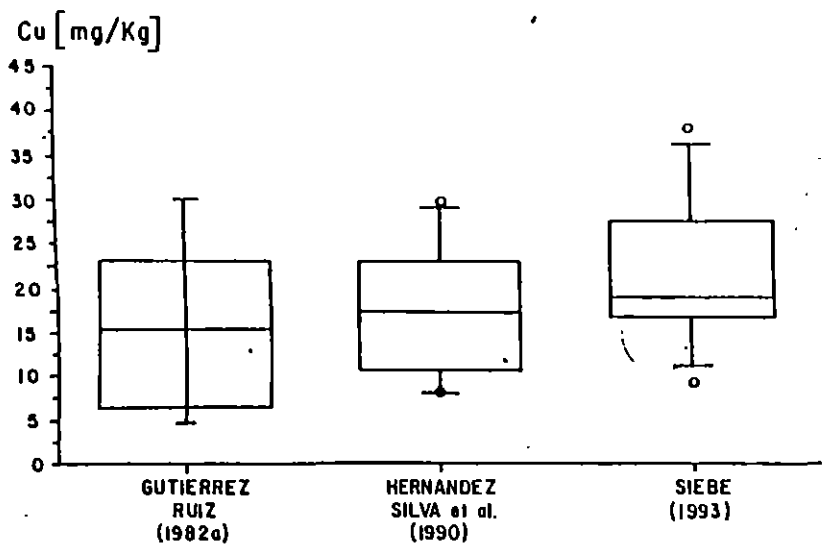
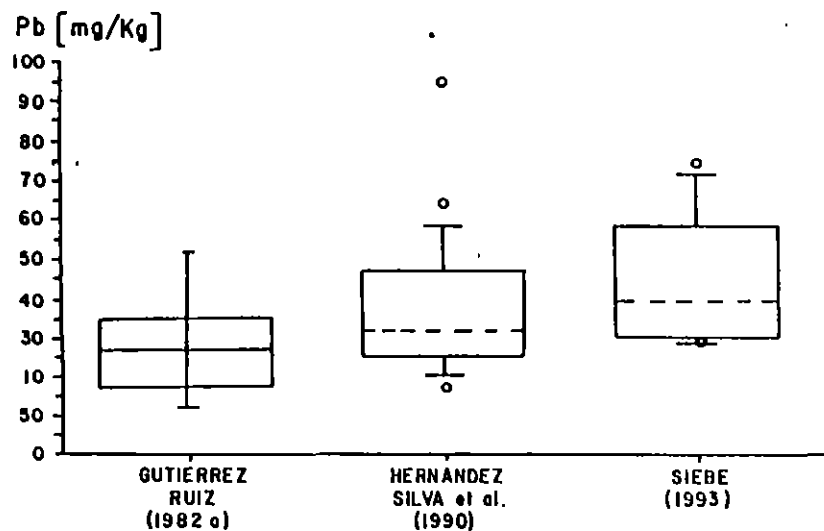


Fig. 4 Concentrations of EDTA-extractable Pb, Cu, and Zn reported by different authors in soils irrigated with wastewater.

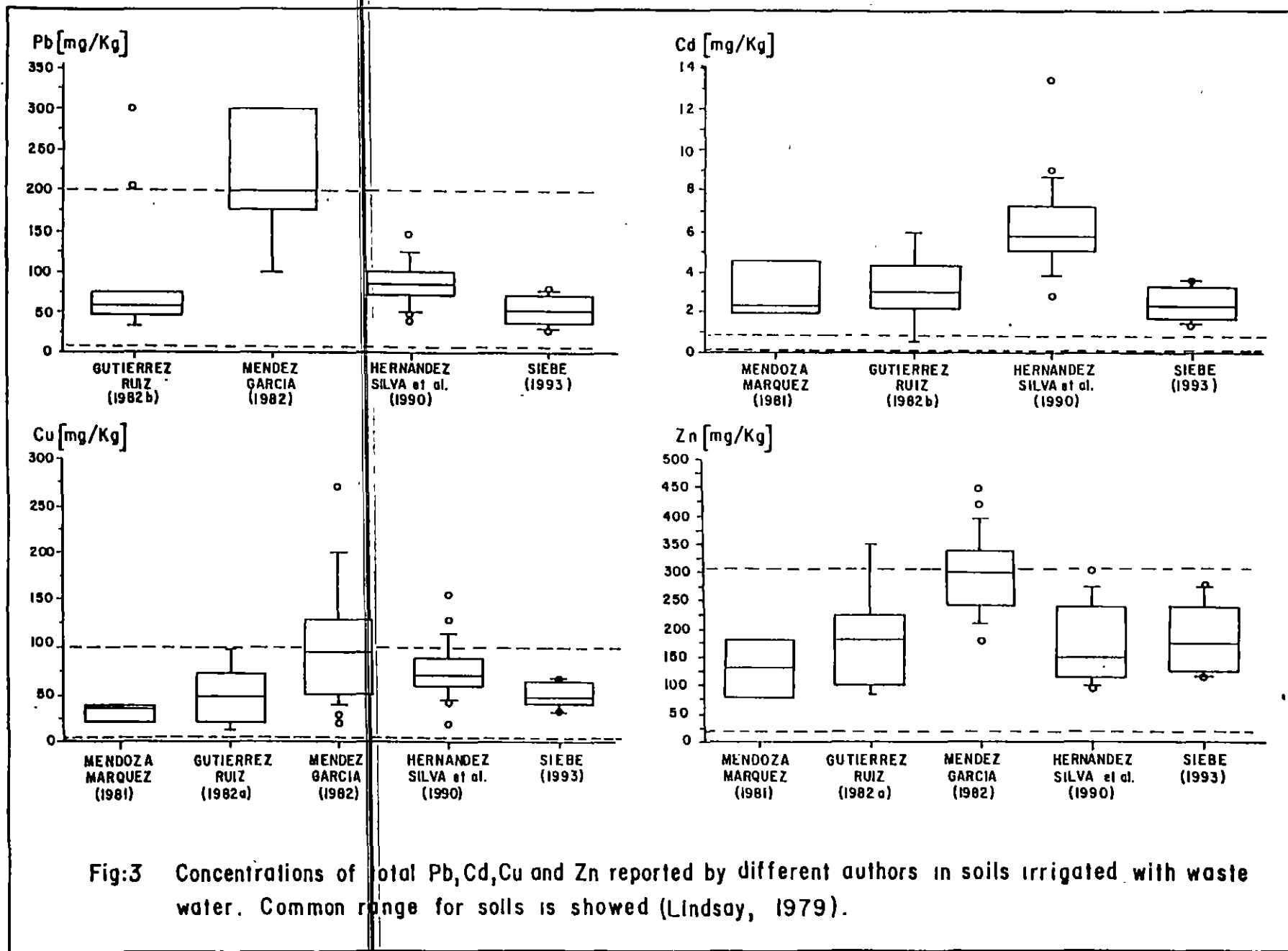


Fig:3 Concentrations of total Pb,Cd,Cu and Zn reported by different authors in soils irrigated with waste water. Common range for soils is showed (Lindsay, 1979).

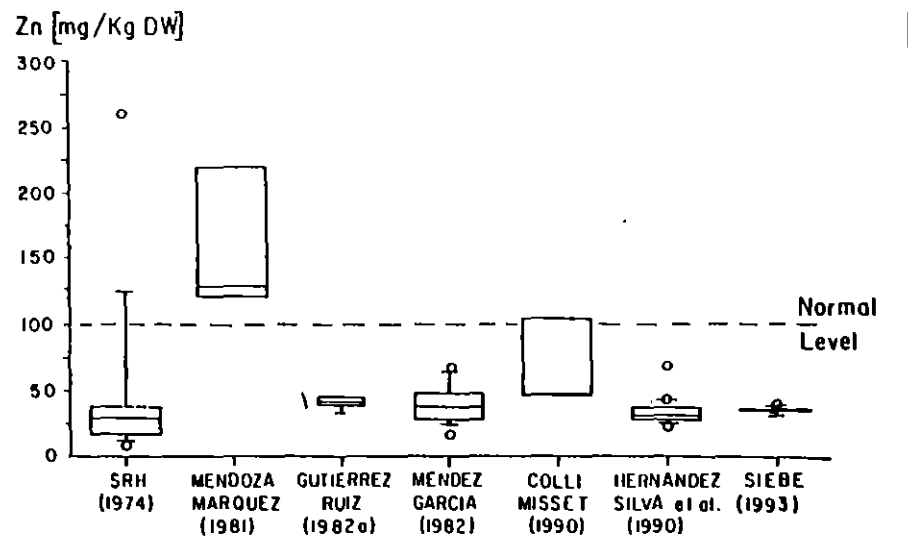
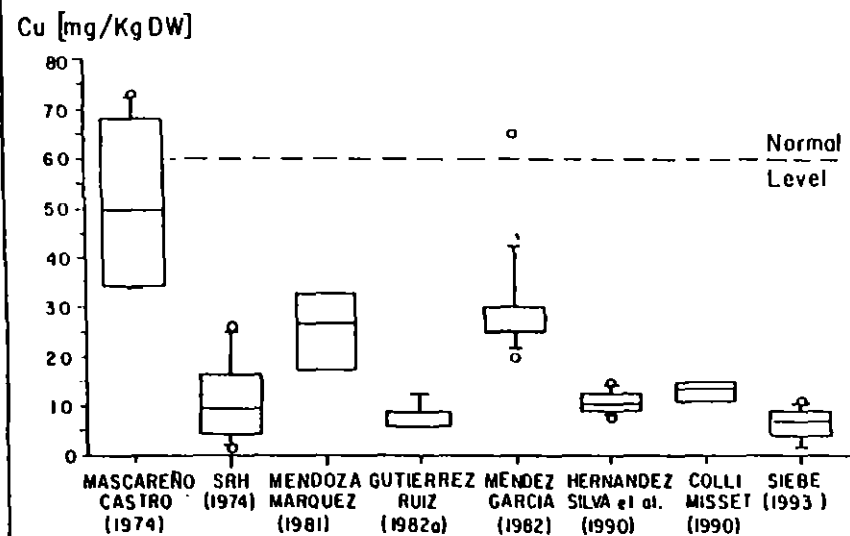
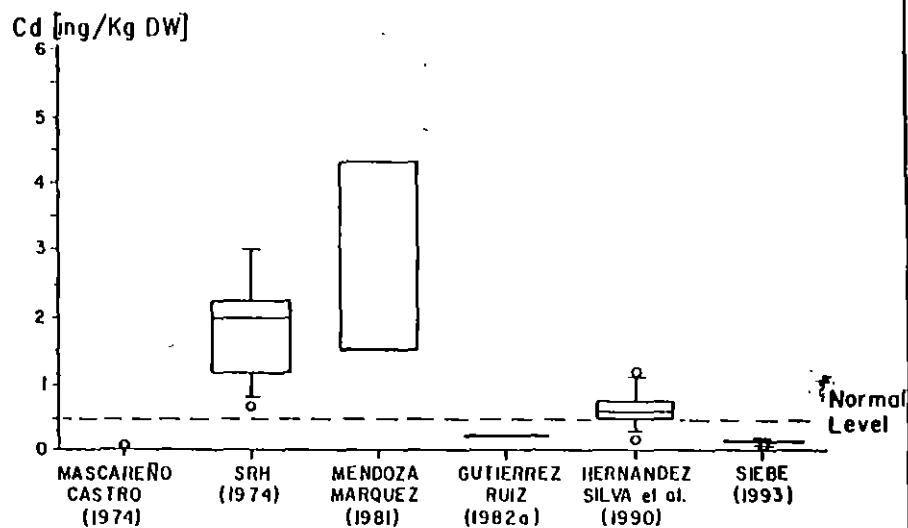
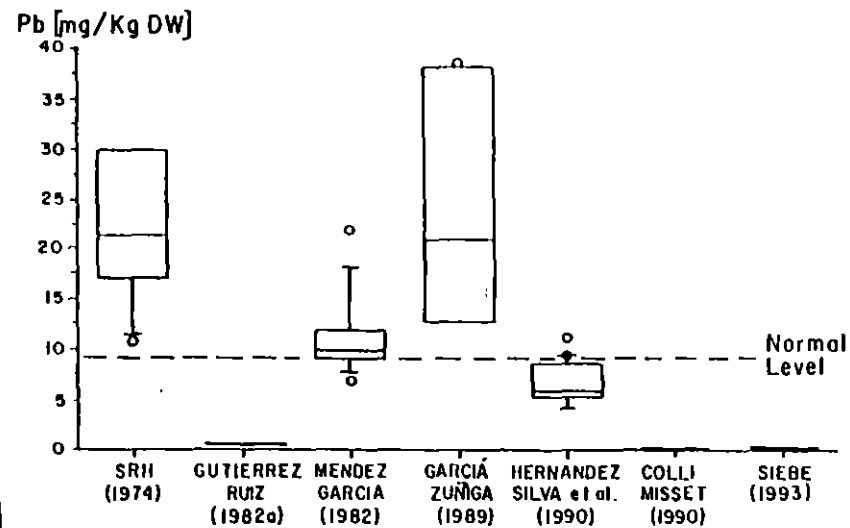
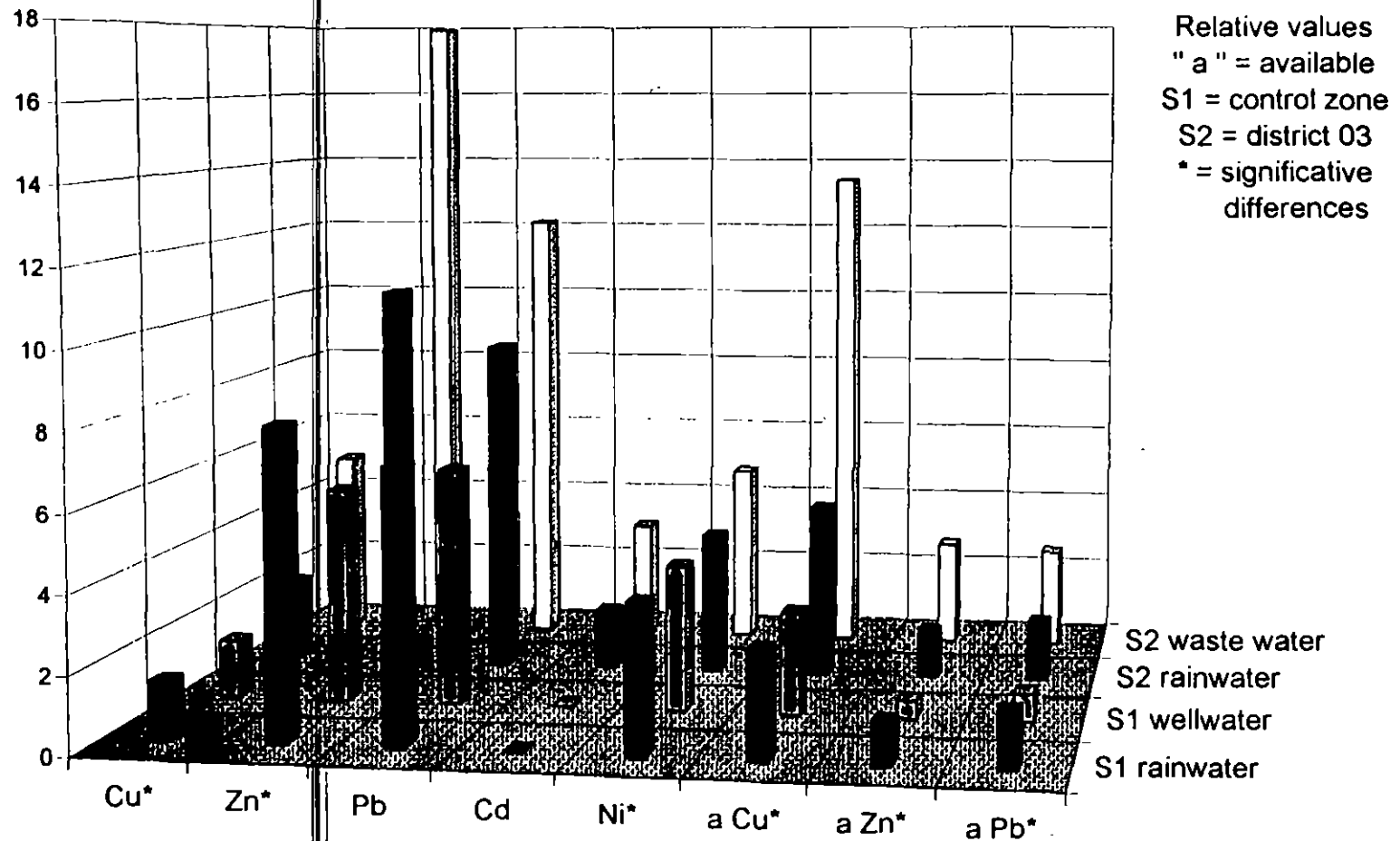


Fig:5 Concentrations of Pb,Cd,Cu and Zn in alfalfa tissue reported by different authors, compared with normal and toxic levels (Siebe,1993).

**Fig. 2 Differences in soils (II)
rain, well and wastewaters.**





**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**DIPLOMADO EN SISTEMAS DE CONTROL DE
RESIDUOS SOLIDOS Y PELIGROSOS**

**MODULO III: PROCESOS DE TRATAMIENTO PARA EL
CONTROL DE RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES Y
PELIGROSOS**

SISTEMAS INTEGRALES DE MANEJO Y DISPOSICION DE DESECHOS

Presentado por : BIOL. MARGARITA GUTIERREZ R.

1996

**SISTEMAS INTEGRALES DE MANEJO Y DISPOSICIÓN DE
DESECHOS**

Margarita Eugenia Gutiérrez Ruiz
LAFQA, Instituto de Geografía, UNAM
tel: (5) 6 22 43 36 y 35

CONTENIDO

1. ANTECEDENTES	4
1.1. generalidades sobre la problemática de la contaminación.....	4
1.1.1 origen de la contaminación.....	4
1.1.2 generación de residuos.....	6
1.1.3 manejo actual de los residuos.....	7
1.2. naturaleza química de los residuos	10
1.2.1 aspectos termodinámicos.....	10
1.2.2 aspectos del enlace químico.....	12
1.2.3 reacciones de hidratación e hidrólisis.....	18
1.2.4 reacciones ácido-base y oxido-reducción	21
1.3. disponibilidad de los contaminantes en el ambiente.....	21
2. ALTERNATIVA DE MANEJO Y DISPOSICIÓN DE RESIDUOS PELIGROSOS	28
2.1 establecimiento de un programa ambiental integral.....	28
2.2 estrategia de manejo y disposición de residuos.....	29
2.2.1 principios fundamentales	29
2.2.2 caracterización y clasificación de los residuos.....	30
moleculares.....	32
redes covalentes y polímeros.....	32
compuestos iónicos	33
metales.....	33
compuestos de coordinación.....	33
2.2.3 estabilización termodinámica	36
2.2.4 tratamientos térmicos (alta temperatura).....	36
pirólisis.....	36
fundamentos teóricos de la pirólisis.....	36
reacciones y parámetros del proceso de pirólisis	37
parámetros que influyen en el rendimiento de la pirólisis	38
tipos de residuos.....	39
tipos de sistemas de pirólisis	39
avances actuales en la aplicación de la pirólisis la	
cogeneración.....	41
incineración.....	45
información básica	46
principales variables para el control de la incineración.....	48
tecnologías aplicables para los sistemas de incineración	49
emisiones de los sistemas de incineración.....	51
ventajas y limitaciones de la incineración.....	53
tratamiento térmico por infrarrojo.....	53
vitricificación.....	54
2.2.5 -tratamientos físicos y químicos.....	54
oxidación con aire húmedo (wet air oxidation).....	54
extracción química.....	54
tratamiento químico in situ	55
lavado de suelos	55
reflujo de los suelos.....	55
declorinación con glicolato.....	55
eliminación térmica a bajas temperaturas.....	55
tratamiento al vacío y extracción por vapor (in situ).....	55
estabilización/solidificación.....	56
óxido reducción química.....	56
APÉNDICE A (LEGISLACIÓN AMBIENTAL DE TRATAMIENTOS TÉRMICOS).....	60
APÉNDICE B. (DEFINICIONES DE LOS CONCEPTOS DE BASURA Y PELIGROSIDAD)	

TRATAMIENTOS FÍSICOS, QUÍMICOS Y TÉRMICOS PARA EL CONTROL DE RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES Y PELIGROSOS

1. antecedentes

1.1. generalidades sobre la problemática de la contaminación

1.1.1 origen de la contaminación

El hombre moderno es la víctima de los instrumentos que más valora. Cada vez que gana poder, cada vez que domina a las fuerzas naturales, cada vez que la ciencia aumenta el acerbo de sus conocimientos, aumentan los riesgos potenciales hacia su propia existencia, porque todos estos logros no han sido acompañados de iguales avances en el entendimiento de sí mismo y del lugar que ocupa en el equilibrio natural, y también del nivel de autodisciplina que requiere.

Lewis Mumford (texto modificado)

Los problemas de la contaminación, así como de la generación, manejo y disposición de residuos peligrosos no es nuevo. **Es más, todo proceso natural que sucede en la tierra impacta el ambiente, inclusive los que son parte esencial de la vida, por ejemplo:**

- B la energía que se recibe del sol es utilizada para llevar a cabo reacciones químicas que producen oxígeno y forman compuestos orgánicos a partir del dióxido de carbono y agua; así como oxida los productos orgánicos en dióxido de carbono, agua y energía. Esa energía ya *gastada* es retomada al espacio como calor (rayos infrarrojos, ondas de mayor longitud de onda y menor energía),
- B El dióxido de carbono producido durante las oxidaciones naturales y el metano producto de la digestión animal retienen los rayos infrarrojos que regresan al espacio, calentando la atmósfera (efecto invernadero),
- B las erupciones de los volcanes envían a la atmósfera grandes cantidades de polvos y gases; que dependiendo de la composición disminuyen o aumentan la temperatura. La lava cubre suelos y destruye la flora y fauna.

Sin embargo, existe en la naturaleza un equilibrio dinámico que mantiene estas fuerzas destructivas en un nivel que no pone en peligro la vida futura (considerando lapsos con *sentido* para el hombre). Es más, en muchas ocasiones esta fuerzas funcionan como instrumentos naturales que determinan la supervivencia de las especies genéticamente más adecuadas dentro de la evolución.

Este maravilloso equilibrio natural está en peligro por las actividades del hombre, el único animal que para sobrevivir ha podido modificar los procesos naturales usando su inteligencia, y compensando de esta manera sus limitaciones físicas en relación con el resto de los animales.

De acuerdo a los últimos informes los orígenes de los antecesores del hombre moderno se remontan aproximadamente a 4 millones de años, pero no hace más de 10 000 años que se tiene noticias de formas de vida similares a las actuales (civilizaciones capaces de dejar rastros de sus formas de vida, arte y organización). Aunque desde sus orígenes el hombre, sus actividades impactaron el ambiente, sus efectos fueron muy poco notorios, pues la población era muy pequeña y las formas de producción se basaban en la caza y recolecta. Con el inicio de la agricultura la magnitud del impacto aumentó, pero definitivamente a partir de la llamada era industrial, -que se inicia en el siglo XVIII,- cuando el problema se recrudece violentamente.

En todo el mundo se han ido sustituyendo más rápida o lentamente las tradicionales formas de supervivencia (recolecta, caza y agricultura) por procesos industriales de alto gasto energético, los cuales permiten producir alimentos y satisfactores en mayores cantidades y en mucho menor tiempo. Como consecuencia de esta abundancia de alimentos y, especialmente, por efecto de las vacunas, la expectativa de vida ha aumentado rápidamente, no solamente para los habitantes de los países que conceptualizaron el capitalismo y la tecnología (base de la industrialización), sino en aquellas regiones que siguen viviendo de la agricultura y/o la caza.

A diferencia de los sistemas más primitivos de producción que se adaptaban a las condiciones locales, la globalización actual de la economía no permite considerar la heterogeneidad del medio natural, sino que aplica procesos tecnológicos para superarla, causando problemas inesperados.

La difusión de medicinas, plaguicidas, fertilizantes y en general todo tipo de productos industriales; no ha ido acompañada de cambios en sistemas más eficaces para que las grandes masas de población accedan a mejores niveles de alimentación y educación, y adquieran una cultura industrial.

Los habitantes de los países desarrollados que conforman sociedades totalmente dependientes de la industria y tecnología, gastan enormes cantidades de energía y recursos naturales. Y, aunque los países pobres son más ahorrativos en esos conceptos, no han logrado ordenar su crecimiento poblacional y el uso de sus recursos, además de que el control ambiental es muy deficiente ya que no miden los riesgos inherentes al manejo de materias primas, productos y residuos utilizados por la industria. Asimismo su cultura original adecuada a su realidad, no los han preparado para manejar sistemas de organización complejos y tampoco para reaccionar dentro de patrones individuales, y de alta autodisciplina y competencia como los que se requiere para participar con éxito en los actuales sistemas de producción.

El aumento de población presiona a una mayor generación de satisfactores, lo que genera más contaminación y una mayor explotación de recursos naturales, en un ciclo ciertamente peligroso, que se representa a continuación en la figura 1:

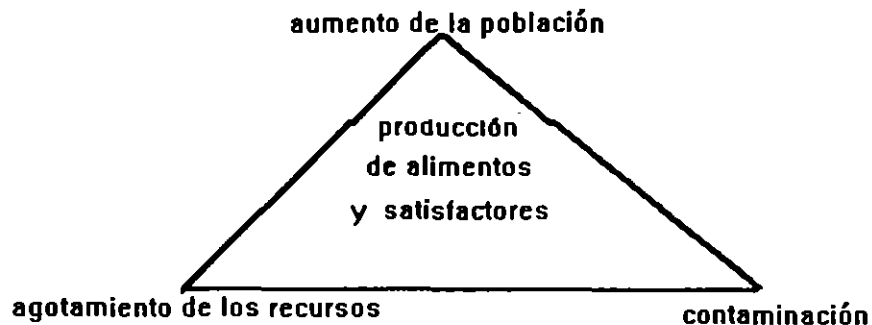


Figura 1. Producción vs afectación al ambiente

1.1.2 generación de residuos

La basura nace con el hombre, es más, ha sido el instrumento más útil para que los especialistas estudien el origen y desarrollo de la especie humana.

La basura no existe en la naturaleza, pues sus procesos son cíclicos y todo residuo de un proceso se convierte en insumo de otro. Estos procesos son muy eficientes, pues involucran reacciones catalíticas de bajo gasto energético

La humanidad es muy joven, sus conocimientos limitados, por lo que ha logrado alterar los ciclos naturales a su favor, pero no los ha logrado imitar con la misma eficiencia y eficacia.

Los procesos antrópicos requieren de muy alto gasto de energía y agua. Se han conceptualizados en forma lineal, por lo que generan una gran cantidad de subproductos sin valor .

LA ALTERACIÓN DE LOS CICLOS NATURALES (CAMBIOS EN LAS CANTIDADES O CALIDADES DE LA MATERIA O DE LA ENERGÍA), QUE REDUCE LA CAPACIDAD DE NUESTRO PLANETA TIERRA PARA SOSTENER LA VIDA, CONFORMA EL FENÓMENO DE LA CONTAMINACIÓN.

Mientras la cantidad generada de residuos no era muy grande y por sus características químicas podían biodegradarse, la propia naturaleza los integraba a sus ciclos, pero cuando el modelo de desarrollo industrial se generalizó, la cantidad y calidad de los residuos cambio, y fue cuando se empezaron a presentar problemas.

Debido a la baja disponibilidad en el medio natural de los componentes presentes en los residuos en formas sólidas y la circunscripción de las zonas afectadas, al principio se dio más importancia a la contaminación del aire y del agua, ya que afectan más directamente a la especie humana y al resto de la biota. También influyó el hecho de que aun cuando se disponían en cualquier sitio, generalmente éstos quedaban fuera de la vista del público.

Estas basuras que se arrojaban sin control, -y todavía se hace en muchos sitios-, en cualquier sitio disponible, especialmente en suelos donde el daño es casi irreversible y en cuerpos de agua, han sido ocasionalmente causa de graves problemas. Especialmente, en aquellos casos donde los contaminantes migraron a aguas profundas o se utilizó el sitio para desarrollos urbanos, los daños sobre la población fueron difundidas por los medios de comunicación favoreciendo que se adquiriera mayor conciencia sobre la magnitud del problema. Cabe señalar que todas las técnicas que controlan las emisiones a la atmósfera y la contaminación del agua, generan residuos peligrosos.

1.1.3 manejo actual de los residuos

Las comunidades de varios países han presionado a los gobiernos a resolver el problema, por lo que en un principio se buscó amortiguar los daños en el menor plazo posible, sin considerar que era necesario llevar a cabo estudios interdisciplinarios específicos para cada industria generadora, o al menos por sector. Esta omisión evitó contar con la información necesaria para establecer soluciones eficientes desde un punto de vista técnico y que consideraran el entorno y la población. En cambio se aceleraron el establecimiento de normas generales y el desarrollo de sistemas de disposición, que rápidamente permitieran a los industriales "deshacerse" de los residuos peligrosos sin tener que efectuar cambios de fondo en los procesos.

El establecimiento de soluciones de carácter general ha presentado diversos problemas. En primer término, es difícil establecer los criterios básicos para definir cuando un desecho se debe considerar peligroso, pues no solamente depende de sus características físicas, químicas y biológicas, sino también de las condiciones ambientales específicas a las que se le sujeta; de igual manera como la toxicidad de las sustancias en los organismos vivos está relacionada con su naturaleza física y química, pero también depende de la dosis y de las características propias al individuo (cualquier sustancia es tóxica si se ingiere en tales cantidades que se altere el funcionamiento de un cierto organismo). También se han presentado problemas en aspectos técnicos pues como se comenta más ampliamente en los siguientes párrafos, los residuos no se logran destruir sino únicamente se transforman, por lo que los sistemas de control basados en el aislamiento o destrucción de los residuos no han sido muy exitosos¹.

¹ La cantidad de materia es la misma desde el principio del universo, que resultó de un exceso de materia sobre la antimateria. La materia = energía ($E=mc^2$) no se crea ni se destruye sólo se transforma. Cuando el Universo se enfrió, después de millones de años, las partículas subatómicas empezaron a formar átomos de elementos muy ligeros, los cuales con el tiempo se condensaron formando los elementos más

Sin embargo esta visión de controlar los residuos con base en legislaciones y soluciones generales ha sido aceptada ampliamente por la industria y gobierno debido a que a las empresas les conviene definir sus compromisos ambientales con las autoridades en la forma más rápida posible, -"pues las decisiones de inversión tienen un horizonte de planeación muy largo y requieren certidumbre en el entorno legal". Recientemente, con la apertura económica y la globalización de la economía, en los países en vías de desarrollo se ha aumentado la presión sobre los diferentes sectores industriales para que se establezcan normas generales y se dispongan adecuadamente sus residuos. La comunidad exige de los generadores soluciones rápidas, lo que favorece la demanda de confinamientos controlados, rellenos sanitarios e incineradores, que son las técnicas más antiguas establecidas en los países desarrollados para aislar o destruir los residuos; y por lo tanto las más conocidas en los países en vías de desarrollo.

El término *residuo peligroso* legalmente designa un residuo sólido o una combinación de residuos, los cuales debido a su cantidad, concentración, sus características físicas, químicas o infecciosas pueden: a) causar o contribuir significativamente a incrementar la mortalidad o las enfermedades serias, irreversibles o que produzcan disfuncionalidades; b) poseer un peligro substancial o potencial para la salud humana o el ambiente cuando son tratados, almacenados, transportados o dispuestos inadecuadamente" ².

Las características físicas, químicas y biológicas que distinguen a un residuo peligroso de acuerdo a las normas de muchos países, por ejemplo la de México, se designan con el acrónimo CRETIB. La C proviene del término corrosividad que se refiere a aquellos residuos que presentan valores de acidez o basicidad extremas o que corroen al acero de cierta calidad. La R corresponde a reactividad y se identifica observando si el residuo reacciona con aire, agua y ácidos, bajo ciertas condiciones de presión y calor. La E se relaciona con la explosividad, ya que la norma separa en un rango diferente a aquellos desechos que reaccionan en forma explosiva o detonante a 25 °C y 1 atm. de presión. La T se relaciona con la toxicidad que se determina analizando en extractos acuosos y orgánicos la presencia de una serie de sustancias muy comunes en la industria que causan daño a los humanos o animales; la concentración permitida es igual o menor a un valor límite que se fija en función de la dosis letal (concentración que produce la muerte bajo ciertas condiciones, al 50% de la población evaluada). La I de inflamabilidad se refiere a los desechos que pueden causar incendios por ser sustancias con alta energía interna que son volátiles o se oxidan, hidrolizan, etc. y, finalmente, la característica biológica- infecciosa (B) se refiere a la presencia de bacterias, virus o cualquier microorganismo capaces de generar infecciones y/o toxinas que dañen al hombre.

Una de las limitaciones prácticas de estos criterios normativos que se pensaron para las condiciones de países que cuentan con el personal, capital e infraestructura, es que en países en vías de desarrollo muchos residuos están causando graves daños y esta legislación no los considera peligrosos. En algunos casos el peligro está relacionado con las grandes cantidades generadas y/o su pésima disposición. Por ejemplo, los residuos de ingenios, fábricas de jabón, beneficios de café, granjas porcícolas, cuencas lecheras, así como los lodos residuales de plantas de tratamiento han afectado a suelos, cuerpos de agua, y la calidad de vida de la población.

pesados que hoy conocemos. Hace unos 4 600 millones de años se formó el sistema solar al que pertenece la tierra. El sol abastece a la tierra de energía a través de reacciones de fusión nuclear. En sus inicios el planeta estuvo conformado por una masa esférica de rocas y metales fundidos. Con el tiempo el planeta se enfrió, enviando mucho calor al espacio. Los metales fundidos más pesados se concentraron en el centro, y el resto de las sustancias, de acuerdo a su densidad se fueron ubicando en diferentes profundidades, quedando los más ligeros en la superficie. Las especies que se concentraron en la superficie de la tierra y por su naturaleza química formaron gases o se disolvieron en el agua conformaron los materiales reactivos de la vida: polímeros bioinorgánicos desarrollaron sistemas cíclicos para utilizar la energía del sol reproducirse y conservar información genética, formando una isla de entropía negativa en el universo.

² Esta definición que está muy difundida se basa en la legislación de EEUUA.

Existen otros problemas, como el hecho de que la solución extractora está elaborada con ácido acético que disuelve sustancias normalmente insolubles en la naturaleza como sulfuros o carbonatos; que en la lista de metales tóxicos no se encuentran mencionados el manganeso, cobre, zinc y otros muchos elementos que son esenciales en bajas concentraciones pero tóxicos en altas. Tampoco se considera otras características que afectan la peligrosidad como los volúmenes generados y el tamaño del generador, por lo que se clasifican de una manera análoga las colas de minas o terreros; o los residuos de una pequeña planta metalúrgica. Además, no existen parámetros definidos que permitan medir el peligro biológico objetivamente.

Al evaluar las experiencias de países industrializados, sobre las tecnologías de aislamiento y destrucción de residuos, se concluye que pesar de su aparente éxito no conforman soluciones permanentes. A través del tiempo y relacionado con cambios geomorfológicos, clima e intemperismo ya sea físico o químico (reacciones de hidratación, hidrólisis y oxido-reducción y coordinación), los elementos y compuestos tóxicos originales o los productos derivados de éstos se están disponibilizando. Es posible que la influencia de las experiencias tradicionales más el tipo de formación profesional de los especialistas que históricamente se han encargado de estos problemas, hayan sido los factores determinantes para que los fundamentos de estas primeras tecnologías no consideraran la limitación básica de que materia no se crea ni se destruye, sino se transforma. Es más, todavía se siguen investigando y comercializando métodos de aislamiento que son más seguros, por ejemplo el uso de minas de sal o las inyecciones a zonas del subsuelo muy profundas. No obstante, el alto costo de estas técnicas constituyen su principal limitación; y este mismo factor ha favorecido el manejo ilegal de los residuos que se exportan para depositarlos en países con menor control ambiental.

A continuación se analizan algunas de las limitaciones de las técnicas de disposición mencionadas:

- * los **rellenos sanitarios** que se aplica básicamente a basuras domésticas y a ciertos residuos industriales, requieren de grandes extensiones de terrenos que se inutilizan para otros fines. Su manejo requiere de una administración muy compleja y cabe mencionar que los países en vías de desarrollo carecen de tradición en este renglón (como es el caso de México). Cuando falla el control del proceso se generan diversos problemas, entre ellos olores desagradables, dispersión de contaminantes y enfermedades, presencia de fauna nociva y lixiviaciones que pueden contaminar cuerpos de agua y suelos. Su costo gravita principalmente sobre los impuestos de la comunidad y su funcionamiento se puede ver afectado por las disminuciones presupuestales de los municipios,
- * los **confinamientos de residuos peligrosos**, requieren de terrenos características geográficas específicas, por lo que muchas veces es imposible localizar sitios adecuados, especialmente en zonas cálidas, sísmicas y con asentamientos humanos. Los sitios de confinamiento representan zonas factibles de sabotear, ya sea en países con problemas internos o durante conflagraciones internacionales. Cualquier error de manejo puede producir contaminaciones -generalmente permanentes- en suelos y cuerpos de agua, con costos muy altos para restaurar el ambiente. Accidentes antrópicos o naturales como son los sismos pueden cambiar las condiciones geográficas iniciales, aumentando los riesgos para el ambiente y población. En países con climas cálidos y húmedos la eficacia de las técnicas de aislamiento disminuye respecto a la obtenida en países con climas templados; y las compañías responsables de la administración de los confinamientos únicamente se comprometen a manejarlos por un lapso determinado, heredando el problema de mantenimiento a las futuras generaciones
- * la **incineración**, que es una técnica basada en la oxidación de los materiales a altas temperaturas, tiene gran aceptación dentro del sector industrial, sin embargo y a pesar de que el sistema este equipado con todo tipo de filtros libera compuestos tóxicos a la atmósfera. Estas sustancias en cantidades vestigiales (muchas veces en partes por trillón que son concentración por abajo de las normas internacionales y muy difíciles de detectar), por su permanencia en el ambiente se bioacumulan en los organismos,

afectando su funcionamiento. Esta técnica presenta otros problemas, entre ellos que las cenizas producto de la incineración conforman a su vez un residuo peligroso. Asimismo, una buena combustión requiere de un estricto control de las condiciones de operación; el transporte de los materiales debe realizarse con medidas estrictas de seguridad, el costo de su manejo gravita sobre la comunidad, y el funcionamiento está sujeto a la cantidad y valor calorífico de los desechos, por lo que cualquier variación de estos conceptos afecta el costo de funcionamiento del incinerador pudiendo llegar a ser un proceso no viable desde un punto de vista económico cuando hay cambios importantes en las tecnologías industriales o en el número de plantas generadoras o simplemente se instrumentan programas de reducción y minimización de desechos.

1.2. naturaleza química de los residuos

1.2.1 aspectos termodinámicos

La naturaleza química permite comprender la reactividad de un compuesto, plantear hipótesis sobre su destino y disponibilidad, escoger tecnologías; ya que sus enlaces determinan su solubilidad, reactividad y toxicidad. Esta puede ser analizada cuantitativamente a través de valores termodinámicos, y cualitativamente con base en las características de los enlaces que unen a los elementos.

Una reacción se lleva a cabo, cuando es capaz de realizar trabajo. Las variación de la función trabajo de una reacción se define como

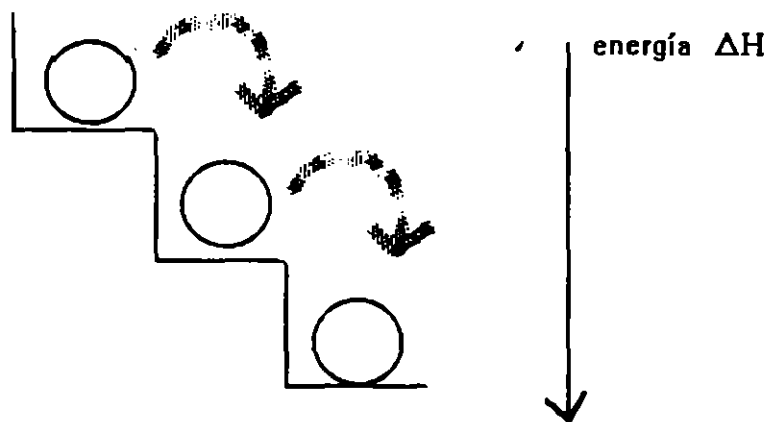
$$G = G_{\text{productos}} - G_{\text{reactivos}} = H - TS$$

Su signo indica en un sistema cerrado y a presión y temperatura constante, si la reacción es espontánea. Un valor negativo indica que la reacción es espontánea. Entre menor es la energía interna más estable es el compuesto. El menor valor de G indica que el sistema ya no va a reaccionar. Cuando el valor de G es cero el sistema está en equilibrio y si es positivo la reacción se realiza en dirección opuesta a la que se indica.

El símbolo H indica el cambio en energía interna cuando la presión es constante (como sucede generalmente en la superficie de la tierra). El símbolo S significa el cambio en entropía. La espontaneidad está relacionada a la disminución de H (formación de mejores o más enlaces) o al aumento de S (mayor número de estados energéticos o desorden molecular).

En la siguiente figura se ejemplifica un proceso cotidiano de naturaleza espontánea: una pelota tiende a bajar escalones hasta encontrar su punto de reposo, nunca va a subir (pasa a un estado de menor energía potencial).

Figura 2. Disminución de energía en un proceso espontáneo



Si H disminuye durante una reacción se debe a que los enlaces resultantes son más estables o aumentaron en número, por ejemplo la formación de óxidos de aluminio a partir de aluminio metálico y oxígeno atmosférico. En cambio una sustancia que guarda energía en sus enlaces aumenta su energía interna (+H), por ejemplo la síntesis de alcoholes, azúcares, etc.

Si H disminuye y S aumenta la reacción siempre es espontánea, mientras que el caso opuesto indicaría que es una reacción que nunca se lleva a cabo (ver cuadro 1).

Cuadro 1. Relación de los signos de las funciones termodinámicas con la espontaneidad de las reacciones

H	S	G	influencia de la temperatura	ejemplos
-	+	-	reacción espontánea a cualquier temperatura	formación de CO ₂ a partir de material orgánico
-	-	+	espontánea a bajas temperaturas	formación de cristales a partir de iones solubles
+	+	-	espontánea a altas temperaturas	disolución de sales poco solubles
+	-	+	No espontánea a cualquier temperatura	formación de Ca ₃ N ₂

La energía de Gibbs en una solución se relaciona directamente con la constante de equilibrio. En condiciones estándar: 1M, 25°C, 1atm

$$G^{\circ} = -RT \ln K^{\circ eq}$$

Cuando participan iones H^+ en una reacción, se modifican las condiciones estándar para las cuales está definida G° . A continuación se expresa la función G° la cual considera la variación del pH:

$$G^\circ = G^\circ - 2.3 RTpH$$

Cuando se trata de reacciones de oxido-reducción se relaciona al potencial de celda

$$G^\circ = -nFE^\circ$$

n = número de electrones transferidos por mol del reductor al oxidante

F = carga de un mol de electrones = 96487 C/mol-

E° = diferencia entre los potenciales estándar de reducción y oxidación

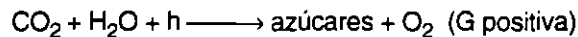
Cuando se analiza que de acuerdo a los valores de entalpía y entropía toda la materia orgánica de la biota, se concluye que debería estar ya oxidada o se observa que la síntesis de sustancias orgánicas nunca podría realizarse. Esta aparente contradicción entre la experiencia y los fundamentos termodinámicos antes expresado, se debe a:

Las reacciones espontáneas pueden ser muy lentas, prácticamente no se llevan a cabo (factor cinético), como es el caso de la oxidación de la materia orgánica.

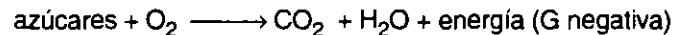
La tierra recibe energía (trabajo) del sol que se utiliza para reacciones con G positivas como la síntesis de los azúcares.

Un típico ejemplo de una reacción que guarda energía, endotérmica ($G_{positiva}$) es la fotosíntesis, mientras que la respiración conforma el ejemplo de otro proceso que libera energía y es espontáneo, reacción exotérmica ($G_{negativa}$). Las dos juntas forman un ciclo cerrado.

fotosíntesis: reacción endotérmica, no espontánea que se realiza utilizando energía solar



respiración: (reacción exotérmica, espontánea que libera energía)



1.2.2 aspectos del enlace químico

En un sistema cuantificado es posible aplicar cálculos y predecir valores. No obstante, en la práctica uno se encuentra que en la mayoría de los casos no se cuenta con datos cuantitativos, por lo que, -aparte de considerar los parámetros termodinámicos-, es necesario utilizar el criterio químico. El análisis de la naturaleza de los enlaces químicos permite trabajar con sistemas no cuantificados, predecir comportamientos y proponer estrategias de manejo.

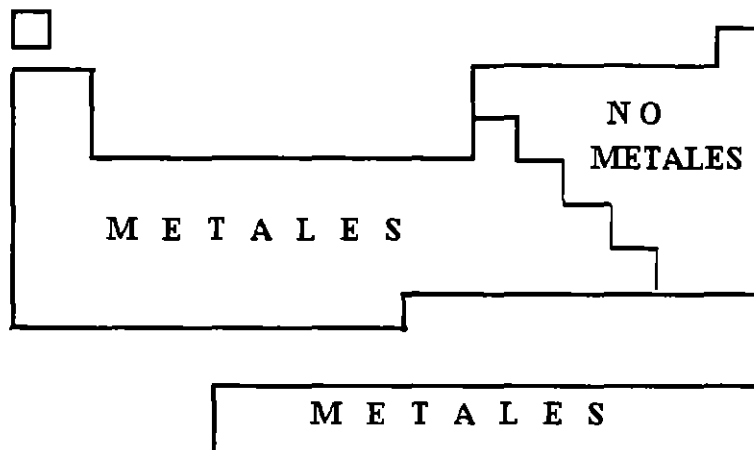
Las características de los elementos puros permiten definir el tipo de enlace y este a su vez indica propiedades físicas y químicas. A continuación se presenta un breve síntesis de enlace químico.

Los elementos fueron ordenados en una tabla denominada periódica, en función de su peso atómico (actualmente en función de su número atómico). La reactividad de los elementos depende del número de protones y de la carga que ejerce el núcleo sobre los electrones más externos. La carga del núcleo tomando en cuenta el efecto pantalla de los electrones internos se conoce como :CARGA NUCLEAR EFECTIVA

A mayor carga nuclear efectiva mayor energía de ionización (más tendencia a atraer electrones) y menor carácter metálico. A mayor tamaño menor energía de ionización (a perder electrones) y mayor carácter metálico. La mayor parte de los elementos son metálicos y la frontera resulta una

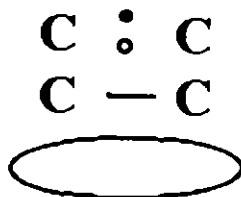
diagonal ya que la tendencia metálica crece de derecha a izquierda y de arriba hacia abajo, como se indica en la siguiente figura.

Figura 3. Elementos metálicos y no metálicos



Los elementos no metálicos tienden a retener sus electrones. Cuando se unen entre sí forman enlaces covalentes (figura 4).

Figura 4. Ejemplo de enlace covalente (no metal + no metal)

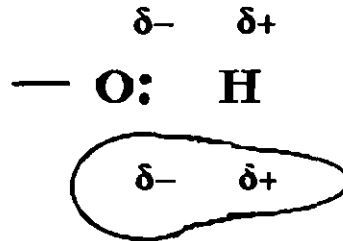


Algunos elementos no metálicos forman moléculas, o sea entidades físicamente separadas que presentan las propiedades del compuesto. Mientras que otros elementos forman cadenas infinitas.

Las moléculas tienen diferentes tamaños, desde dos átomos como por ejemplo el oxígeno O_2 , hasta más átomos, como es el caso del azufre rómbico S_8 o el DNA que es una biomolécula gigante.

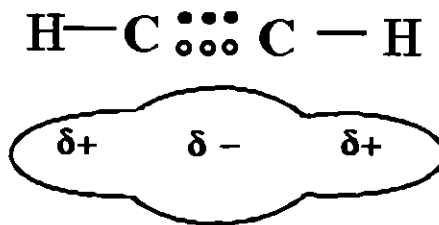
Cuando uno de los átomos no metálicos tiene mayor tendencia a quedarse con los electrones (mayor electronegatividad) que el otro y la molécula no es simétrica, se forma un dipolo permanente y el enlace se conoce como covalente polar (ver figura 5).

Figura 5. Ejemplo de un dipolo permanente



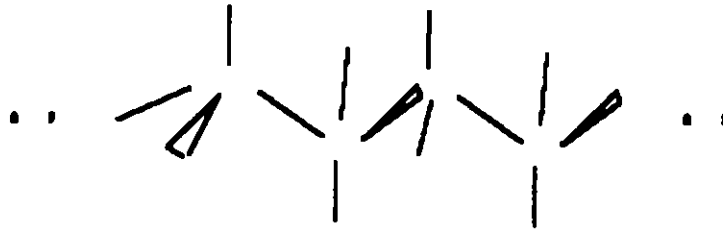
En enlaces con iguales electronegatividades no se esperaría la formación de dipolos, sin embargo, por efecto de cargas externas como iones u otros dipolos, se forman dipolos inducidos. Inclusive cuando no hay agentes que induzcan la polarización, las moléculas voluminosas y en movimiento (energías de translación, rotacional y vibracional altas) forman dipolos instantáneos.

Figura 6. Ejemplo de un hidrocarburo polar (acetileno)



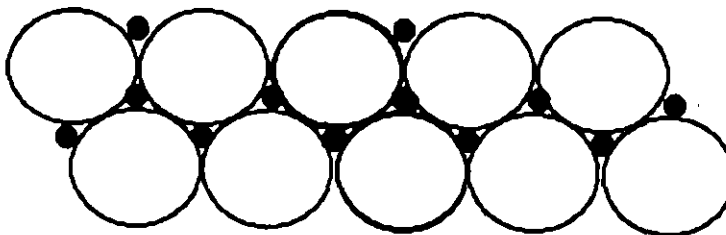
Elementos de la frontera entre metales y no metales, como carbono y silicio tienden a formar redes. Por ejemplo, el diamante o la sílice son redes covalentes en que no se forma propiamente una molécula sino un cristal o vidrio. Los enlaces son unidireccionales y no presentan polaridad (figura 7).

Figura 7. Red covalente de tetraedros (tipo sílice)



Cuando un átomo de metal se une a otro átomo de metal se forma una mezcla, solución o un compuesto en cuyos enlaces los electrones están relativamente libres y pueden ocupar diferentes orbitales (niveles de energía). Los compuestos metálicos (ver figura 8), conducen el calor y la electricidad. Si se aplican fuerzas los planos se deslizan (maleabilidad) y se estiran (ductilidad).

Figura 8. Representación de un enlace metálico



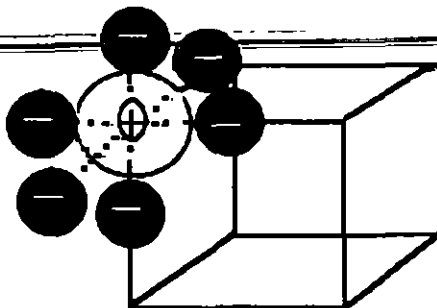
En la naturaleza solamente existen algunos metales en su forma elemental como es el caso del oro o la plata. La mayoría tienden a reaccionar con no metales (por ejemplo oxígeno, azufre, etc.), formando sustancias iónicas.

metal + no metal = enlace iónico

en los compuestos iónicos, los metales pierden sus electrones adquiriendo cargas positivas y los no metales los reciben con lo cual se cargan negativamente.

El modelo considera fuerzas electrostáticas omnidireccionales, en que cada cation se rodea del máximo de aniones y viceversa, formando redes sólidas infinitas, frágiles, no conductoras y que algunas de ellas se disuelven. El valor de carga máxima para un ion es de $3+$ ó $3-$.

Figura 9. Representación de la celda unitaria de un cristal de cloruro de sodio.



en el cristal de NaCl cada sodio está rodeado de 6 cloros y cada cloro de 6 sodios. La celda es cúbica

Los compuestos pueden presentar características intermedias entre estos tipos de enlace, por lo que conviene visualizar un triángulo en el que cada tipo de enlace se ubica en una arista. De acuerdo a sus características, se ubica el compuesto en el área que representa al tipo de enlace que domina (Figura 10).

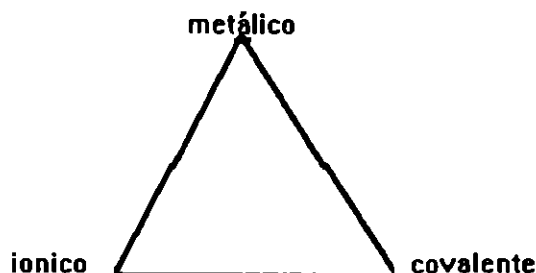


Figura 10. Triángulo representando los tres modelos de enlace

Por ejemplo, el grafito aunque es un enlace covalente se ubica en la arista entre este enlace y el metálico. Los electrones p libres se deslocalizan en un enlace covalente llamado tipo π , que lo hace parecido a los compuestos metálicos (semiconductor, color negro y brilla).

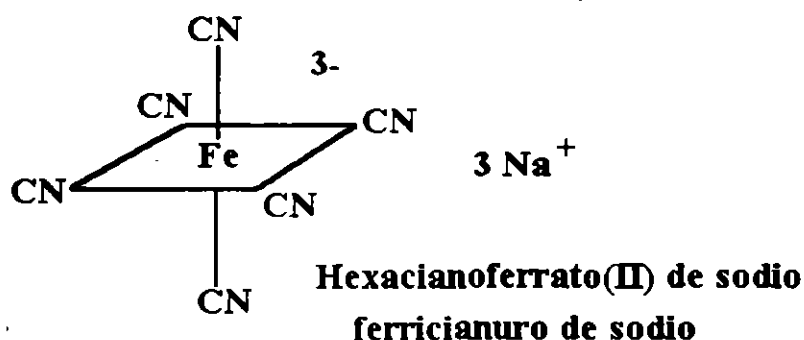
Un enlace covalente cuando forma dipolos adquiere ciertas características iónicas, como es el caso del HF (flúoruro de hidrógeno), por lo que en agua pierde protones y se vuelve ácido (ácido fluorhídrico).

El modelo iónico plantea que los iones se comportan como cargas puntuales (bolas de billar cargadas), pero en realidad son nubes que pueden distorsionarse. Cuando esto sucede el enlace ya no es omnidireccional sino empieza a presentarse un poco de enlaces en que se superponen electrones (tipo covalente). Por ejemplo, un carbonato de mercurio cuyo punto de descomposición es mucho menor que el carbonato de calcio..

enlace de coordinación:

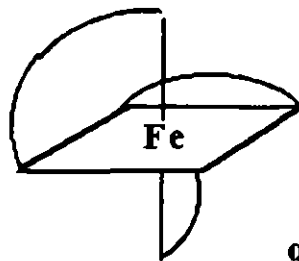
Los metales de transición que tienen orbitales tipo d de baja energía. Los orbitales d pueden recibir pares de electrones. Los compuestos formados mediante los orbitales de baja energía se denominan compuestos de coordinación (popularmente se denominan complejos) y conviene manejarlos en forma independiente a los tres grupos ya señalados (figura 11).

Figura 11. Ejemplo de un compuesto de coordinación



Cuando el donador de electrones tiene varios puntos de enlace de coordinación forma quelatos

Figura 12. Ejemplo de un quelato



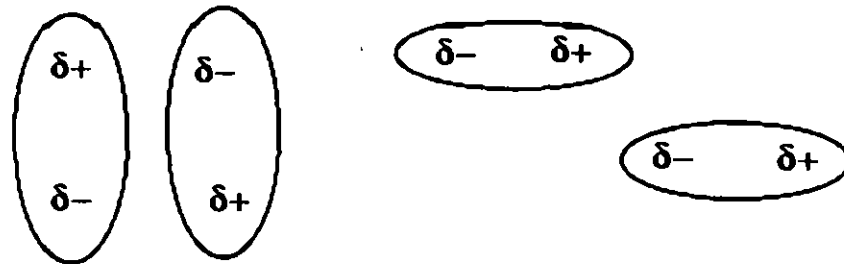
quelato tipo
EDTA

En las macromoléculas como el DNA o los ácidos húmicos se presentan varios tipos de enlace.

Las moléculas unidas por enlaces covalentes interaccionan entre sí, a través de enlaces más débiles dipolares; o con iones. Entre dipolos permanentes (debidos a diferencias de electronegatividad entre los átomos unidos) se forman enlaces importantes, entre ellos el puente de hidrógeno. Estos enlaces afectan las propiedades de una molécula, por ejemplo comparemos el comportamiento del H_2O , que presenta puente de hidrógeno con las propiedades del H_2S que no forma dipolos permanentes (figura 13).

- ambas son moléculas no simétricas y los elementos que las componen son de la misma familia química (familia VI representativos).
- la diferencia de electronegatividad entre oxígeno e hidrógeno es muy importante por lo que forma un dipolo permanente; mientras que entre azufre e hidrógeno la diferencia es menor y no forma un dipolo,
- el agua es líquida a temperatura ambiente. Cuando se solidifica el agua sólida es menos densa que el agua líquida (flota). Presenta una alta capacidad calorífica y disuelve los compuestos iónicos. Es neutra y es uno de los componentes necesarios para la vida.
- El sulfuro de hidrógeno es gas, presenta un comportamiento ácido en agua, no disuelve sustancias iónicas, ni conserva el calor. Es muy tóxico.

Figura 13. Ejemplo de enlaces entre dipolos (puente de hidrógeno)



Las interacciones entre dipolos inducidos o instantáneos son muy débiles, pero afectan el comportamiento de los compuestos. El estado físico de las moléculas no polares depende de estas fuerzas (desvían su comportamiento de la idealidad). Se conocen como fuerzas de van der Waals o fuerzas de dispersión de London. A continuación se presenta un cuadro donde se comparan las diferentes magnitudes de las fuerzas de enlace.

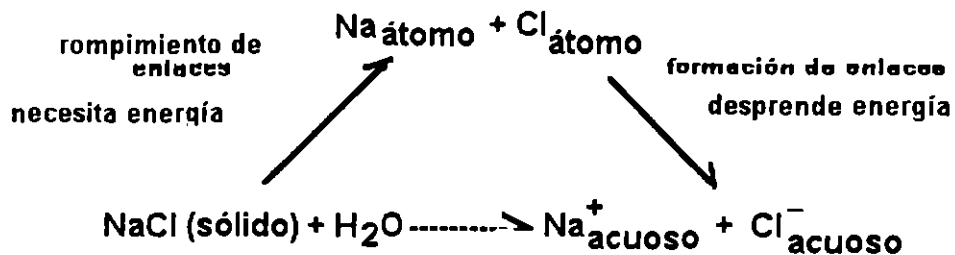
Cuadro 2. Resumen de la magnitud relativa de las diferentes interacciones químicas

INTERACCIÓN	ENLACE	FUERZA DEL ENLACE	ENERGÍA-DISTANCIA
átomo -átomo	covalente	muy fuerte	largo alcance
ion-ion	iónico	muy fuerte	largo alcance
ion-dipolo p	solvatación	fuerte	corto alcance
dipolo p-dipolo p	puente de hidrógeno	moderadamente fuerte	corto alcance
ion-dipolo inducido		débil	muy corto alcance
dipolo p-dipolo i	van der Waals	muy débil	extremadamente de corto alcance
dipolo i-dipolo i	van der Waals o London	muy débil	extremadamente de corto alcance

1.2.3 reacciones de hidratación e hidrólisis

La disolución (hidratación) es el rompimiento de enlaces iónicos (ión-ión) y la sustitución por enlaces entre los iones y los dipolos permanentes (ión-dipolo p). La entropía aumenta durante la disolución por lo que siempre va a favorecer que los sólidos se disuelvan (*aumenta el desorden*), en cambio los enlaces que se forman son más débiles por lo que dependiendo de la cantidad de

Figura 14. Ciclo de Born Haber que representa la disolución del cloruro de sodio

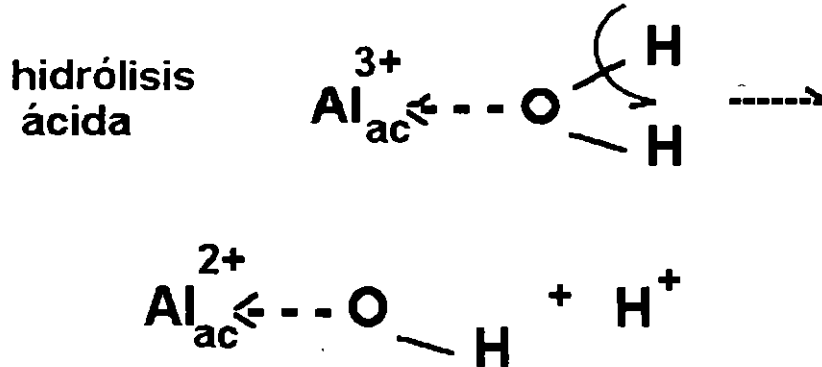


Si el H es positivo y mayor que TS el valor del G para la reacción será positivo y la sal no se disuelve (reacción no espontánea). Por ejemplo, el sulfato de bario no se disuelve a ninguna temperatura. Es difícil predecir cuando una sal va a ser soluble y cuando no; sin embargo se ha observado que cuando los radios del catión y anión son muy diferentes se favorece la disolución y cuando son parecidos se reduce. A continuación se listan algunas generalizaciones válidas:

- β El plomo es un catión grande y forma sales muy insolubles, en cambio el sodio forma sales muy solubles.
- β El estado de oxidación influye en la solubilidad, de compuestos iónicos ya que afecta la energía del cristal y su tamaño
- β Las moléculas polares se disuelven en disolventes polares ya que aunque los enlaces que se forman son muy parecidos en tamaño y fuerza a los que se rompen la disolución está dirigida por la entropía
- β Las moléculas no polares se disuelven en sustancias no polares también por efecto del aumento de entropía

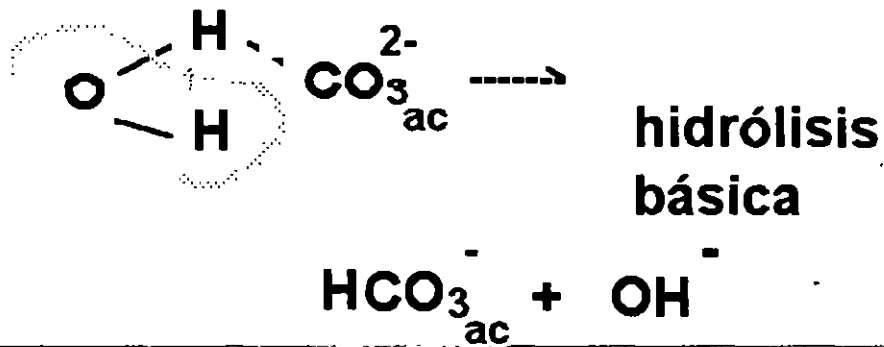
La hidrólisis (rompimiento del agua por una sustancia) se presenta cuando el ión hidratado jala los electrones del oxhidrilo o del hidrógeno, debilitando el enlace. En química se dice que el catión es blando. La blandura se relaciona con la distorsión de las nubes electrónicas de los compuestos iónicos por efectos del núcleo. Cuando el la carga es muy alta y el tamaño muy pequeño (alto potencial iónico) el catión distorsiona al anión (enlace blando-blando); cuando el catión no distorsiona al anión se habla de un enlace duro-duro. El anión blando presenta alta carga y gran radio. El catión con alta carga y pequeño tamaño (alta Z^+/r^+) atrae la nube de electrones del oxígeno del agua y debilita el enlace con el protón, el cual puede salir o entrar de la partícula. En la figura 15 se ejemplifica este tipo de reacción:

Figura 15. Reacción de hidrólisis del aluminio



También los aniones afectan al agua. Un anión grande y cargado es blando y atrae a los protones dejando hidróxilos en la solución (ver figura 16):

Figura 16. Reacción de hidrólisis del carbonato



- B una sal que contiene un catión blando y un anión duro producen una hidrólisis ácida
- B una sal que contiene un catión duro y un anión blando produce una hidrólisis básica
- B una sal que contiene catión duro y anión duro no se hidroliza
- B una sal que contiene un catión blando y un anión blando pueden generar una hidrólisis ligeramente ácida o básica, o neutra

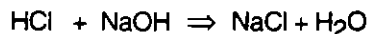
Una manera más sencilla de saber si ocurre la hidrólisis es la siguiente:

- B sal formada por un catión que proviene de una base fuerte y un anión de un ácido débil presenta una hidrólisis básica
- B sal formada por un catión que proviene de una base débil y un anión de un ácido fuerte presenta una hidrólisis ácida
- B sal formada por un catión que proviene de una base débil y un anión de un ácido débil, puede presentar un hidrólisis ligeramente ácida, ligeramente básica o neutra
- B sal formada por un catión que proviene de una base fuerte y un anión de un ácido fuerte no se hidroliza

1.2.4 reacciones ácido-base y oxido-reducción

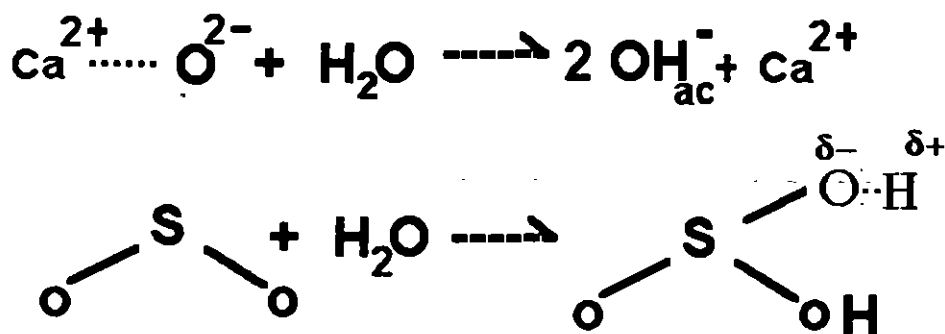
Los ácidos se definen en solución acuosa como sustancias que pueden donar protones y bases a los que pueden aceptar. Las reacciones entre este tipo de sustancia producen agua y sales.

ácido clorhídrico + hidróxido de sodio \Rightarrow cloruro de sodio y agua



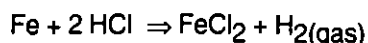
Los óxidos iónicos también llamados metálicos como por ejemplo el óxido de calcio o aluminio, son básicos o anfóteros pero nunca ácidos. Los óxidos covalente como el dióxido de azufre son ácidos. En la siguiente figura se ejemplifican las reacciones que ocurren:

Figura 17. Reacciones de los óxidos iónicos y covalentes con el agua



El término oxidación se refiere a la pérdida de electrones y reducción a la ganancia de electrones.

Un agente oxidante es quien fácilmente se reduce y un agente reductor quien se oxida. Los metales tienden a oxidarse por acción del aire, agua o ácidos, por ejemplo:



Las reacciones de oxidación y reducción cambian las propiedades de los metales. El cromo trivalente forma una espinela muy estable e insoluble. El cromo hexavalente forma sales solubles, oxidantes y tóxicas.

1.3. disponibilidad de los contaminantes en el ambiente

Las reacciones más importantes en la naturaleza son la hidratación, hidrólisis, ácido-base, oxido-reducción y quelatación; aunque también se observan otras como la fotólisis (rompimiento por efecto de la luz). Para que los átomos reaccionen deben poder encontrarse y además chocar con cierta fuerza (energía de activación) por lo que las reacciones ocurren en fase gaseosa, acuosa o en la interfase del sólido con el agua o el gas.

De entre los medios abióticos, el suelo representa al sistema más complejo, cuyo análisis puede servir de base para sedimentos, agua y aire. A continuación se presenta una breve introducción a la química del suelo.

El suelo es una capa delgada de la corteza terrestre que está en contacto con la atmósfera y en la cual se lleva a cabo la actividad biológica. Es un sistema dinámico que procede de la intemperización del material parental y está formado por compuestos orgánicos, inorgánicos y diferentes organismos vivos.

La composición del suelo es heterogénea. Existen innumerables tipos ya que sus características dependen de las condiciones específicas de la zona:

- β reactivos (material parental y aire)
- β agua (regímenes de lluvia)
- β energía (fotones de luz)

Los tres estados de la materia coexisten en el suelo. La fase sólida frecuentemente representa el 50% del volumen total del suelo y la otra mitad está formada por la solución del suelo y los gases (volumen poroso), en una proporción variable que depende del régimen de lluvia, drenaje y de la cantidad de agua utilizada por las plantas.

La fase gaseosa de los suelos tiene una composición muy similar a la del aire, aproximadamente ~~78% de nitrógeno, 21% de oxígeno y el 1% de gases raros.~~ La composición cambia en condiciones reductoras. La difusión, el consumo de oxígeno y la producción de dióxido de carbono por los organismos vivos determinan la composición exacta de la fase gaseosa de un suelo. De los cuatro principales componentes del suelo únicamente la solución del suelo y el aire son esenciales para el crecimiento de las plantas.

La solución del suelo contiene iones diversos que proceden de la disolución de la fase sólida o directamente del agua de riego. Puede contener cantidades pequeñas de otros iones procedentes de contaminantes.

La fase sólida está formada por componentes inorgánicos y orgánicos. Los principales compuestos inorgánicos son:

- B materiales gruesos poco reactivos llamados limos y arenas (formados principalmente por minerales primarios que proceden de rocas ígneas y metamórficas del tipo de cuarzo y feldespato). Los componentes inertes presentan bajos valores de área superficial específica "S".
- B materiales finos reactivos formados por partículas menores a 2 micrómetros, como son las arcillas, óxidos, hidróxidos, oxohidróxidos y sales. Estos componentes, -que en su mayoría forman parte de la fracción coloidal del suelo, por lo tanto presentan altos valores de "S",- son activos químicamente y presentan cargas. En la práctica se utiliza el valor de S igual a $10^3 \text{ m}^2/\text{kg}$ ($\approx 1 \text{ m}^2/\text{g}$) para dividir los materiales finos de los gruesos. También es muy común que se utilice como límite el tamaño de partícula de 2 μm que corresponde aproximadamente al valor anterior. El intervalo de diámetro para las partículas coloidales es de 10^{-9} a 10^{-12} mm.

Las sustancias más pequeñas son las que controlan la reactividad química en la superficie ya que el área para reaccionar es mayor y están cubriendo a rocas y minerales de mayor tamaño. Además presentan cargas.

Los óxidos, hidróxidos y oxohidróxidos minerales se pueden describir en forma simplificada como un empaquetamiento de iones O^{2-} y OH^- unidos a cationes. El orden del empaquetamiento varía desde un cristal regular hasta sistemas desordenados que podrían visualizarse como líquidos solidificados que se conocen como "amorfos".

Las arcillas son silicatos hidratados o hidrosilicatos de aluminio. Están formados por capas alternadas de tetraedros de sílice ($-\text{SiO}_4^-$), y octaedros de aluminio. Los tetraedros de sílice se unen a través de oxígenos y las capas octaédricas de aluminio se enlazan mediante O^{2-} y OH^- .

Componentes orgánicos del suelo:

- B materiales no reactivos, básicamente residuos de vegetales y animales poco alterados
- B materiales reactivos, conformados por humus y compuestos de bajo peso molecular (ácidos, cetonas, alcoholes, etc.)

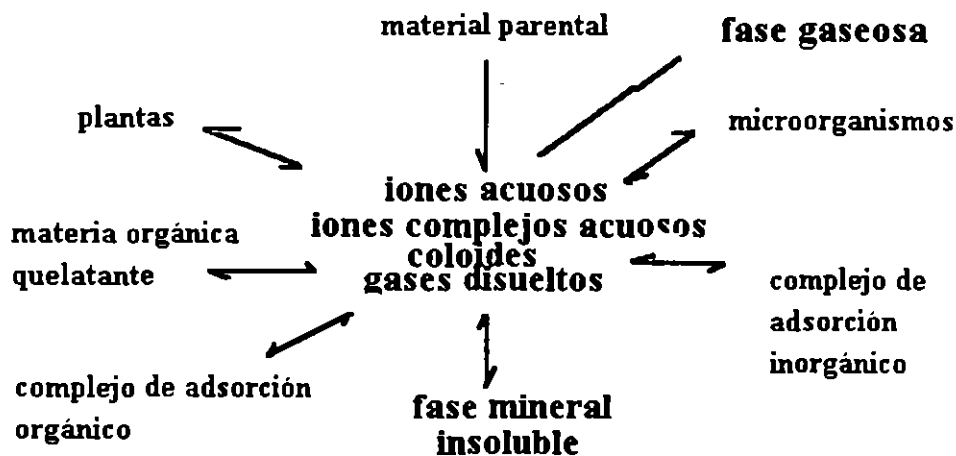
El humus procede del material orgánico no reactivo que por acción de la humedad, sol y bacterias se transforma en sustancias oxidadas más estables. Se puede visualizar al humus como un polímero enroscado con ramificaciones que contienen diversos grupos orgánicos, especialmente carboxílicos y fenólicos.

Esta sustancia presenta una gran superficie interna debida a las hélices que se forman. Los grupos orgánicos polares le imparten cargas (variable) y además puede coordinarse y formar quelatos muy estables. Reacciones de polimerización y despolimerización ocurren continuamente por lo que su tamaño molecular no es constante. Los procesos en los que interviene la materia orgánica son: suministro de nutrimentos mediante la mineralización, estabilización de la acidez de suelo, contribución a la capacidad de intercambio catiónica, regularización de la disponibilidad de macro y micronutrimentos mediante la formación de quelatos, volatilización del azufre y nitrógeno durante el proceso de humificación, y mediante procesos de adsorción la fijación del fósforo y la inactivación de plaguicidas. Los procesos físicos importantes son el mejoramiento de la estructura del suelo y la retención del agua.

La composición del humus es aproximada y se basa en el análisis de muchas fracciones de diferentes suelos. El humus se extrae del suelo con sosa. Una parte no se disuelve con la sosa y se denomina huminas. El resto forma una solución que al acidificarse no reprecipita totalmente. En esta última operación se obtiene un sólido conocido como ácidos húmicos y una solución denominada ácidos fúlvicos (la más activa químicamente pues contiene la mayor proporción de grupos ácidos).

Como se comentó las reacciones ocurren en la interfase y principalmente en la solución. A continuación se presenta un diagrama del equilibrio:

Figura 18. equilibrio del suelo



Los tres tipos de fenómenos que originan las cargas en la superficie de las partículas sólidas activas y producen reacciones de intercambio son:

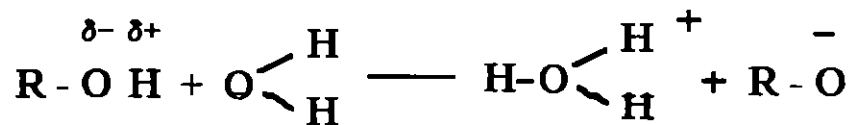
- β **la sustitución isomórfica.** Iones con relación carga/radio similar ocupan posiciones análogas en los cristales o vidrios. Cuando el aluminio (tres electrones) sustituye al silicio (cuatro electrones) o el magnesio (dos electrones), la partícula adquiere carga que se compensa con la presencia de cationes entre las capas del coloide o alrededor de él. ~~Se le conoce como carga permanente pues no depende de condiciones externas.~~
- β **la disolución iónica (hidrólisis de los metales con alta carga/radio o rompimiento físico de enlaces).** El aluminio reacciona con el agua de hidratación, atrayendo al oxígeno y debilitando el enlace oxígeno-hidrógeno por lo que los protones pueden liberarse o unirse a la partícula. Puede quedar cargada positiva o negativamente dependiendo del pH del medio. Se conoce como carga variable.
- β **la ionización (disociación de grupos polares orgánicos en solución).** Se presenta en la materia orgánica y al igual que la disolución iónica conforma una carga variable que depende del pH del medio (figura 19).

Las arcillas adquieren cargas negativas en el intervalo de pH normal de un suelo (5-9), las cuales son compensadas por cationes duros. Este adjetivo se utiliza para clasificar cationes que presentan bajos valores de carga/radio (Ca^{+2} , Mg^+ , K^+ , Na^+). Los metales blandos de alta relación carga/radio tienden a precipitar en el intervalo de pH normal de un suelo (5-9), como es el caso de los metales transicionales. La velocidad de las reacciones de intercambio puede ser lenta y el verdadero equilibrio alcanzarse después de mucho tiempo

Los oxohidróxidos, óxidos e hidróxidos amorfos, especialmente de cationes blandos presentan carga positiva en el intervalo normal de pH del suelo. La carga es variable. El valor de pH en que la partícula no presenta cargas se llama punto isoelectrónico (PIE). Para compensar la carga se adsorben aniones, en general blandos (alta carga y alto radio), por ejemplo fosfatos. Los aniones duros (baja carga y bajo radio), como los cloruros o nitratos, son poco adsorbidos.

Todos los grupos polares del humus -OH y -NH (dipolos permanentes), de cualquiera de los grupos fenólicos, carboxílicos, aldehídicos, etc. también presentan capacidad de intercambio catiónica (forman cargas negativas en el intervalo normal de pH de un suelo). La carga es variable y depende del pH, a un cierto valor adquiere el valor 0.

Figura 19. Origen de la carga de la materia orgánica natural



ACIDEZ DE LOS GRUPOS OH EN COMPUESTOS COVALENTES

Los cationes que se unen electrostáticamente en las posiciones de intercambio de la materia orgánica de la misma forma que con las arcillas son duros (calcio, magnesio, potasio, etc.), los blandos prefieren coordinarse o coprecipitan (plomo, aluminio, zinc, cadmio, etc.).

Los grupos oxhidrilos (:OH) y amina (:NH) tiene pares de electrones con los cuales se pueden unir a metales que tienen orbitales *d* formando compuestos de coordinación. La estabilidad de estos compuestos es mayor cuando son quelatos (un mismo ligante se coordina al metal en varias posiciones). En el caso de los suelos estos compuestos son muy abundantes, pero es muy difícil tener valores reales de las constantes de estabilidad de los quelatos pues la composición de la materia húmica varía constantemente. La solubilidad de los quelatos es baja y puede relacionarse al tamaño de la materia orgánica, los humatos pueden ser más insolubles que los fulvatos.

Se podría suponer que los metales transicionales preferentemente forman humatos, pero no es así. Por ejemplo, un metal que forma quelatos muy estables es el hierro ya que su constante de estabilidad es muy alta. Es un elemento muy abundante en los suelos; sin embargo forma óxidos muy estables por lo que en el equilibrio preferente se le encuentra en la parte mineral del suelo. En cambio se han determinado que la formación de quelatos de cobre, manganeso y otros metales transicionales; es un mecanismo de coordinación muy importante para evitar su lixiviación y la de otros micronutrientes. Las concentraciones de quelatos están determinadas por el equilibrio químico, por ejemplo, en el caso de que la cantidad de quelatos de cobre aumentara

por contaminación, en condiciones ligeramente ácidas, neutras o básicas se formarían otros compuestos hasta alcanzar el equilibrio. El equilibrio con la solución depende básicamente de los valores de pH y pE (oxido-reducción); y puede alcanzarse rápida o lentamente.

LA FASE QUE DETERMINA LA COMPOSICIÓN DE LA SOLUCIÓN ES LA MINERAL. LOS MINERALES QUE PERMANECEN PRÁCTICAMENTE SIN CAMBIOS SON AQUELLOS CON EL MENOR VALOR DE ENERGÍA DE GIBBS (LOS MÁS INSOLUBLES)

La solubilización de metales transicionales (potencialmente tóxicos) puede ser relativamente importante en suelos ácidos con altos contenidos de fulvatos

En términos generales, la proporción de material orgánica en un suelo no es mayor del 30%, y la parte activa mucho menor. En suelos básicos y oxigenados los metales transicionales están en formas inorgánicas insolubles y las posiciones las ocupa el calcio. Si el suelo es ácido se disuelven la mayor parte de los metales y en esos casos la presencia de humatos puede funcionar como agente para que se formen quelatos insolubles y no se lixivien.

Al analizar los posibles destinos de un contaminante se debe tomar en cuenta la estabilidad de los compuestos, los efectos de la concentración, pH y pE sobre el equilibrio, y los efectos de la quelatación y adsorción.

Un diferente estado de oxidación en un metal por una variación del pE del suelo o por contaminación antrópica, puede aumentar la concentración de un elemento en un suelo por arriba de los niveles normales. Por ejemplo, un problema climático anormal causó un grave problema de contaminación: en África lluvias intensas redujeron el manganeso del MnO_2 a Mn^{2+} , produciendo una intoxicación masiva de los plantíos y el ganado.

~~A continuación se listan algunos planteamientos que deben tomarse en cuenta cuando se analizan problemas de contaminación de suelos:~~

- B Los microorganismos y los exudados de plantas pueden variar las condiciones microambientales.
- B Los microorganismos que aceleran las reacciones no pueden cambiar las condiciones termodinámicas
- B La materia orgánica puede acumular sustancias tóxicas por adsorción. La formación de quelatos es importante a bajas concentraciones; pero no puede explicar la presencia de grandes concentraciones de contaminantes en solución.
- B Los contaminantes no polares van a ocupar los poros y adsorberse en el material orgánico (interacciones i-i). Se dispersarán lentamente dependiendo de la velocidad de flujo del agua (porosidad y fuerza de la corriente)

- B Los materiales biodegradables presentan enlaces polares (OH, NH, etc.), que reconocen los microorganismos. Los no polares son más difíciles de degradar, por lo tanto su permanencia es más alta y pueden bioacumularse.
- B Los contaminantes en formas de compuestos coordinados (quelatos) son más tóxicos para los organismos. La toxicidad se relaciona con la sustitución del elemento central de una biomolécula (quelato), la precipitación del elemento central, la sustitución del ligante o el bloqueo de la posición activa de la biomolécula. Especialmente, es importante tomar en cuenta el aumento de toxicidad cuando los metales son absorbidos por los microorganismos, pues existe una tendencia a utilizar bioremediación, sin estudios muy profundos respecto a los compuestos finales que se forman y el destino de los microorganismos en una matriz sólida.

En el cuadro siguiente se presentan algunos ejemplos en los cuales se relacionan las características químicas de los contaminantes con su efecto en los su

elos.

Cuadro 3. Características de los contaminantes y sus efectos en el suelo

contaminante	enlace	efectos muy probables	efectos posibles
ácidos	covalentes polares	alteran pH	disuelven minerales y M.O.
bases	iónicos	alteran pH	disuelven minerales anfóteros
carbonato de sodio	iónico soluble el carbonato se hidroliza	aumenta el pH y la conductividad ocupa posiciones en el complejo de intercambio	el suelo pierde textura expande (sodicidad). materia orgánica se solubiliza
nitrate de sodio	iónico soluble no se hidroliza	aumenta conductividad y viaja a cuerpos de agua	contamina acuíferos
nitrate de amonio	iónico soluble, hidrólisis ácida	aumenta conductividad, fertiliza, viaja a mantos de agua	eutrofica cuerpos de agua
plaguicidas organoclorados	covalente, molecular dipolos inducidos	ocupa poros, se adsorbe, permanente	se bioacumula en, concentrándose en grasa
gasolina	covalente no polar líquido	ocupa poros	quita oxígeno, mata la vida del suelo y lentamente contamina acuíferos
lubricantes	covalente no polar líquido	ocupa poros	quita oxígeno, mata la vida del suelo y lentamente contamina acuíferos
cloruro de plomo	iónico	en suelos ácidos queda soluble o forma quelatos insolubles. En suelos básicos forma minerales insolubles	se precipita en la raíz puede contaminar cuerpos de agua ácidos. Se acumula como mineral
arseniato de sodio	iónico	puede cambiar de estado de oxidación, y formar compuestos volátiles	afecta la microbiota, contamina acuíferos y en extremo la atmósfera

2. alternativa de manejo y disposición de residuos peligrosos

2.1 establecimiento de un programa ambiental integral

El procedimiento tradicional para prevenir y controlar el daño al ambiente y a la salud que produce un proceso industria se basa, principalmente, en el **análisis de la situación de la(s) planta(s) respecto a las normas nacionales o internacionales existentes y los requerimientos tecnológicos para asegurar su cumplimiento en un lapso determinado. Este tipo de compromiso presenta deficiencias de información y análisis, ya que principalmente se fundamenta en normas elaboradas en otros países.** Además, su aplicación se puede ver limitada por considerar estrategias de solución no adecuadas a la situación específica de cada industria.

Una mejor opción la conforma el establecimiento de un programa, el cual fundamentándose en un estudio integral de los daños al ambiente y a la salud, **proponga opciones de solución viables.** La investigación se lleva a cabo con la participación de diversos especialistas y, para su desarrollo **se toman en cuenta el entorno geográfico real, las preferencias sociales, y la capacidad de inversión y características propias de la industria; por lo que se logra un instrumento de mayor eficacia y eficiencia que los tradicionales.**

La estrategia general del establecimiento de un programa ambiental integral se basa en las siguientes actividades.

- La definición de la **situación actual** de la industria, que incluye la evaluación de las afectaciones al ambiente y a la salud de la población expuesta, así como el estudio de los impactos futuros.

- La investigación de la(s) mejor(es) opción(es) que ofrece la **tecnología de punta para el control ambiental**, así como de las normas nacionales e internacionales vigentes.

- El establecimiento de la **situación óptima**, acorde a las condiciones reales que se define con base en un análisis de "costo beneficio", en donde se compara el costo incremental contra el beneficio incremental y el punto de cruce se selecciona como la situación óptima. El **costo incremental** relaciona el costo por unidad de contaminación abatida (\$/uca) de cada estrategia de solución tecnológica, respecto a las unidades de abatimiento de la contaminación que se alcanzan. El **beneficio incremental** se expresa como una función decreciente que representa el valor (medido como \$/uca) que la sociedad otorga a cada unidad adicional de contaminación abatida (con base en el nivel de calidad de vida que logra).

- El cálculo de la **velocidad de cambio** que se realiza considerando tiempos reales que aseguren la capacidad de la empresa para alcanzar la situación óptima y cumplir con sus compromisos.

- La descripción de la **estrategia de solución**, que contempla los cambios tecnológicos y los niveles de abatimiento de contaminación alcanzados; las técnicas operativas, los controles del proceso, los sistemas administrativos de apoyo, el manejo de desechos, mediciones y niveles máximos permisibles de los contaminantes (metas ambientales); sistemas de seguridad e higiene, medidas de reparación; y, finalmente, los tiempos de cumplimiento.

La investigación es de carácter interdisciplinario y conviene que al menos participen especialistas de las siguientes áreas:

- β química e ingeniería ambientales
- β salud ambiental
- β análisis espacial y ciencias de la tierra
- β economía ambiental

La investigación debe dar como resultado en una primera etapa:

- el **estudio de afectaciones** para la salud y el entorno, relacionados con la actividad rutinaria de la industria. Comprende los daños actuales y el pasivo ecológico.
- el **estudio de riesgo en salud y ambiente** relacionados con eventos extraordinarios.
- el **estudio de impacto** para la salud y el ambiente que considera los efectos futuros de la actividad diaria de la empresa.
- las **medidas de reparación** para atenuar la magnitud de las afectaciones.

En una segunda etapa se establecen las estrategias de prevención y control con base en los datos de las afectaciones e impacto. Estos últimos, junto con el análisis de riesgo conforman la base para establecer los diferentes niveles de abatimiento de la contaminación, respecto a los tiempos fijados para cada actividad.

En la tercera y última etapa los economistas calculan la curva costo beneficio y se determina el óptimo ambiental. En conjunto todos los grupos integran el programa comprometido.

Aunque cada grupo realiza parte del trabajo por separado, se deben apoyar mutuamente con información y discusión de los resultados. La interdisciplinariedad no es la simple suma de estudios independientes.

2.2 estrategia de manejo y disposición de residuos

2.2.1 principios fundamentales

Aunque la instrumentación de un sistema de manejo no requiere del establecimiento de un ~~programa integral como el que ya se describió, resulta indiscutiblemente más eficiente y efectivo~~ cuando se cuenta con ese instrumento. Se resuelven los problemas de residuos conjuntamente con los contaminación del aire y agua; así como ruido, polvos y se mejoran las condiciones de seguridad e higiene y se mejoran las relaciones con la comunidad y gobierno. Sin embargo a continuación se plantean medidas que pueden establecerse de manera independiente a un programa integral.

Los principios básicos de la administración de residuos se basa:

- * dejar de generar residuos peligrosos (reducción)
- * si no es posible evitar su producción, hacerlo en cantidades mínimas (minimización)
- * reciclarlos (minimización)
- * reusarlos. Pueden requerirse tratamientos térmicos, químicos, físicos o microbiológicos

- * estabilizarlos termodinámicamente
- * confinamiento .

Un programa de reducción se refiere a la eliminación de un residuo peligroso desde sus orígenes,

sustituyendo las materias primas, la tecnología o mediante adaptaciones en las operaciones. Un programa de minimización se relaciona, principalmente, con el establecimiento de sistemas para control de proceso y su optimización (mejoramiento bajo las condiciones reales) con los cuales se logra minimizar las cantidades desperdiciadas, recuperar valores y/o reciclar (dentro del mismo proceso). La reutilización o reuso se refiere a establecer sistemas para que el residuo pueda ser aprovechado por otro proceso industrial o ser comercializado. Existen tecnologías basadas en procesos térmicos, químicos, físicos o microbiológicos que pueden aumentar el valor del residuo, y/o disminuir su peligrosidad.

La estabilización termodinámica se refiere a la transformación del residuo peligroso a especies muy estables que pueden disponerse sin peligro para la biota, como se revisará a mayor profundidad en párrafos posteriores. En general los compuestos estables de acuerdo a sus características termodinámicas son los mismos minerales que se observan en la naturaleza; por ejemplo el fluor puede transformarse a fluorita de calcio y el cromo a cromita. Esta solución exige una estricta vigilancia sobre aspectos físicos del residuo sólido y la forma en que se disponen.

2.2.2 caracterización y clasificación de los residuos

Para cualquiera de las actividades descritas, en primer término, resulta necesario determinar las cantidades y las características de los residuos generado:

- β identificación del tipo de matriz (sólido o lodo)
- β identificación de los contaminantes

Posteriormente, se deben clasificar en grupos de los contaminantes de acuerdo a su enlace químico y su capacidad combustible (figura 20).

- β **covalentes** compuestos formados por elementos no metálicos.
 - a. *moleculares*. Compuestos que forman moléculas y aquellos compuestos de coordinación que presenten características similares
 - a.1. *de bajo contenido calorífico y biodegradables*
 - a.2 *de alto contenido calorífico*
 - b. *de red covalente*
 - b.2. *alto contenido calorífico*
 - b.2 *estables al calor*

- β **iónicos**, compuestos formados por la unión de metales con no metales. En este grupo se deben incluir los compuestos de coordinación que presenten características similares.
 - a. *no solubles y/o no reactivos*
 - b *solubles y/o reactivos*

- β **metálicos**, compuestos formados por elementos metálicos
 - a *alta reactividad con agua y/o aire*
 - b *baja reactividad con agua y/o aire*

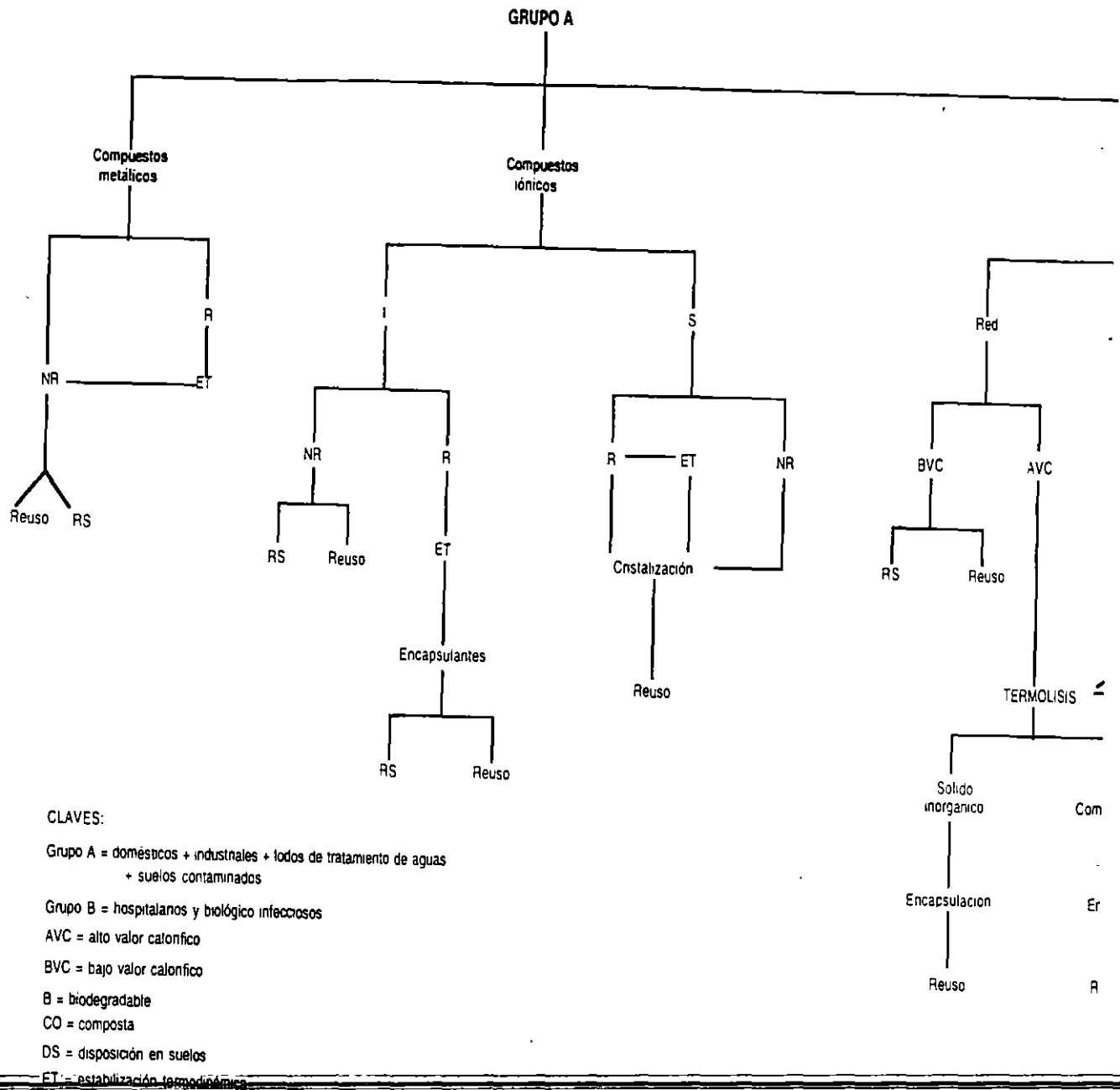


Figura 2. MODELO INTEGRAL DE MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS

Figura 20. Clasificación y manejo de los desechos de acuerdo a su enlace químico

Cada grupo presenta diferentes propiedades, las cuales ya fueron analizadas en el capítulo anterior. No obstante, a continuación se presenta un resumen al respecto.

MOLECULARES

Los elementos no metálicos forman sustancias volátiles, la mayoría son gases o líquidos y sólidos de bajo punto de fusión. En consecuencia su biodisponibilidad es alta, ya que se pueden respirar o absorber por la piel. Muchos compuestos de este tipo de uso común son tóxicos, como es el caso del gas natural, del gas LP e hidrocarburos líquidos como las gasolinas; plaguicidas, disolventes, etc. Otros en cambio son más usados por la industria como el percloroetileno, acrilonitrilos, benzopirenos, dioxinas, etc. Otras moléculas que pertenecen a este grupo no son tóxicas, ya que pueden ser metabolizadas por los seres vivos, como el oxígeno, las azúcares, las grasas, las proteínas y el alcohol etílico.

Su peligrosidad está relacionada a la forma en que están unidos los elementos y no a las propiedades de los átomos. En muchas ocasiones las sustancias peligrosas están formadas por elementos considerados esenciales para la vida como es el caso del carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno; que unidos de diferente manera y en diferente cantidad pueden ser esenciales o causar la muerte. Por ejemplo, las proteínas formadas principalmente por carbono, nitrógeno, hidrógeno y oxígeno son esenciales para el humano, mientras que el cianuro de hidrógeno que contiene carbono, hidrógeno y nitrógeno es muy tóxico. En el mismo caso se encuentra el ácido nítrico corrosivo y la nitroglicerina explosiva. Cuando las moléculas contienen otros elementos no metálicos, como el cloro, bromo, flúor, arsénico etc. su peligrosidad puede aumentar, como en el caso del sulfuro de hidrógeno (ácido sulfhídrico), cloro gaseoso, fluoruro de hidrógeno (ácido fluorhídrico) o arsinas.

Muchas de las moléculas orgánicas tienen altas capacidades caloríficas. La capacidad calorífica está relacionada a la energía interna de la molécula y muchos de ellos son buenos combustibles como los hidrocarburos, disolventes, aceites, grasas, etc.

REDES COVALENTES Y POLÍMEROS

El carbono así como otros elementos no metálicos como el silicio, se enlazan covalentemente formando redes muy estables, sólidas y de punto de fusión muy altos, como es el caso de la arena, ágata, grafito o diamante. Asimismo, por medios naturales o mediante procesos industriales, se han obtenido una gran variedad de productos que presentan alguna o varias características muy especiales y útiles, como inercia, resistencia, elasticidad, ligereza, transparencia, etc. Estas sustancias son el producto de la unión (polimerización) de las moléculas que forman cadenas de elevado peso molecular que tienen propiedades totalmente diferentes de las unidades originales; como es el caso de los plásticos.

La peligrosidad de las primeras sustancias (que son estables como redes pero no como moléculas) generalmente está relacionada con el estado físico (polvo), ya que al ser respiradas afectan el sistema respiratorio, como es el caso de las arenas finas utilizados para el pulido. En el caso de las segundas que son polímeros que proceden de moléculas estables, los puntos de fusión son menores, y muchas pueden ser inflamables; por lo que sus efectos pueden ser de mayor magnitud que las anteriores: Los envases plásticos y llantas inutilizan suelos agrícolas y afectan la belleza del paisaje; pero también pueden incendiarse y contaminar la atmósfera.

- * estabilizarlos termodinámicamente
- * confinamiento .

Un programa de reducción se refiere a la eliminación de un residuo peligroso desde sus orígenes,

industria utiliza estos compuestos para muy diferentes procesos, quelatos sintéticos como tripolifosfato de sodio o etilendiamintetraacetato de sodio (EDTA) son utilizados en el tratamiento de aguas y en las minas se utilizan cianuros para coordinar al hierro u otro elemento y lograr separar el mineral con valor (flotación).

Aparte de sus efectos tóxicos, los agentes quelatantes pueden cambiar el comportamiento de un elemento, aumentando su reactividad. Por ejemplo, pueden disolver continuamente la capa de óxido de aluminio que protege a una pieza de aluminio, hasta que toda la pieza se corroe.

Una vez que se tienen clasificados los residuos, se pueden seleccionar las tecnologías para cada grupo:

c. Actividades para la selección de tecnologías

- c.1 generación de una lista de tecnologías de punta adecuadas para cada grupo
- c.2 investigación de los fundamentos de las tecnologías
- c.3 investigación del manejo y pretratamiento de los materiales para cada tecnología potencial y para cada grupo de desechos
- c.4 evaluación de sus beneficios y restricciones

Las sustancias moleculares orgánicas con alto calor calorífico, como son las llantas, disolventes, aceites, telas y cartón contaminadas con aceites y gasolinas, madera, etc. deben tratarse mediante termólisis (descomposición térmica sin aire³). El material orgánico peligroso y no peligroso se transforma principalmente en hidrocarburos limpios y/o carbón. La ausencia de oxígeno permite la separación de la fracción orgánica (combustibles y agua) de la fracción inorgánica (sal y metales). La selección de las condiciones de presión, aire, temperatura y tiempo de residencia son muy importantes, ya que de ellas depende el obtener materias primas del mismo proceso, o combustibles para generar vapor y/o electricidad. Con esta técnica es posible también tratar suelos contaminados con gasolinas, lodos de plantas biológicas, relaves con orgánicos y muchos otros residuos. La termólisis es una tecnología que permite convertir a muchos procesos industriales lineales en cíclicos y presenta otras ventajas, entre ellas:

- no genera gases contaminantes como la incineración (óxidos de nitrógeno y azufre), ya que se forman sustancias en sus estados reducidos (nitrógeno gaseoso y azufre sólido). El cloro y el flúor se reducen a cloruros y fluoruros y se pueden precipitar con calcio
- permite manejar a todo tipo de orgánico con alto valor calorífico incluyendo una mezcla de residuos domésticos e industriales (peligrosos)
- convierte la basura en una fuente de energía, que en una pequeña parte mantiene al sistema y resto se puede utilizar para el proceso (cogeneración) o como fuente de energía de las tecnologías de tratamiento de residuos complementarias
- es posible transformar, en algunos casos, los residuos en materia prima del proceso (lineal a cíclico)
- permite tratar los lodos de las plantas de tratamiento, suelos y relaves contaminados con hidrocarburos u otros orgánicos. Los suelos pueden ser transformados en ladrillos útiles para el hombre (reuso).

³ esta técnica también se denomina pirólisis, aunque depende de la cantidad de oxígeno que se utilice, ya que la pirólisis necesita que haya aire y si las condiciones son totalmente reductoras (sin oxígeno) el término más adecuado es termólisis (rompimiento de los enlaces con temperatura).

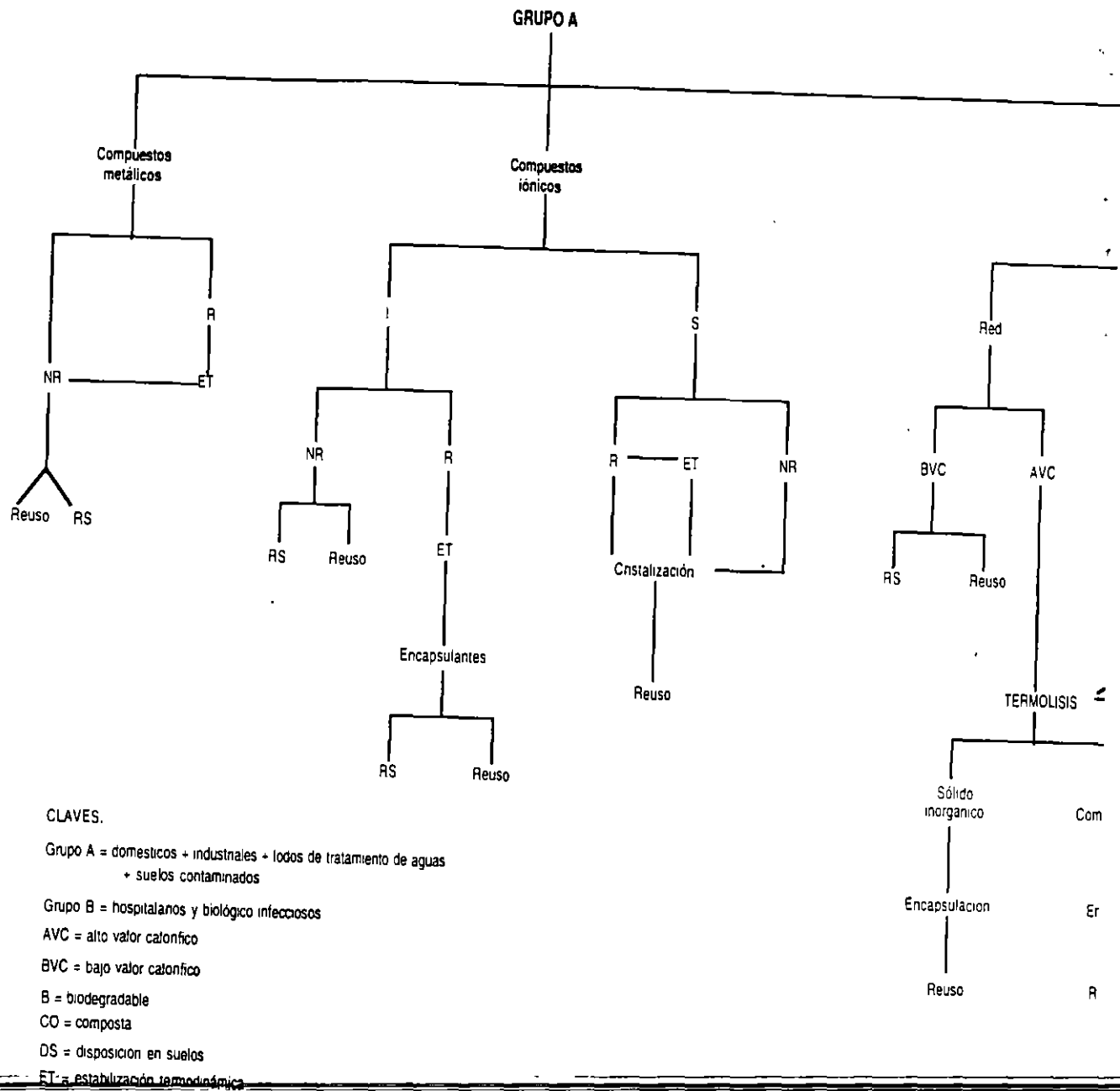


Figura 2. MODELO INTEGRAL DE MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS

Figura 20. Clasificación y manejo de los desechos de acuerdo a su enlace químico

También hay compuestos de frontera que tienen carácter iónico pero son muy insolubles y poco reactivos. Pero sus propiedades los hacen más parecidos a los covalentes de red y conviene manejarlos junto con éstos. Es el caso de los silicatos y aluminatos (asbestos, vidrios, cementos etc.). Son sólidos, estables y producen, básicamente, daños físicos en los organismos cuando se manejan como polvos. Finalmente, hay que considerar aquellos compuestos que se producen de la unión de moléculas orgánicas con metales, denominados organometálicos. Por ejemplo, el mercurocromo, el meriolate y diversos alquilmercuratos que son usados como fungicidas. Al contrario de los silicatos o aluminatos, éstos son reactivos (pueden inflamarse al contacto del aire) y muy tóxicos. Conviene incluirlos en el grupo de covalentes moleculares.

METALES

Los metales son sólidos y algunos pocos son líquidos de alta cohesión, como el mercurio. Su reactividad es variable, algunos denominados nobles son muy poco reactivos -como el oro y el platino-, en cambio otros son muy reactivos, se inflaman al contacto con el aire y con el agua liberan calor, como el caso del sodio. Cuando se unen entre ellos, forman compuestos, soluciones y mezclas que se denominan aleaciones. Conviene clasificarlos en reactivos y no reactivos. Estos últimos son recuperables y tiene en general valor en el mercado.

COMPUESTOS DE COORDINACIÓN

Los metales de transición (hierro, cobre, manganeso, mercurio, etc.) forman compuestos con diferentes especies capaces de donar un par de electrones (ligantes) que se denominan compuestos de coordinación, también conocidos como complejos. Cuando un ligante participa con más de una posición se les denomina quelatos. En los seres vivos son muy comunes, ya que permiten una serie de reacciones vitales para la vida, por ejemplo la hemoglobina lleva el oxígeno a todas las células.

La peligrosidad de los residuos que los contienen es muy variable, pues depende de la disponibilidad de los compuestos en el ambiente y de su reactividad (relacionada con la constante de estabilidad) pues reaccionan con los compuestos de coordinación vitales para el funcionamiento de un organismo y los desactivan. Cuando se ingiere un quelato que contiene algún metal pesado, generalmente es más tóxico que cuando se ingiere en forma de sal. En los casos en que el compuesto de coordinación es muy estable e insoluble, su peligrosidad disminuye: el cianuro libre que es más peligroso que el cianuro coordinado con hierro. La

2.2.4 tratamientos térmicos (alta temperatura)

PIRÓLISIS

Debido a que los residuos peligrosos son difíciles de eliminar, los investigadores de diversos países, especialmente de EEUUA, Japón, y Alemania han buscado otras alternativas para destruir los compuestos orgánicos que son residuos peligrosos. Actualmente, se tienen resultados excelentes con la **pirólisis**, la cual en su origen se utilizó para transformar carbón en hidrocarburos. Esta tecnología **consiste básicamente en la descomposición térmica de las cadenas de carbono (compuestos orgánicos) en ausencia de oxígeno (medio reductor) y a menores temperaturas que la incineración, para generar diversos productos los cuales pueden ser utilizados como materia prima o combustibles fósiles de alta pureza. Entre estos productos se encuentran hidrocarburos (gas y líquidos), carbón y una fase sólida en donde se recuperan sales, metales y otros materiales particulados. Las condiciones del proceso van desde un calentamiento al vacío (termólisis) hasta condiciones donde se utilizan pequeñas cantidades de oxígeno.**

Fundamentos teóricos de la pirólisis

Tanto el estudio como las aplicaciones de la pirólisis se remontan a la década de los años 30, dichos estudios comprenden mecanismos de reacciones de compuestos orgánicos y la producción de combustible (gasolina, aceites, etc.). En años más recientes, las investigaciones se enfocaron al estudio más específico de las condiciones operacionales, así como los productos que se llegan a obtener en dicho proceso en función de la temperatura, a las condiciones atmosféricas internas del proceso (O_2 y presión) y del tipo de material a tratar por pirólisis. En cuanto a las aplicaciones de esta técnica, desde la década de los años 70 y guiados por los problemas causados por la contaminación de desechos municipales sólidos orgánicos, se publicaron artículos sobre la viabilidad de utilizar esta técnica para obtener combustibles de los residuos y aminorar el problema de la contaminación.

Como ya se comentó, el término pirólisis se utiliza para definir la descomposición física y química de materiales orgánicos mediante calor en una atmósfera deficiente o libre de oxígeno. Esta técnica ha sido utilizada tradicionalmente para descomponer hidrocarburos, entre ellos, el gas natural y los compuestos líquidos del petróleo, mediante la descomposición térmica que empieza a producirse entre 500 y 650°C, con una temperatura aproximada de 350°C aproximadamente. La pirólisis del petróleo, da como productos finales carbón, hidrógeno, alcanos, olefinas acetileno y compuestos aromáticos .

La aplicación de la pirólisis para el tratamiento de residuos peligrosos es muy útil porque permite el control preciso del proceso de combustión. Consta de dos pasos: En el primero, el cual es un proceso endotérmico, los residuos son calentados de 425 a 760°C para separar sus componentes volátiles (gases, vapor de agua, compuestos orgánicos, etc) de los compuestos no volátiles (metales, carbón, ceniza). En el segundo paso, los compuestos volátiles son quemados a temperaturas de 1200°C y en condiciones apropiadas para asegurar la incineración y destrucción total de los residuos peligrosos, este parte tiene una eficiencia del 99.9999%.

Reacciones y parámetros del proceso de pirólisis

Dentro del proceso de la pirólisis, se llevan a cabo diversas reacciones, la principal se refiere al rompimiento de enlaces carbono-hidrógeno y a las escisiones de las cadenas de carbono, cuyo tamaño básicamente determina el estado físico de los productos (gases, líquidos y sólidos).

los plásticos, aceites, disolventes orgánicos, compuestos orgánicos clorados, hidrocarburos, materiales contaminados con estos productos se convierten en hidrocarburos ligeros (limpio o carbón (negro de humo)).

La recuperación y la recuperación de disolventes y metales gastados no se consideran técnica muy práctica. Los líquidos de desecho son muy tóxicos que a su vez hay que disponer y su eliminación a altas temperaturas, incluso cuando se cuenta con un sistema completo de filtros, hornos, huellas, etc. etc. El problema con los líquidos (con concentraciones menores a los límites que establece normas y muy difíciles de cuantificar). Estas bajas concentraciones se acumulan produciendo problemas en los seres vivos, por ejemplo en Suiza se observó que por causa de los metales los nuevos nacidos se habían estropeado.

Las sustancias moleculares de bajo peso molecular se pueden dividir en materiales biodegradables y no biodegradables. A excepción de las especies ácidas el resto pueden adicionarse conjuntamente en pequeñas dosis al material preparado para la termólisis de manera que no baje demasiado su valor calorífico. Específicamente las biodegradables pueden ser enviadas a suelos para su biodegradación, pero con técnicas simples y fundamentadas de manera de lograr que el material se transforme en humus. Las sustancias ácidas se pueden neutralizar y manejarse junto con las sustancias iónicas, o establecer el reciclado o buscar su reuso, dependiendo de su composición específica. Por ejemplo, el ácido sulfúrico procedente del decapado se puede reciclar o reutilizar como recuperador de suelos salino sódicos. Cabe mencionar que siempre que se utilice el suelo como biodegradador, es necesario contar con estudios serios que aseguren que no existe posibilidad de contaminar el suelo y cuerpos de agua o dañar plantas y microfauna.

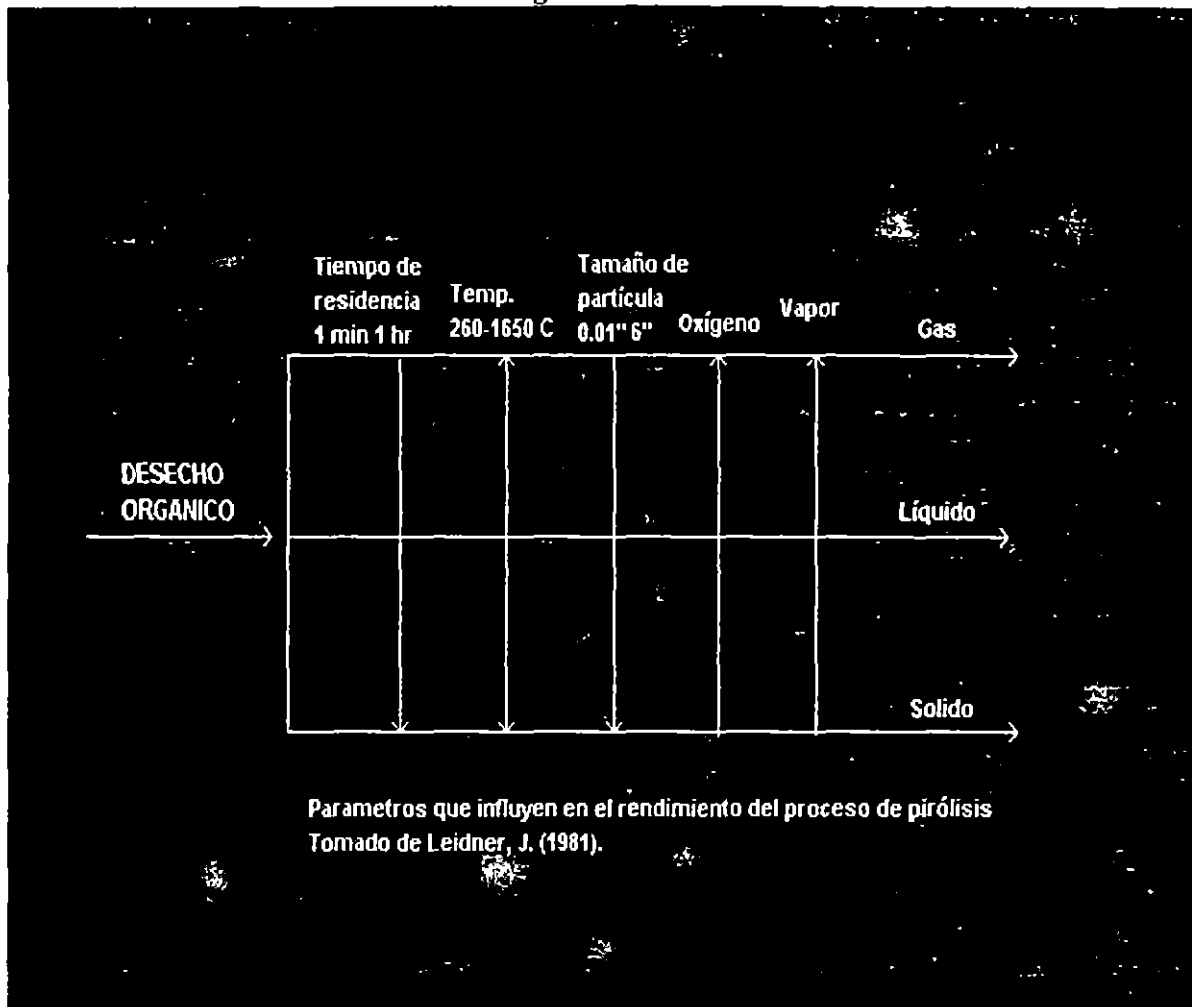
Las sustancias covalentes de red y iónicas muy estables y prácticamente inertes (arenas, vidrio, etc.) pueden ser reutilizadas directamente después de efectuar un proceso simple de recuperación. En caso de que no se quiera establecer un sistema de reuso es posible depositarlas en un terreno adecuado, cuidando de cubrirlas para que no las mueva el viento. El sitio debe ser escogido de manera de no destruir físicamente suelos agrícolas. En el caso de relaves inertes únicamente se debe cuidar los aspectos de estabilidad física.

Las especies iónicas solubles deben reutilizarse después de purificarse, y en los casos en que sea posible se deben transformar a especies insolubles termodinámicamente estables y similares a las formas que existen en la naturaleza. Hay elementos que siempre forman compuestos solubles y por lo tanto no son posibles de estabilizar, como es el caso del sodio (cloruro de sodio, sulfato de sodio, carbonato de sodio etc.), pero pueden ser fácilmente reutilizadas.⁴

Las especies iónicas insolubles o aquellas que pueden insolubilizarse, se deben transformar en ladrillos que pueden ser utilizados para construcción o en último caso disponerse sin ningún peligro en un terreno. Los ladrillos obtenidos a partir de la mezcla de residuos ricos en cromatos con ácidos de decapado y cal, bajo presión y temperatura, convierten a los cromatos (solubles y oxidantes poderosos) en cromitas (sustancias covalentes de red muy estables que no presentan ninguna peligrosidad y que es la forma en que este elemento existe en la mayoría de los depósitos naturales); y la tecnología se desarrollo hasta nivel de ingeniería básica). Existen equipos comerciales para fabricar ladrillos que no requieren temperatura.

⁴ en zonas de alta insolación como México, debían desarrollarse procesos para recrystalizar los productos mediante el uso de energía solar. Mientras tanto se propone utilizar la energía producida mediante la termólisis de las basuras con valor calorífico para establecer los sistemas de evaporación y cristalización.

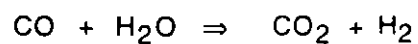
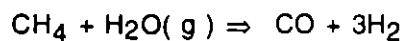
Figura 21



Parámetros que influyen en el rendimiento de la pirólisis

Cuando existe un incremento en la temperatura del proceso el rendimiento del producto se ve afectado de la siguiente manera:

- β el residuo sólido disminuye con el aumento de la temperatura, debido al aumento en la conversión de carbono a gas.
- β la cantidad de agua disminuye con el aumento de la temperatura debido a reacciones con monóxido de carbono y metano.



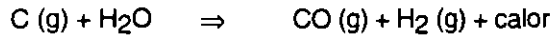
2.2.3 estabilización termodinámica

Los residuos que contienen elementos que son tóxicos deben estabilizarse a sus formas termodinámicas más estables (G negativa). El proceso se realiza por medio de reacciones de diversa índole como ácido-base, hidrólisis, oxido-reducción; que se llevan a cabo por procesos físicos y químicos, a diferentes temperaturas y presiones; o microbiológicos. Las formas finales deben ser del tipo de las que existen en la naturaleza y se deben disponer en condiciones similares a las naturales. Por ejemplo, si se transformó un arsenito soluble en arsenopirita, el material estabilizado debe enterrarse para mantener las condiciones reductoras y en concentraciones análogas a las que presentan los depósitos naturales ricos en arsenopiritas. Si es posible se debe buscar la posibilidad de reusar el material estabilizado, especialmente cuando tienen valor comercial como es el caso del selenio, cromo, zinc, plomo, etc. O si sus volúmenes hacen imposible el proceso no queda más que procesos físicos que protejan del intemperismo a los materiales residuales. Este tipo de solución utiliza cualquier medio químico, físico o microbiológico que cambie la especie tóxica a formas inertes. Se ha limitado su uso ya que para su instrumentación se requieren de estudios específicos.

Reacción principal



Reacciones secundarias

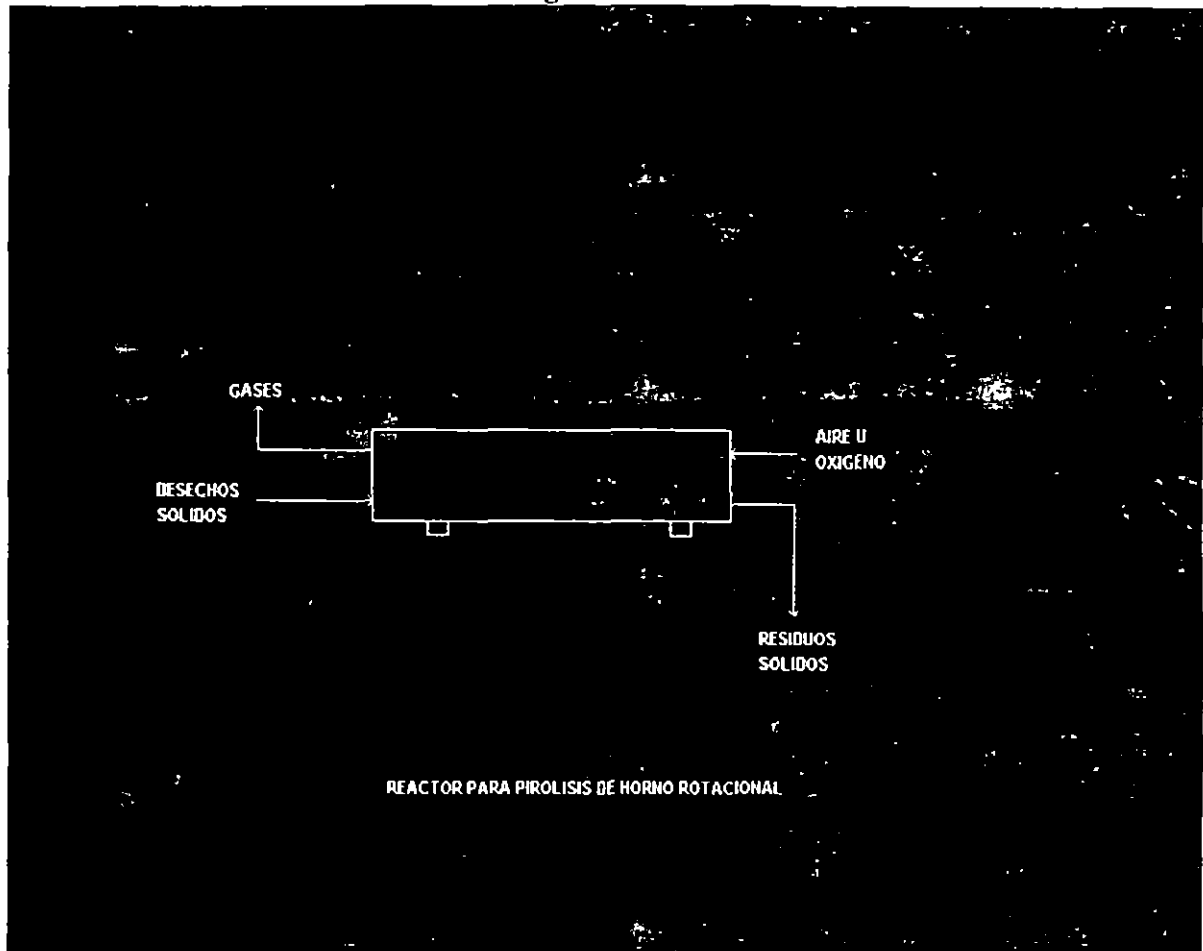


En cuanto a los residuos sólidos del proceso se puede generar carbón en forma de un polvo muy fino y ligero el cual puede ser fácilmente obtenido de materiales cribados que contengan el compuesto original; por ejemplo, plástico. Este residuo sólido tiene como característica que poseen un alto valor calorífico, puede reutilizarse o puede ser adicionado a los suelos.

Con respecto a los productos gaseosos se generan hidrógeno, monóxido de carbono, metano y etileno. Es pertinente mencionar que los gases producidos poseen altos valores calóricos. Por otro lado, en la fracción líquida se obtienen productos como el alquitrán (brea), aceites ligeros, y alcoholes (Figura 21)

El rendimiento específico de los productos del proceso de pirólisis está influenciado por el tiempo de residencia, temperatura, tamaño de partícula del desecho alimentado, y la atmósfera (O_2 , aire, O_2 libre, vapor). Por otro lado, es preciso distinguir entre una pirólisis a temperatura baja que fundamentalmente conduce a reacciones alifáticas, y una pirólisis a altas temperaturas, en la que se aromatizan las fracciones alifáticas.

Figura 23



Avances actuales en la aplicación de la pirólisis la cogeneración

Estudios realizados por Kaiser y Friedman (1968), en pruebas de laboratorio sobre destilación destructiva de desechos orgánicos y la posibilidad de gasificar completamente materia orgánica fueron realizados con basura homogénea, dichos estudios mostraron una aplicación importante de la pirólisis para la destrucción de desechos. En cuanto a la emisión de gases producida durante el proceso, revelaron que la cantidad de gas producida es alta cuando el proceso se lleva a cabo a temperaturas altas, ó bajas con una baja producción de intermediarios, lo cual indica que es posible realizar el proceso por la adición rápida de calor. Drobny y Hull (1980) sugieren que el carbón producido durante la pirólisis puede ser convertido en gas mediante la adición de oxígeno al ambiente después de la pirólisis, ya que el calor producido de la combustión del carbón puede ser utilizado para pirolizar más desechos que entran al proceso, estableciendo un sistema más eficiente en el cual el calor desprendido es reutilizado (Figura 24).

- β la cantidad de aceites ligeros condensados disminuye con el aumento de la temperatura debido a reacciones de "cracking" las cuales dan productos de bajo peso molecular.
- β finalmente, el rendimiento de los gases y el contenido calorífico aumentan con la temperatura.

Tipos de residuos

El proceso de pirólisis puede ser aplicado a los residuos sólidos, a los lodos y a los residuos líquidos. Los siguientes residuos son recomendables para ser tratados por pirólisis:

- materiales que son muy viscosos, abrasivos o que varían mucho en consistencia como para ser atomizados en un incinerador.
- residuos que presentan un cambio total o parcial en sus fases durante el proceso térmico, como los plásticos
- materiales que contienen sales o metales que se funden o pueden volatilizan en las temperaturas de un incinerados normal
- materiales con alto contenido de residuos, como líquidos con una concentración elevada de cenizas.
- residuos almacenados en contenedores o tambores que no pueden ser drenados
- residuos inorgánicos volátiles a altas temperaturas como NaCl, FeCl₂, Zn y Pb

Tipos de sistemas de pirólisis

La mayor parte de los sistemas de pirólisis son muy similares. Antes de cargar los desechos sólidos municipales en el reactor de pirólisis, el producto alimentado es secado y triturado y se introduce al reactor oxígeno o aire en el caso de reactores de calentamiento indirecto. El calor contenido en los productos de pirólisis es recuperado mejorando la calidad de los posibles productos del proceso final.

Entre los tipos de reactores que se usan en pirólisis, los más populares son:

- β reactor de eje
- β reactor de horno rotacional
- β reactor de lecho fluidizado

En los reactores verticales la alimentación de los desechos sólidos municipales se alimentan por la parte superior, depositándose en el fondo por su propio peso. Oxígeno, aire, o calor de cambio se alimenta por la parte inferior del reactor. Los gases generados en el proceso pasan hacia arriba y son removidos por la parte superior (Figura 22)

Con base a estos datos se concluye que la energía obtenida del gas es más que suficiente para proporcionar calor durante el proceso de pirólisis. A continuación se presenta algunos datos sobre el desarrollo de la pirólisis para la generación de electricidad.

En 1938, W.L. Faith y J.E. Hendrick realizaron un perfil de descomposición térmica (pirólisis) a nivel de laboratorio en dos partes, la primera enfocada a sólidos tales como madera y carbón, y la segunda para líquidos como el petróleo. Con el avance tecnológico logrado en el transcurso del tiempo se han ido instrumentando sistemas de control para una pirólisis óptima. Abdullaev, et al., (1974) desarrollaron un tipo de sistema de control por computadora para el tratamiento de diversos disolventes (etileno, propileno y gasolina).

Brelski, Edwart, (1974) determinaron que existe una relación muy estrecha entre el tipo de material que se procesa y el equipo que se debe utilizar. En este trabajo se describen las características del material, y el tipo de reactor que debe utilizarse para obtener una mejor eficiencia. Bandik, et al, (1972) proponen la pirólisis de hidrocarburos en un reactor experimental de alta temperatura de flama en el que se mide el efecto del oxígeno en la composición de los gases resultantes, además determinan las condiciones para un máximo rendimiento. Von Klenck, et al, (1973) propusieron una modalidad diferente de reactor pirolítico. Éste consiste básicamente en un líquido que se pone en contacto directo con el material a tratar, los cuales forman una nata que es continuamente retirada, y en donde los gases formados son empleados para generar energía eléctrica, la cual se utiliza en la operación del horno para mantener la fluidez del material fundido. También se debe considerar que dentro de las varias condiciones operacionales de los hornos de pirólisis, es posible seleccionar aquella en la que la concentración de oxígeno es baja o hay una ausencia total del mismo.

Kemp Klaus en 1976, describe un transformador anaeróbico de basura, en el cual existe un triturador y la basura ya cribada se transporta al interior del horno que contiene un condensador de gases, los cuales pueden ser reutilizables, así como los otros productos líquidos y sólidos obtenidos.

Se ha estudiado el uso de la pirólisis para la degradación y obtención de diversos compuestos, provenientes de la celulosa. Rodríguez Jimenez y colaboradores (1989) estudiaron la conversión de desechos de lignocelulosa por medio de la pirólisis, para manufacturar combustibles por un proceso de calentamiento ultrarápido, en un intervalo de 500-600 ° C. .

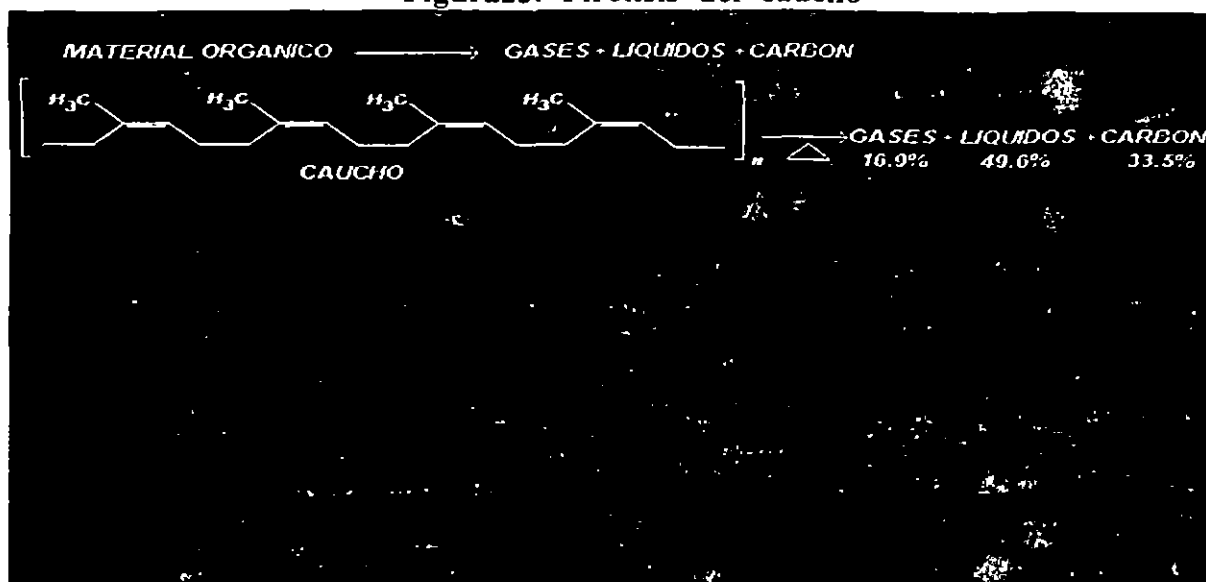
Por otro lado se informó la obtención de lignoglucosa a partir de celulosa mediante una pirólisis rápida, obteniendo además hidroxiacetaldehído. Se determinó que de acuerdo a las condiciones de temperatura, la reacción puede seguir rutas alternas. Diversos autores hacen notar que la pirólisis es un proceso que, por las condiciones en las que opera y los productos que se forman, no sólo es posible de utilizar para el tratamiento de desechos sólidos o líquidos, sino que es factible de instrumentar como herramienta complementaria en el análisis químico, especialmente unido a la cromatografía de gases; por ejemplo, sirve para la caracterización de material químico orgánico (Somukawa Kisaburo); o como prueba de laboratorio para obtener información acerca de la degradación térmica de compuestos orgánicos e incluso para el tratamiento de desechos radioactivos.

Brenist y Waerme, en 1992 aplicaron esta técnica para el tratamiento de diversos residuos como fangos y arena fundida. Mingxie, et al, (1991) llevaron a cabo un estudio experimental para el tratamiento de desechos radioactivos que contienen plásticos y caucho, los cuales son quemados bajo ciertas condiciones controladas de oxígeno, obteniéndose un factor de reducción de volúmenes muy alto, bajo condiciones controladas. Hollan, Kenneth, et al, (1992), instrumentaron un sistema de pirólisis para la destrucción de desechos sólidos generados en servicios hospitalarios tales como jeringas, frascos y otros materiales.

Referente al tratamiento de hidrocarburos y residuos orgánicos se han desarrollado métodos para optimizar su uso como fuente de energía, entre estos se encuentra un reactor de pirólisis ultra rápido que adiciona calor para la pirólisis de desechos orgánicos y sólidos, recuperando diversos productos petroquímicos (Brown, Douglas, et al, 1992). El material crudo es recuperado de desechos petroquímicos mediante una pirólisis ultra rápida de sólidos granulados transportados mediante un tren de gases en un tubo helicoidal metálico. Los productos sólidos extraídos en la reacción del gas son separados y los productos primarios líquidos de la pirólisis son condensados. El gas combustible de bajo contenido calorífico que se produce en el quemador proporcionan el calor para la combustión, mezclándolo con el gas transportador, de manera que se logra implantar un proceso cíclico.

El caucho, llantas, etc. son pirolizadas en un reactor ultra rápido (0.41 s de tiempo de residencia, a 550^o) resultando 33.5 % de carbón, 16.9 % de gases, y 49.6 % de líquidos, este líquido recuperado comprende aceite de un grado similar al aceite del número 2 y contiene compuestos como benceno, xileno, tolueno, estireno, y limoneno. Los gases recuperados contienen principalmente 12.58 % de hidrógeno, 22.46 % de metano, 15.15 % de etano , 13.77 % de propano y 9.67 % de isobutano (fig. 25).

Figura25. Pirólisis del caucho



De acuerdo a Neubert, et al, (1989) los desechos tratados por pirólisis en combinación con la incineración a altas temperaturas y a fuego lento, permiten reciclar los residuos de este proceso en forma casi total; o se pueden disponer sin peligro para que se integren a los ciclos naturales. Por lo que la pirólisis conforma un ejemplo de sistema limpio.

En los Estados Unidos de Norteamérica se está aplicando la pirólisis Conrad¹ de Pamco Environmental (Seattle, Washington) para tratar plásticos, lubricantes gastados y otros residuos peligrosos, con gran éxito, siendo una tecnología recomendada por la asociación de fabricantes de plástico.

Ventajas y limitaciones de la pirólisis:

ventajas

- el volumen de desechos puede ser reducido en un 90% o más
- no causa problemas de contaminación de aire, ya que es un proceso prácticamente cerrado
- es un proceso que requiere pequeños espacios, resultando en bajos costos para su transportación
- es factible recuperar metales, ya que los procesos de oxidación son mínimos
- requiere de menos temperaturas que la incineración, por lo tanto aumenta la vida de los refractarios y disminuye las necesidades de mantenimiento.
- no requiere de un control de emisiones tan complejo como los incineradores
- el caracter endotérmico permite el control de proceso
- residuos sólidos y líquidos pueden ser homogenizados, transformándolos mediante la pirólisis en una corriente gaseosa muy adecuada para una incineración controlada,
- los constituyentes recuperables quedan en la fase sólida
- se reduce el volumen de residuos considerablemente
- se forman vapores condensables con valor económico que se pueden recuperar los vapores no condensables pueden utilizarse como fuente de energía

limitaciones:

- parte de los componentes con valor energético pueden ser retenidos por el carbón
- se requiere de incineración para "destruir" sustancias carcinogénicas presentes, de acuerdo a los requerimientos legales

"En la mayoría de los casos las cenizas que el proceso genera no son peligrosas. Si es necesario los residuos ricos en carbón se tratan nuevamente con calor. Este tipo de tratamiento disminuye en forma importante el volumen original" (Freemen, H.M. ed. 1989)

INCINERACIÓN

La destrucción de residuos por medio de procesos térmicos, no es una práctica nueva ya que desde tiempos antiguos los desechos generados por las ciudades eran eliminados por la incineración². Como producto final de esta práctica se obtenían cenizas las cuales se utilizaban en los campos agrícolas como un producto auxiliar. Estas prácticas de por sí eran inadecuadas, con el tiempo se volvieron altamente contaminantes, por lo que fueron gradualmente sustituidas por procesos y técnicas más eficientes y complejas.

La incineración es el proceso más recurrido para la destrucción de residuos municipales y peligrosos. Se sabe que las primeras instalaciones para incinerar residuos municipales, se construyeron a final de el siglo pasado, un ejemplo de ellas es el incinerador construido en Inglaterra en la ciudad de Nottingham en el año de 1874. En los inicios de el presente siglo el uso de los incineradores conformaba uno de los métodos más usados para el control de los residuos municipales. Como resultado en Europa en la segunda década de este siglo existían alrededor de 300 instalaciones en operación y en los EE.UU., existían cerca de 200 plantas.

En la década de 1950, se construyen los primeros incineradores automáticos de mayor eficiencia y eficacia. Apartir de la crisis mundial de energéticos en la década de 1970, se impulso la investigación y desarrollo en la incineración, para la búsqueda de combustibles alternos a los derivados de el petróleo, por lo que se empezó a popularizar el aprovechamiento del poder calorífico de la incineración de residuos sólidos. Como ejemplo, sólo en EE.UU.A. se construyeron 86 incineradores a mediados de la década de 1980, y para recuperar calor se incineraron alrededor de 70 millones de toneladas diarias de basura.

Los países industrializados fortalecieron sus programas de incineración durante los últimos 20 años, de manera especial aquellos en los cuales se lleva a cabo la recuperación de energía. No obstante actualmente ya no es tan popular pues se han presentado problemas por la acumulación de las sustancias gaseosas no reactivas o por la falta de control en las emisiones, que se puede deber a problemas técnicos o al elevado costo que representa el retener gases en concentraciones vestigiales.

Información básica de la incineración

La incineración consiste en la quema de materiales en presencia de oxígeno, mediante una flama controlada, en una cámara cerrada (compartimiento).

Muchos compuestos que se desechan son mezclas orgánicas que se queman a temperaturas bajas, como es el caso de madera, aceite, etc; mientras que algunos compuestos orgánicos, que pueden contener los residuos peligrosos, se queman con mayor dificultad por lo cual deben ser sometidos a temperaturas altas. Esta es una de las razones por la cual los incineradores trabajan a tales temperaturas, ya que sólo así se asegura la destrucción de compuestos orgánicos. Sin embargo, la incineración no destruye los compuestos inorgánicos tales como las sales o metales y tampoco los compuestos de carbón que no contienen hidrógeno. Los materiales inorgánicos pueden ser enviados a disposición final

² Para el hombre primitivo e inclusive el actual, considera que el quemar o enterrar "desaparecen" o "destruyen" los desechos.

y se disminuyen algunos de los riesgos que implican en su manejo. A partir de 1994, en EEUUA se obliga a manejar en confinamientos a los residuos finales de la incineración.

En general, la incineración sigue las siguientes etapas de operaciones:

- 1a. etapa. Los residuos son alimentados al incinerador ya sea por carga manual o automática.
- 1a. etapa. Los residuos son incinerados o quemados, destruyendo sus compuestos orgánicos generando productos residuales en forma de cenizas y gases.
- 3a. etapa. La cenizas es recolectada, enfriada y removida del incinerador.
- 4a. etapa. Los gases se enfrían, se limpian y son liberadas a la atmósfera a través de la chimenea.

El equipo específico usado para cada una de las fases antes señaladas, depende del tipo de incinerador, así como de las características físicas y químicas de los residuos para los cuales los incineradores se han diseñado. En algunos sistemas, los residuos son precalentados antes de entrar a la cámara de combustión donde se registran temperaturas más altas.

En la sección de alimentado se preparan los residuos dependiendo de su estado físico dada que la alimentación es continua. Por ejemplo, un líquido puede requerir filtración ya que normalmente es bombeado a través de boquillas, las cuales atomizan el residuo junto con el combustible para que se quemen más fácilmente. Los residuos sólidos pueden requerir trituración y ser alimentados a granel o en contenedores usando mecanismos de transporte o por gravedad.

La cámara de combustión conforma el corazón de un proceso de incineración. Es parecida a una estufa y contiene un quemador donde son quemados los residuos, por lo cual es diseñado para retener y mantener la temperatura extremadamente alta. Al calentarse y gasificarse los residuos, éstos son mezclados con aire y pasados a través de flamas a muy altas temperaturas. En cuanto la temperatura de los gases se eleva, comienza la descomposición de materia orgánica que forma átomos o grupos de átomos que cuando entran en contacto con el oxígeno de el aire, forman compuestos inorgánicos tales como bióxido de carbón y agua. Dependiendo de la composición química de los residuos se pueden generar otros componentes inorgánicos como ácidos clorhídrico y sulfídrico.

Las temperaturas alcanzadas en la cámara de combustión son altas, varían en el intervalo de 900 °C a 1,400 °C (cuando están presente compuestos más refractarios se requieren temperaturas superiores a las señaladas). Los tiempos en que ocurre la combustión a estas temperaturas varían en varios segundos. En la mayoría de los incineradores actuales la combustión se efectúa en dos cámaras. La combustión de compuestos orgánicos de bajo peso molecular normalmente se efectúan en la primera cámara. Para los compuestos de mayor peso molecular, los cuales son más difíciles de quemar, la combustión completa se logra en la segunda cámara, después de que éstos han sido convertidos en gases y parcialmente quemados en la primera cámara.

Principales variables para el control de la incineración

Para lograr una incineración eficiente de los residuos se requiere, básicamente, del control de las siguientes cuatro variables :

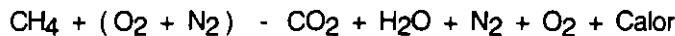
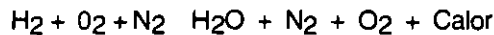
- temperatura de operación de la combustión.
- tiempo de residencia de los residuos en la cámara de combustión.
- turbulencia, para el mezclado óptimo del residuo con el aire.(un factor que se encuentra altamente relacionado con la última variable).
- cantidad de oxígeno disponible en la zona de combustión.

Como ya se mencionó los sistemas de incineración se diseñaron para destruir residuos orgánicos, sin embargo, existen muchos residuos que también contienen muchas sustancias orgánicas no combustibles.

La incineración es un proceso simple cuando es visto de una manera superficial. Los compuestos orgánicos contienen carbono, hidrógeno y algunas veces oxígeno y nitrógeno con la posible presencia de metales y no metales como son los halógenos. Esto permite describir superficialmente la química de combustión, como la transformación del carbono a dióxido de carbono y el hidrógeno en agua. Desgraciadamente, esta química, sólo sería cierta en el caso de que las reacciones se llevaran a cabo con una eficiencia del 100 % lo que no ocurre.

Se considera que una combustión es completa, cuando existe una buena oxidación de los componentes orgánicos de carbono e hidrógeno. Para lograrla se requiere de una mezcla adecuada de aire, -considerando que sólo contiene 21 % de oxígeno por volumen-, con el carbón y el hidrógeno del combustible (residuo), para obtener bióxido de carbono y agua, en cantidades estequiométricas. Bajo estas condiciones, supuestamente el 79 % de nitrógeno presente en el aire se comporta como gas inerte, por que se considera que se mantiene constante durante todo el proceso de combustión.

Las reacciones típicas de la combustión son :



tecnologías aplicables para los sistemas de incineración

En la actualidad el funcionamiento en la industria de varios tipos de incineradores que operan, se clasifican en función de su diseño de la cámara de combustión y se engloban de la siguiente manera:

- a) de inyección líquida
- b) horno rotatorio
- c) lecho fluidizado
- d) de hogar múltiple
- e) de hogar fijo

A continuación se da una breve descripción de cada equipo :

- a) Incineración por inyección líquida.** Estos incineradores son usados exclusivamente para residuos de líquidos bombeables, pero también pueden ser alimentados con gases residuales. Están equipados de un simple cilindro que puede ser vertical u horizontal. Los residuos son inyectados a través de un atomizador. La eficiencia de el incinerador esta determinada por la atomización final de el residuo. ~~Las temperaturas de el residuo de las flamas alcanzan alrededor de los 1,593 C (2,900 F) y el tiempo de residencia de los residuos es de uno a dos segundos.~~
- b) Horno rotatorio.** Residuos de todos tipos son alimentados dentro de un gran cilindro que puede tener más de 18.3 metros (60 pies) de longitud. El cilindro gira lentamente y reclina a un ángulo de 5. Los residuos sólidos y líquidos son inyectados o empujados dentro del horno para ser convertidos en cenizas y agua. El horno gira muy lentamente y el tiempo de residencia de los sólidos es de 30 minutos. Los productos de los gases incombustibles proveniente de el horno son enviados a una cámara de combustión secundaria. Estas unidades alcanzan temperaturas de 1,260 C (2,300 F).
- c) De lecho fluidizado.** Aunque este tipo de dispositivos se conoce desde hace tiempo, sólo recientemente se han usado para quemar residuos peligrosos. Consta de un cilindro vertical que puede ser de 13.7 metros (45 pies) de alto, forrado con un lecho de arena alumínica o de carbonato de calcio. Esta mezcla con el residuo por medio de aire. Al agregar los residuos, inicialmente líquidos o lodos, éstos se mezclan con el lecho a temperaturas cercanas a los 871C (1,600 F). El escape de los gases fluye dentro de un quemador posterior para una mejor combustión. Aunque estos

incineradores les falta la versatilidad del horno rotatorio, son más eficientes térmicamente que dichos hornos.

- d) De hogar múltiple.** Los incineradores de múltiples etapas al principio no fueron considerados como incineradores, fueron utilizados como equipo para tostar rocas y minerales de varias minas y para el refinamiento de operaciones, posteriormente la tecnología se aplicó en un mercado de crecimiento rápido: la disposición de desperdicios de lodos. Este sistema aparece en la década de 1960 cuando las regulaciones mundiales para el control de emisiones a la atmósfera no eran tan estrictas.
- e) Incineradores de hogar fijo.** Los incineradores de aire controlado están contruidos básicamente, como el sistema anterior, con una sección de quemado que opera después de la sección principal, con el objeto de quemar los productos que no se oxidaron durante la combustión de la primera sección. Este sistema era pequeño y modular y fue muy utilizado durante 1970 para la destrucción de los desperdicios de industrias y algunos materiales peligrosos.

En la actualidad los incineradores de inyección líquida son los tipos de incineradores más comunes, estos representan el 64 % de todos los incineradores de residuos peligrosos que se encuentran en servicio .

El diseño en los incineradores (donde se realiza la atomización mezcla de aire y quemado), es análogo al de una caldera, debido a que, principalmente, los combustibles son líquidos. El diseño debe considerar las características de los desperdicios líquidos, es decir si los residuos son de naturaleza orgánica, acuosos, acuosos-orgánico o acuosos-orgánico-sólidos. Los residuos sólidos están, usualmente, disueltos en orgánicos líquidos (cuyas características químicas son análogas).

Los compuestos orgánicos que contienen moléculas de cloro son de los residuos más peligrosos y son designados organoclorados. Proviene principalmente de usos de las actividades agrícolas, farmacéutica y de refinación. Al incinerar el cloro, éste elemento disminuye el poder calorífico y forma un material difícil de quemar. El material clorado al quemarse de una manera incorrecta, produce un polvo negro y los productos de la combustión incluyen ácido clorhídrico gaseoso, bióxido de carbono, oxígeno, nitrógeno y vapor de agua.

El problema que presentan la incineración de compuestos organoclorados, es su naturaleza corrosiva, la cual provoca un desgaste mayor en las boquillas, refractarias y en los instrumentos de control de contaminación del sistema de incineración.

emisiones de los sistemas de incineración

De la combustión de residuos se genera dos subproductos terminales: gases y sólidos en forma de cenizas. Los gases de combustión principalmente están compuestos de bióxido de carbono y vapor de agua, y pequeñas cantidades de monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y otros gases que dependen de la composición de los residuos incinerados (cuadro 4). La ceniza es un material inorgánico que puede ser inerte o no, dependiendo de el residuo. En general, está formada por materia carbonizada, sales y metales, aunque como ya se comentó su composición exacta, como los gases, depende de tipo de residuo quemado. Durante la combustión, la mayoría de las cenizas se colecta en el fondo de la cámara, sin embargo, una fracción de ellas es llevada junto con los gases en forma de pequeñas partículas. Diferentes tipos de residuos producen diferentes cantidades de ceniza. La incineración de los residuos sólidos produce mayores cantidades de ceniza, normalmente del 10 al 30 % de la cantidad original de residuo.

Un incinerador con un buen diseño, puede tratar cualquier tipo de material. Estos incineradores deben operar a niveles extremadamente cerrados, para asegurarse la destrucción total de todo compuesto orgánico. Estos equipos en teoría pueden alcanzar el 100 % de eficiencia, pero en la realidad no lo logran (ningún proceso es cien por ciento eficiente).

Cuadro 4 características de emisión en un proceso de incineración de residuos peligrosos.

características del gas:	cantidad
Oxígeno	8 -15 %
Bióxido de carbono	6 - 10 %
Monóxido de carbono	0 - 200 ppm
Hidrocarburos totales:	0 - 50 ppm
Emisiones particuladas:	
Unidades sin especificar	60 - 900 mg/dscm (0.03 -039 g/dscf)
Unidades especificadas	20 - 400 mg/dscm (0.01 -01 g/dscf)

El tipo y cantidad de compuestos, generados como subproducto de la incineración depende de la composición del residuo de la completa seguridad de el proceso de combustión y del equipo de control de contaminantes atmosféricos.

ventajas y limitaciones de la incineración

Los principales beneficios que ofrece este proceso de destrucción térmico son:

se aplica a una gran variedad de residuos (líquidos, sólidos, y lodos), independientemente o combinados.

su eficiencia de remoción es alta (hasta de 99.99 % o más)

posibilidad de recuperar calor y gases

destrucción de contaminantes con producción de productos terminales como CO₂ y agua

los residuos terminales de la incineración (cenizas y gases) cumplen los requisitos para una disposición final, ya que en la mayoría de los casos los residuos se encuentran estabilizados.

reduce el volumen y peso de los residuos a una fracción pequeña del volumen original, sobre todo a los residuos de alta carga orgánica.

limitaciones

un alto contenido de humedad afecta los requerimientos de energía

genera gases que son liberados a la atmósfera propiciando una fuente de contaminación

los intervalos de temperatura requeridos son altos (900 C a 1,400 C), lo cual implica un control riguroso de la misma.

se puede requerir energía adicional

los subproductos de la incineración requieren tratamiento específico: humos, escorias y cenizas (residuos peligrosos)

la energía calorífica producida en la incineración, no puede ser almacenada por largos periodos de tiempo.

**Laboratorio de Análisis Físicos y Químicos del Ambiente
Instituto de Geografía, UNAM**

el control los gases y vapores emitidos (NOx y Dioxinas entre otros) requiere equipo adicional, por lo que eleva su costo.

se requiere personal altamente capacitado

la mayoría de los residuos organoclorados no deben ser incinerados, tal es el caso de los bifenilos policlorados, DDT, dioxinas, furanos, etc. Debido a que requiere altas eficiencias de remoción (hasta, 99.9999 %).

TRATAMIENTO TÉRMICO POR INFRARROJO

Se genera radiación infrarroja y se tratan los gases con tiempos de retención adecuados. Se logra quemarlos transformándolos a cenizas, soluciones acuosas y gases de combustión que se filtran. Presenta las mismas desventajas de la incineración, ya que sus residuos sólidos a su vez requieren ser confinados.

VITRIFICACIÓN

El tratamiento de vitrificación térmica es usado para inmovilizar los componentes peligrosos de los residuos y transformar el comportamiento químico y físico del mismo. La destrucción de los residuos peligrosos es logrado en una cámara de reacción a altas temperaturas y sin oxígeno (termólisis) que permiten reducir los compuestos a sus estados elementales o moléculas reducidas (CO, H₂ y carbón). Durante el proceso los contaminantes elementales se funden junto con la masa vítrea (silicosa). Las ventajas de la vitrificación, es que al igual que la termólisis, no se forman productos de oxidación y los productos inorgánicos obtenidos son muy poco solubles. La desventaja es que no permite el reuso o reciclado, como en el caso de la producción de ladrillos.

Se puede realizar este proceso *in situ*, insertando cuatro electrodos en el suelo a la profundidad deseada. Se coloca una mezcla de grafito y vidrio conductores entre los electrodos, para que el calor generado por la corriente entre los mismos, permita la formación del vidrio. El grafito es consumido por oxidación durante el proceso y la corriente es transferida al suelo fundido que se transforma en material conductor. Los compuestos orgánicos se termolizan transformándose en gases combustibles ligeros que migran hacia la superficie donde son quemados en presencia de oxígeno. Los materiales inorgánicos quedan formando parte del vidrio ya sea disueltos o simplemente encapsulados. Cuando la corriente eléctrica cesa, el vidrio se solidifica y los gases se captan para su posterior tratamiento.

Cabe hacer mención que con estos sistemas *in situ* se elimina la posibilidad de contaminar los acuíferos, pero se destruye el suelo que es un material natural invaluable que tarda miles de años en formarse y que es vital para la vida (se considera la piel de la tierra).

2.2.5 *tratamientos físicos y químicos*

OXIDACIÓN CON AIRE HÚMEDO (WET AIR OXIDATION)

Es un tratamiento que rompe los enlaces presentes en los compuestos orgánicos e inorgánicos oxidables, ya sea que se encuentren como sólidos en suspensión o disueltos. Se realiza a altas temperaturas y presiones, y en un ambiente acuoso. Se desarrolló para tratar los lodos de plantas de tratamiento que contienen cantidades considerables de agua y, por lo tanto, se puede aplicar para tratar residuos líquidos o en forma de lodos que contienen compuestos peligrosos como orgánicos halogenados, cianuros inorgánicos y orgánicos, y fenoles, que no son fácilmente biodegradables. También se puede utilizar para reactivar el *carbón activado* que ha perdido su capacidad de adsorción.

EXTRACCIÓN QUÍMICA

Se basa en extracciones de los contaminantes con diferentes disolventes no polares y polares, incluyendo agua. Se obtienen tres fases: la orgánica, la acuosa y la sólida. El residuo necesita un pretratamiento antes de adicionar el disolvente para que puedan manejarse los lodos con bombas. Se requieren condiciones alcalinas (pH 10) para que los disolventes no se oxiden. No se puede aplicar esta técnica a materiales que contienen metales pesados o componentes inorgánicos. Una vez obtenidos los disolventes no polares se destilan para su reciclado y el residuo se trata por algún tratamiento térmico o se confinan. En el caso de las extracciones acuosas se utiliza un filtro de carbón para separar los orgánicos del agua, y si tiene metales arriba de un límite permisible, estos deben precipitarse. Los aceites, dependiendo de su composición, son posibles de reutilizar, en caso contrario se deben destruir térmicamente. Los sólidos se analizan para determinar si se necesita una posterior estabilización antes de ser confinados.

TRATAMIENTO QUÍMICO *IN SITU*

Este tratamiento se realiza en la propia planta industrial, utilizando disolventes. Una vez extraídos los contaminantes se llevan a cabo diversas reacciones para estabilizarlos, entre ellas neutralizaciones, reacciones ácido-base, oxidaciones, reducciones y precipitaciones; o se añaden reactivos específicos. Puede aplicarse, entre otros, a residuos que contienen hidrocarburos halogenados o no halogenados, bifenilos policlorados y iones metálicos.

También se puede utilizar la adición de nutrimentos para promover el crecimiento microbiano y acelerar la biodegradación. Se considera necesario comentar que la biodegradación resulta el único método recomendable para limpiar suelos *in situ*.

LAVADO DE SUELOS

Extrae contaminantes de matrices sólidas con capacidad de adsorción a través de mecanismos como el de intercambio (suelos, sedimentos, etc.) utilizando un medio líquido que es una mezcla de disolventes orgánicos, agua, agentes quelatantes y surfactantes, ácidos o bases; de acuerdo con la naturaleza del contaminante que se quiere remover. Este proceso se puede realizar directamente sobre suelos para recuperar los lixiviados o limpiar las aguas profundas. Este método presenta varias desventajas, los nutrimentos y componentes normales del suelo se pueden lixiviar junto con los contaminantes, además la recuperación de los lixiviados puede no ser completa y contaminar cuerpos de agua no controlados.

REFLUJO DE LOS SUELOS

Consiste en inyectar un disolvente o una solución surfactante al suelo directamente en el terreno contaminado y recuperar por bombeo el lixiviado. Se requieren de pozos de extracción en la zona contaminada, pozos de reinyección y un tratamiento para las aguas que contienen los contaminantes, y que son bombeadas. Se utiliza principalmente para remover orgánicos volátiles de suelos permeables.

DECLORINACIÓN CON GLICOLATO

Se utiliza polietilén glicolato de potasio para eliminar los halógenos de ciertos tipos de orgánicos clorinados en líquidos, sólidos y lodos contaminados con orgánicos. Se aplica para aceites con dioxinas y diesel que contiene PCB, dioxinas y clorobenzenos, para convertirlos en materiales de menor toxicidad. El reactivo reacciona con las moléculas orgánicas, desplazando al ion cloro. Se requiere mezclar el material contaminado con este reactivo en partes iguales en un reactor y posteriormente calentar para que la reacción se lleve a cabo. El tiempo de reacción varía de 0.5 a 5.0 horas, dependiendo del tipo de contaminante y su concentración; y, finalmente, del nivel de eficiencia en la eliminación del cloro que se quiere lograr.

ELIMINACIÓN TÉRMICA A BAJAS TEMPERATURAS

Se utiliza para eliminar compuestos volátiles orgánicos de los residuos. Con un flujo de aire a temperaturas adecuadas se volatilizan los compuestos orgánicos que son atrapados en filtros de carbón o enviados a sistemas térmicos de mayor temperatura. Se utiliza para descontaminar suelos y otros materiales similares de orgánicos con puntos de ebullición menores a 800 F y con concentraciones no mayores al 10% de compuestos orgánicos y menos del 60% de humedad. Las temperaturas relativamente bajas en presencia de nitrógeno evitan reacciones de oxidación no deseadas.

TRATAMIENTO AL VACÍO Y EXTRACCIÓN POR VAPOR (*IN SITU*)

Al igual que la técnica anterior, ésta se utiliza para remover compuestos orgánicos en suelos y materiales similares. Se requiere establecer pozos para realizar el vacío, para monitorear y bombas adecuadas. Éstas se conectan al sistema de pozos distribuidos en el terreno contaminado y arriba del manto freático. Los pozos de monitoreo ubicados alrededor de los anteriores funcionan para medir la presión de vacío obtenida en campo. Se recuperan los vapores y se envían a un filtro de carbón o un sistema térmico para su destrucción. Si es necesario se limpian los acuíferos. Debe hacerse notar que el sistema es muy complicado y caro, pues no asegura totalmente la limpieza del acuífero. Muchas veces el contaminante se adsorbe en las arcillas, en sitios donde no se logra crear el vacío suficiente para su eliminación; por lo que posteriormente los orgánicos pueden desorberse y recontaminar el acuífero.

ESTABILIZACIÓN/SOLIDIFICACIÓN

Se aplica a sólidos, líquidos y lodos. La estabilización (no necesariamente para obtener compuestos estables desde un punto de vista termodinámico) se puede realizar *in situ* o en tanques o en contenedores donde se realizan las reacciones que disminuyen la movilidad de las especies peligrosas. Varias técnicas pueden utilizarse en forma conjunta para obtener un sólido que no lixivie. Especialmente es útil para residuos inorgánicos, en los cuales primero se ajusta el pH a niveles básicos (8.5) para disminuir la solubilidad de los metales no alcalinos, y después se mezcla con los materiales sólidos de muy baja solubilidad como cemento, plásticos y polímeros orgánicos. Posteriormente, el producto se puede enviar a confinamiento o relleno sanitario y regularmente se debe evaluar la calidad de los lixiviados.

ÓXIDO REDUCCIÓN QUÍMICA

Se utiliza para estabilizar materiales oxidantes o reductores y también sustancias que al oxidarse o reducirse pierden su peligrosidad. Especialmente, se ha aplicado a los cianuros, cromatos y otros metales susceptibles a precipitar a pH básicos. Los agentes oxidantes pueden ser cloro gaseoso, permanganatos, cromatos, peróxido de hidrógeno e hipocloritos; como reductores se utilizan sulfitos, metales alcalinos, tiosulfatos y metales transicionales en estados de oxidación bajos. Esta tecnología es muy útil, pero debe analizarse las especies formadas ya que en el caso de los cromatos, los promotores de esta tecnología han informado que se transforman en hidróxido crómico; no obstante, cuando se realizó la reducción de los residuos de la ex-planta de Cromatos de México, situada en Lechería, Estado

de México se encontró que se había formado sulfato crómico deshidratado que era insoluble, pero que en caso de hidratarse en el confinamiento se podría transformar a una especie soluble.

Se puede aplicar para oxidar materiales peligrosos que contienen bencenos, fenoles, orgánicos diversos, cianuros, arsénico, hierro II y manganeso II; y reducir a los PCBs, hidrocarburos no saturados, cromatos, e iones de mercurio, plomo y plata.

BIBLIOGRAFIA

- BAIRD C. (1995) *Environmental Chemistry*. Freeman, USA
- BANDIK, K. A.; NOVGORODOV, E. N.;(1972). "Pyrolysis of Gasoline by Altigh-Temperature flame in an Experiemental". Funks Org. Scedin. Polim. 127-34.
- BELL , P.R.;VARJAVAND, J.J.(1974)."Pyrolysis-Resourse Recovery from Solid Waste".Australian Waste Management Control Conference, University of South Wales.
- BENHAM,C.B.;DIEBOLD,J.(1976)."Conversion of Solid Waste to Fuels".*U.S.NTIS,AD Rep. AD.*
- CHENG, SHANG-I.(1975)."Pirolisis System and Process". *U.S.Pat.Appn 645,503* 16pp 30 Dec.
- CZUPYRNA, G. (1989) "In situ immobilization of heavy-metal-contaminated soil". NPYES DATA CORP. USA.
- DOMINGUEZ, G. I. Y BARTLETT, K. (1986) *Hazardous Waste Managment*. Vol. 1 "The Law of Toxic and Toxic Substances". CRC. Press. USA pp. 207
- DROBNY, N.L. ; HULL, M. E. ; TESTIN, R.F.(1980)." Recovery and Utilization of Municipal Solid Waste" U.S.P.H.S. Publication No. 1908
- EARL M. BILGER; HAROLD HIVVERT.(1936)."Mechanism of Organic Reactions. IV Pirolisis of esters and acetals". *Journal American Society*. 58:823-6.
- FAITH, W.L. ; MEDRICK , J.E.(1938). "Laboratory Equipment for Instruction in Thermal Decomposition" . Trans. Am. Inst. Chem. Engrs. 34:21-9.
- Freeman. H. M. Ed.(1989). Standard Handbook of Hazardous Waste Treatment and Disposal. McGraw Hill Ed. U.S.A.
- GRUNWALD, A.;VOD HOSPAD, B.(1974)."Treatment of Wastes Water form Pyrolysis Installations". 24(4) :93-7.
- HIGGINS, T. (1989) Hazardous waste minimization handbook. LEWIS Pub. U:S:A.
- HOFFMAN, D.A. ; FITZ, R. A.(1968)." Batch Retort Pyrolysis of Solid Municipal Waste" . *Enviromental Science and Technology*. 2(11): 1023.
- HOLDEN, T. ET. AL. (1989) How to select hazardous waste treatment technologies for soils and sludges. NOYES DATA CORP. USA.
- ~~HUANG, C.J.; DAL-TON, C.(1975)" Energy Recovery from Solid Waste".NAGA - CR-2326~~
- INOVE, KIMIO; SAKAY, TAMIHARU. (1973)"Tire Waste Treatment Processes by Thermal Decomposition Methods". *Sekiyu To Sekiyu Kagaku*. 17(9):35-9
- KAISER, E.R.; FRIEDMAN, S.B. (1968) "The Pyrolysis of Refuse Components". Combustion, May.,31
- LAMP, F. (1975) "Pyrolysis Fundamental Methodology".Int. Symp. on Energy Recovery from Solid Wasted, Kentucky Center for Energy Reserch , Lexington.
- LEIDNER, JACOB. "Plastics Waste Recovery of Economyc Value". Ed. Marcel Dekker INC. 1981, New York.
- MA, MINGXIE; QIU, MINGCAI; WANG, PEIYI; ZHOU, LIANQUAN; LIU, XIAOQUIN; ZHANG, SHUIQING. (1991)"Experimental Study on Pyrolysis Incineration Process For Radioactive Wastes". *Fushe Fanghu*. 11(6), 431-9 .
- MALLAN, G.M. and FINNEY, C.S.(1972) "New Techniques in the Pyrolysis of Solid Waste", presented at the 73rd National Meeting AICHE, Minneapolis, EPA, May, p.107.

-
- Mc. ATEE, R.E. (1992) "Test Plan For ISV Laboratory Pyrolysis Instalations". Report From Energy Res. Abstr. 17 (7).
- MORRIS G. J. (1974) A Biologist's Physical Chemistry. Addison Wesley Pub. U.S.A.
- PAVONI, L. JOSEPH; HEER E. JOHN; HAGERTY, JOSEPH D (1980) "Handbook of Solid Waste Disposal Material and Energy Recovery." U.S.A.
- RADLEIN, D; PISKORZ, J.; SCOTT, D.S. (1992) "Control of Selective in the Fast Pyrolysis of Cellulose". Biomass Energy. Ind. Environ, E.C. Conf. 6th 1991, 643-9.
- RODRIGUEZ, JIMENEZ, J.J; GARCIA HERRUZO, F; CORDERO ALCANTARA. (1989) "Pyrolysis of Cellulose". Ing. Quim. Madrid. 21 (249), 141-7.
- S.A.H.O.P.(1978) "NORMAS Y Proyectos para Sistemas de Manejo y Disposición Final de Desechos Sólidos en los Asentamientos Humanos de la Republica Mexicana", Secretaría de Agricultura, Hidráulica y Obras Públicas. Documento interno. México, p.91-100.
- S.A.H.O.P. (1979-1980) "Planes Municipales de Desarrollo Urbano", México,
- S.A.H.O.P. (1978) "Desechos Sólidos" Secretaría de Agricultura, Hidráulica y Obras Públicas. Documento interno. México, p.15.
- SAITO, MACKOTO; SAEKI, KOJI. (1976) "Fluidized Bed Thermal Decomposition of Waste Tires and Waste Rubber". *Raba Daijesuto* 28(3),20-7.
- SEDESOL. (1987) "Investigación sobre desechos solidos". Secretaría de Desarrollo Social. Documento Interno. México.
- SEMARNAP (1995). Seminario sobre procesos térmicos para el tratamiento de residuos. Instituto Nacional de Ecología, Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. México.
- SHARP, L.L.; NESS,R.O. (1993) "Gasification Pyrolysis of Waste Plastics for the Production of Fuel-Grade Gas". ACS SYMPOSIUM SERIES. Vol. 515, pp. 129-142.
- SPARKS, D. (1986). Soil Physical Chemistry. Ed. CRC Press. USA pp. 308
- SPOSITO G. (1989) the Chemistry of Soils. Ed. Oxford University Press. USA pp277
- SUCIU, G.C. (1974) "Pyrolysis-Ethylene Production". Ing. Prelucrării Hidrocarburilor. 2:201-45.
- THEORET, ANTOINE; SIMARD, REAL. (1956) "Pyrolysis of Solid Wastes: a Suitable Source of Energy and Raw Materials". *Ingenieur*.3(25):10-16.
- W.S. SANNEI, C. ORTUGLIO, J.G. WALTERS, AND D.E. WOLFSON. (1970) "Conversion of Municipal and Industrial Refuse into Useful Materials by Pyrolysis". Report of Investigation 7428, U.S. Bureau of Mines. Washington.
- WENNING, H.; PETER, BRENNST-WAERME-KRAFF. (1992) "Pyrolysis of Wastes". 44 (3), 548-552.
- WILSON,D.G. (1993) "Treatment and Management of Urban Solid Waste". Westport, Connecticut.
- WISE, D. AND TRANTOLO, D. (1994) Remediation of hazardous waste contaminated soils. DEKKER, USA.

Apéndice a: **DATOS GENERALES SOBRE LA LEGISLACION AMBIENTAL DE LOS
TRATAMIENTOS TÉRMICOS EN MEXICO Y EN EUA**

Los procesos térmicos se han utilizado como un método efectivo para la reducción o la transformación de residuos peligrosos. Ante el auge que han cobrado dichos procesos, las Legislaciones Ambientales de diversos países han regulado su funcionamiento para evitar un incremento en las emisiones. Los incineradores, por ejemplo, si son mal operados pueden producir dioxinas y furanos, compuestos altamente tóxicos.

MÉXICO

En México la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP) es el organismo encargado de llevar a cabo la política ambiental del Gobierno. Para cumplir con sus funciones este organismo cuenta con una Ley, un reglamento y diversas Normas, y con la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA) para hacer valer dichas regulaciones.

Tanto en la **Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA)**, como en sus Reglamentos, no existen artículos exclusivos para los tratamientos térmicos. Sin embargo, existe una serie de artículos que de alguna manera involucran a estos procesos como parte del manejo, transporte, recepción y tratamiento de residuos peligrosos. Entre los más significativos se encuentran:

Art. 5 "Serán responsables del cumplimiento de las disposiciones del Reglamento y de las Normas Técnicas Ecológicas que de él se deriven, el generador de residuos peligrosos, así como las personas físicas o morales, públicas o privadas que manejen, importen o exporten dichos residuos".

Art. 7 "Quienes pretendan realizar obras o actividades públicas o privadas por las que puedan generarse o manejarse residuos peligrosos, deberán contar con una 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. 10 "Se requiere autorización de la Secretaría para instalar y operar sistemas de recolección, almacenamiento, transporte, alojamiento, reuso, tratamiento, reciclaje, incineración y disposición final de residuos peligrosos así como para prestar servicios en dichas operaciones sin perjuicio de las disposiciones aplicables en materia de salud y de seguridad e higiene en el trabajo".

Art. 11. "En el caso de las instalaciones de tratamiento, confinamiento o eliminación de residuos peligrosos, previamente a la obtención de la autorización a que se refiere el artículo anterior, el responsable del proyecto de obra respectivo deberá presentar a la Secretaría la manifestación de impacto ambiental prevista en el Artículo 28 de la Ley, de conformidad con el procedimiento señalado en el Reglamento de Impacto Ambiental".

Art. 12. "Las personas autorizadas conforme al Artículo 10 de este Reglamento, deberán presentar, previo al inicio de sus operaciones I. un programa de capacitación del personal responsable del manejo de residuos peligrosos y del equipo relacionado con éste. II. Documentación que acredite al responsable técnico; y III. Un programa para atención a contingencias. La compañía deberá presentar un Programa de Capacitación para el manejo de residuos peligrosos."

Art. 23. "El destinatario de los residuos peligrosos conservará la copia del manifiesto que le entregue el transportista, para su archivo y firmará el original, mismo que deberá remitir de inmediato al generador".

Art. 25. "El transportista y destinatario de los residuos peligrosos deberán entregar a la Secretaría, en el formato que ésta determine, un informe semestral sobre los residuos que hubiesen recibido durante dicho período para su transporte o para su disposición final, según sea el caso".

El proceso de incineración requiere cumplir con la normatividad para el control de emisiones a la atmósfera emitida por la Federación al ser determinada como una "fuente fija". Los elementos de gestión que deben cumplirse, para atender cualquier solicitud que busque el emplazamiento de instalaciones para el tratamiento de residuos empleando procesos térmicos, de acuerdo al actual marco regulatorio ambiental referente al control de los residuos, se describe a continuación en el

Cuadro 1.

Cuadro.A.1
ELEMENTOS DE GESTIÓN QUE DEBEN CUMPLIRSE PARA EL EMPLAZAMIENTO Y
OPERACION DE INSTALACIONES PARA EL TRATAMIENTO DE RESIDUOS
PELIGROSOS, EMPLEANDO PROCESOS TÉRMICOS

REQUISITOS	ESPECIFICACIONES	MARCO LEGAL	PROFEPA
Carta intención a la Dirección General de Residuos, Materiales y Riesgo del INE	Indicar el alcance del estudio, así como el tipo de residuo, instalación, área geográfica de influencia y tipo de administración.	LGEEPA Arts. 5º Fracc. XIX y 6º Fraccs. XII y XIII	
Licencia de uso de suelo	Remitir copia actualizada de la autorización de uso del suelo otorgada por el gobierno estatal y/o municipal	Ley de Obras Públicas	
Cumplir con el Manifiesto de Impacto Ambiental (MIA)	Presentar manifestación de impacto ambiental en la modalidad que señala la Dirección General de Impacto Ambiental	LGEEPA Arts. 28, 29, 31, 32, 33 y 34	Supervisar el cumplimiento de los términos de la resolución
Cumplir con el estudio de Riesgo Ambiental	Anexar a la manifestación de impacto ambiental el estudio de riesgo en la modalidad que señale la Dirección General de Impacto Ambiental	LGEEPA Art. 32	Supervisar el cumplimiento de los términos de la resolución
Llevar a cabo Pruebas de Ensayo (Protocolo de Pruebas), con la validación de un Organismo Colegiado o Instituto de Investigación	Realizar la supervisión y pruebas previas de las instalaciones, equipos para establecer condicionantes, especificaciones y eficiencias en la operación de la estación (aire, residuos sólidos y seguridad)	Reglamento de la LGEEPA en materia de residuos peligrosos Art. 10	
Obtener la Autorización de Funcionamiento en materia de contaminación ambiental de la Dirección General de Normatividad Ambiental	Aceptar las condicionantes fijadas en la autorización del funcionamiento correspondiente, en función del análisis del proyecto ejecutivo y el resultado del protocolo de pruebas.	LGEEPA Art. 145	Vigilar el cumplimiento de las condicionantes de operación

ESTADOS UNIDOS

En los Estados Unidos el control de los procesos térmicos (incineradores, calderas, hornos industriales, etc.), está a cargo de la Agencia de Protección Ambiental (EPA) y los Estados, autorizados por el **Acta de la Conservación y Recuperación de Recursos (RCRA)**.

La RCRA, EPA y el Estado regulan conjuntamente la generación, transporte, tratamiento, almacenamiento y disposición final de los residuos peligrosos. La EPA tiene la facultad para evaluar el lugar que ocupa la combustión de los residuos peligrosos en el manejo de estos; estrategia que debe ser tomada tanto como un asunto federal como uno del estado.

**Laboratorio de Análisis Físicos y Químicos del Ambiente
Instituto de Geografía, UNAM**

Los primeros permisos y reglamentos para incineradores se promulgaron en 1981. En estos se controlaba a los Principales Constituyentes Orgánicos Peligrosos (POCHs), HCl y otros aspectos de los incineradores.

En 1988, la **Oficina de Residuos Sólidos (OSW)** solicitó a las oficinas regionales de la EPA que estos permisos fueran mejorados sustancialmente, incluyendo el control de los metales y de los Productos de una Combustión Incompleta (PIC's).

Actualmente las instalaciones BIF's que queman residuos peligrosos se encuentran en un estado provisional de reglamentación. Es el caso de los hornos de cemento que están sujetos a la reglamentación adoptada por la EPA en 1991, que incluye el control de emisiones para metales, PIC's, HCl y gases ácidos, hasta que se publique un permiso definitivo para este tipo de instalaciones.

Durante la última década, la política ecológica de los Estados Unidos ha tendido a desincentivar la disposición en rellenos sanitarios para alentar la búsqueda de tratamientos que reduzcan el volumen y la toxicidad de los residuos peligrosos. Los procesos térmicos, en especial la incineración, son en la actualidad parte principal en el manejo de residuos peligrosos.

Los residuos peligrosos que se incineran presentan una gran variedad, encontrando, entre otros, a los siguientes: solventes, lodos, asientos de destilación y productos químicos orgánicos. Cada año se queman alrededor de 5 millones de toneladas de estos residuos, el 40% en incineradores y el 60% en calderas y hornos industriales (BIF's).

Tomando como base los datos más recientes, se puede decir que en apariencia existe un exceso de capacidad para la incineración de residuos peligrosos, particularmente para líquidos. Se reconoce que hay algunos residuos que no han sido tratados todavía y que pronto podrían estar sujetos a este tratamiento, como lo indica la enmienda para los residuos sólidos y peligrosos de 1984 (HSWA), lo que provocaría que se rebasara dicha capacidad en los próximos años.

La posición de la EPA es que la incineración pueda ser un medio seguro y efectivo para la disposición de los residuos peligrosos, siempre y cuando se cumplan las guías y estándares que marca la normatividad.

Dentro de los parámetros de control que maneja la reglamentación para incineradores se tiene la **Eficiencia de Remoción y Destrucción (DRE)** de los principales constituyentes orgánicos, la cual debe ser de 99.99% o más. Para dioxinas y BPC's en específico debe ser de 99.9999%.

Actualmente el enfoque del Programa para la Regulación de los Incineradores de Residuos Peligrosos se basa, principalmente, en:

Establecer una fuente preferencial para la reducción en la fuente de generación de residuos y con ello reducir la gran demanda de la incineración y de otras instalaciones para el manejo de residuos.

Mejorar la participación ciudadana promoviendo un plan nacional de reducción en la fuente, evaluando los aspectos técnicos de la combustión y tomando decisiones durante los procesos de autorización de incineración de residuos.

Desarrollar e imponer rigurosos controles de seguridad en los sitios donde se incineran residuos peligrosos, empleando la tecnología disponible y lo más actualizado en la ciencia. Asegurar que las instalaciones donde se realice la incineración, no impliquen riesgos inaceptables y utilizar a las autoridades legales en toda su extensión en cuanto a permisos y aplicación de la ley.

Continuar con el desarrollo de los avances científicos en relación a la incineración de residuos.

La EPA, el Estado, la Industria y el público, han aprendido mucho acerca del concepto de la reducción de residuos durante la última década, el reto consiste en tomar la lección y desarrollar una estrategia para el cumplimiento de la meta de reducción en la fuente.

El comité EPA-Estado, cuestionará primero la relación entre las instalaciones de incineración de desechos peligrosos y la reducción en la fuente de los mismos para elaborar recomendaciones para esta última que deberán ser adoptadas.

Como segundo paso, la EPA define cómo puede implementar sus políticas para que las instalaciones de incineradores de residuos peligrosos pueda asegurar y reflejar el estado del arte, así como continuar con el avance de la innovación tecnológica, explorar y desarrollar tecnologías alternativas para el tratamiento de residuos sobre las tecnologías ya existentes.

El objetivo inicial del Comité incluye una especial atención en la reducción de la generación de residuos en la fuente, a través del cumplimiento de los parámetros técnicos permitidos, tecnologías de tratamiento alternativo y una mejor fundamentación técnica para la toma de decisiones.

En cada una de estas áreas, las estrategias del proyecto marcan una serie de objetivos a corto y largo plazo para la discusión pública. La EPA trata de involucrar a todos los interesados en este diálogo y provee esta idea como un punto inicial para la discusión y la necesidad de tomar acciones para la reducción en la fuente y los cambios regulatorios que deben ser implementados, y de esta manera, promover a lo interesados a contribuir con ideas adicionales. Así mismo, la EPA considera que deben tomarse de inmediato acciones que aseguren que las instalaciones están operando satisfactoriamente y sin ningún riesgo inaceptable para la salud y el ambiente.

De acuerdo a lo anterior, mientras se implementan estas estrategias, la EPA promueve ante los gobiernos locales, la toma de acciones para continuar con un agresivo programa de reducción en la fuente de generación de residuos peligrosos y asegurar que la combustión de residuos pueda tener un estricto apego de la regulación.

a) Metas a corto plazo

1. Un fuerte programa que integre la incineración de residuos con la toma de decisiones en el manejo de los mismos.
2. Coordinación entre la EPA Regional y los Estados en relación a :

calidad en el estudio de riesgo para los sitios específicos que incluyan la exposición indirecta en los procesos autorizados de incineradores.

apoyarse en el Reglamento para permitir la instalación de plantas para la incineración, indispensables para proteger la salud, aplicando un estricto control en la emisión de partículas y si es necesario aplicar también un estricto control en la emisión de metales, dioxinas y furanos. definir los factores prioritarios para el otorgamiento del permiso final para los incineradores y los BIF's.

promover la participación pública en el proceso de otorgamiento de los permisos de incineración y BIF's.

promover la participación pública en la inspección y cumplimiento de la Ley para incineradores y BIF's.

b) Metas a largo plazo

1. Establecer un esfuerzo continuo para llevar a cabo un fuerte programa de reducción de la generación de residuos peligroso en la fuente, incluyendo la exploración de nuevas tecnologías.
2. Investigación de la factibilidad y riesgo asociado en las tecnologías alternativas de tratamiento.
3. Actualización de las regulaciones de EPA en el control de las emisiones y las tecnologías de monitoreo continua en las instalaciones para incineración.
4. Actualización de las regulaciones para la participación pública en el proceso de permisos para la instalación de incineradores.

APÉNDICE B. DEFINICIONES QUE SE PRESENTARON SOBRE LOS CONCEPTOS DE BASURA Y PELIGROSIDAD³

1.b. Definición del problema

El grupo de discusión sobre caracterización se abocó a analizar los siguientes problemas:

recomendar definiciones claras y objetivas de los términos utilizados en las normas, por ejemplo: *residuo, desecho, basura, dañino, riesgoso, venenoso, peligroso, etc.* en la cuales se sustituya el léxico científico por términos que puedan ser usados por diversas profesiones y, en general, por los ciudadanos

clasificar los desechos de manera que la ley estimule a establecer programas de reducción, minimización o reuso

establecer términos en la ley que favorezcan la inversión para el reuso de residuos pero desfavorezca soluciones caras desde un punto de vista ambiental y económico.

evaluar si es posible establecer pruebas de laboratorio rápidas que, en forma irrefutable determinen si un material no valorizado es peligroso. **Hasta ahora no existen respuestas satisfactorias, y la prueba CRETIB de la normatividad mexicana, que fue adaptada de la ley estadounidense, ha causado en la práctica múltiples problemas).**

2. b. marco teórico

2.b. 1 Concepto de contaminación

LA ALTERACIÓN DE LOS CICLOS NATURALES (CAMBIOS EN LAS CANTIDADES O CALIDADES DE LA MATERIA O DE LA ENERGÍA), QUE REDUCE LA CAPACIDAD DE NUESTRO PLANETA TIERRA PARA SOSTENER LA VIDA, CONFORMA EL FENÓMENO DE LA CONTAMINACIÓN .

2.b. 2 Concepto de basura

La basura no existe en la naturaleza, pues sus procesos son cíclicos y todo residuo de un proceso se convierte en insumo de otro. Estos procesos son muy eficientes, pues involucran reacciones catalíticas de bajo gasto energético

Los procesos antrópicos requieren de muy alto gasto de energía y agua. Se han conceptualizados en forma lineal, por lo que generan una gran cantidad de subproductos a los que no se les otorga valor (figura 1).

³ parte del documento preliminar elaborado dentro del grupo de trabajo coordinado por Margarita Gutiérrez que analizan los cambios de la nueva legislación ambiental (norma 052) organizados por el Instituto Nacional de Ecología.

Los materiales que no se valorizan son generados por el productor o por el consumidor. Las causas por las cuales no se les da valor son muy variadas y cambian en el tiempo de acuerdo a diversas circunstancias (científico- técnicas, socioeconómicas, culturales, políticas, etc.); y no siempre constituyen los residuos propios del proceso ("lo mínimo que sobra").

Por lo tanto, el grupo de trabajo propone cambiar el término residuo por desecho el cual se define como "Cualquier material u objeto que el generador o poseedor descarta por limitaciones ya sean técnicas, económicas o de cualquier otra índole".

2.b. 3 Concepto de peligrosidad

La peligrosidad se refiere a una alteración de un equilibrio natural, que sobrepasa la capacidad amortiguadora del mismo y daña en forma directa o indirecta al hombre. Puede suceder a través de cambio en la materia o energía de los mismos, mediante fenómenos físicos, químicos o microbiológicos (ver figura 3)

Peligrosidad es la característica que presenta un agente que daña o puede dañar a los organismos y/o disminuir la capacidad del medio a sustentar la vida en forma inmediata o a través del tiempo

La peligrosidad puede tener un origen intrínseco, esto es relacionada con la naturaleza propia de la materia que conforma al desecho. O a factores extrínsecos como la cantidad generada y/o la forma de manejo y disposición (figura 4).

Todas las características relacionadas con la peligrosidad intrínseca se deben a fenómenos físicos y químicos que presentan sustancias que afectan el metabolismo normal de los seres vivos.

Los contaminantes de origen biológico o inanimado afectan a al biota, por mecanismos físicos, pues sustancias no reactivas bloquean el sistema respiratorio); o por mecanismos químicos pues pueden reaccionar con las biomoléculas esenciales del organismo, alterando el funcionamiento general del organismo.

El daño puede ser indirecto, ya que el contaminante puede alterar las condiciones físicas o químicas del medio en que se desarrolla de la biota, por fenómenos físicos o químicos, como la liberación de sustancias tóxicas, cambios de temperatura, cambios de pH, disminución del oxígeno, etc.

No existe una frontera definida entre los desechos peligrosos y no peligrosos. La química de los contaminantes en el ambiente y en los organismos es un campo en que queda mucho por explorar.

La medición de la toxicidad de sustancias en los organismos es un reto vigente. Es necesario generar mucho mayor cantidad de información de la existente en la literatura científica actual, que considere factores genéticos y fenotípicos de diferentes climas.

Desde Paracelso se sabía que toda sustancia es venenosa solamente depende de la dosis.

3. Conclusiones

Se propone designar a los desechos que presenten riesgos como Desechos especiales

Se recomienda que se deben reglamentar los desechos considerando los siguientes grupos

Desechos especiales que son peligrosos, principalmente, por su cantidad (masa y volumen)
Desechos especiales que son peligrosos, principalmente por su disposición, manejo y/o transporte
Desechos especiales que son peligrosos por su naturaleza

Respecto a los desechos especiales que presentan riesgo por su naturaleza:

Debe listarse los procesos que, de acuerdo a las materias primas y tipo de operación, produzcan desechos especiales que presenten peligrosidad por su naturaleza propia

Debe listarse las sustancias riesgosas que hagan peligroso por naturaleza a un desecho, utilizando la información internacional y cuidando que aparezcan todas aquellas sustancias que se utilizan como materia prima, se producen o se generan como desechos en las actuales condiciones de México

Deben clasificarse al menos en tres categorías las sustancias que presentan riesgo por su naturaleza de mayor a menor peligrosidad, considerando como las más dañinas aquellas que son peligrosas en menor cantidad.

Las características CRETIB se resumen en dos conceptos:
reactividad del agente dañino en la biota = toxicidad y actividad biológica
reactividad del agente dañino en el medio abiótico = corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad e inflamabilidad.

Dado las limitaciones analíticas de la prueba CRETIB, cuando una empresa quiera demostrar que sus desechos no son peligrosos, a pesar de que los mismos aparezcan en los listados y también esté considerado el proceso que utiliza como generador de desechos especiales, se le deben solicitar otros datos analíticos y del entorno geográfico, con el fin de contar con mayores posibilidades de evaluar el riesgo ambiental. La inclusión de pruebas en los reglamentos debe supeditarse a el desarrollo de la infraestructura analítica, especialmente a la formación de recursos humanos.

Para reducir el problema de los desechos generados por la industria, conviene establecer programas compromiso con cada rama industrial, para que se establezcan centros especiales de manejo. En el caso de que sean generados por el consumidor o microproductores conviene establecer centros integrales municipales que puedan aprovechar los desechos .

En el caso de los desechos mineros es esencial contar con programas compromiso en los cuales se contemplen las condiciones específicas de cada mina (composición del mineral, proceso y entorno).



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**DIPLOMADO EN SISTEMAS DE CONTROL DE
RESIDUOS SOLIDOS Y PELIGROSOS**

**MODULO III: PROCESOS DE TRATAMIENTO PARA EL
CONTROL DE RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES Y
PELIGROSOS**

COMPOSTEO

Presentado por : DR. ERNESTO FAVELA T.

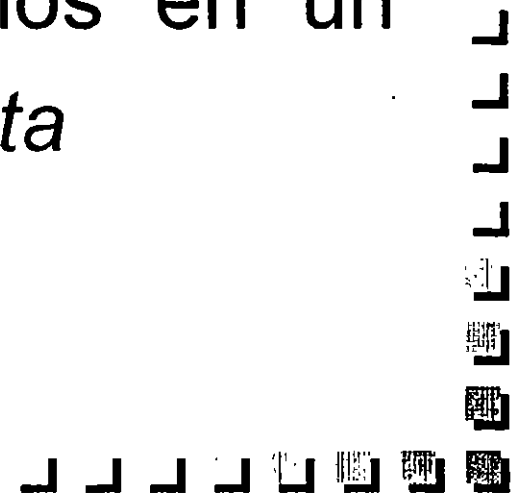
1996

Composteo

Degradación microbiana incompleta de residuos orgánicos, donde los procesos microbianos pueden variar de anaerobio a aerobio y viceversa

Composteo

Proceso biológico en donde se minimiza la cantidad de residuos municipales para transformarlos en un producto comercial, *la composta*



Composteo

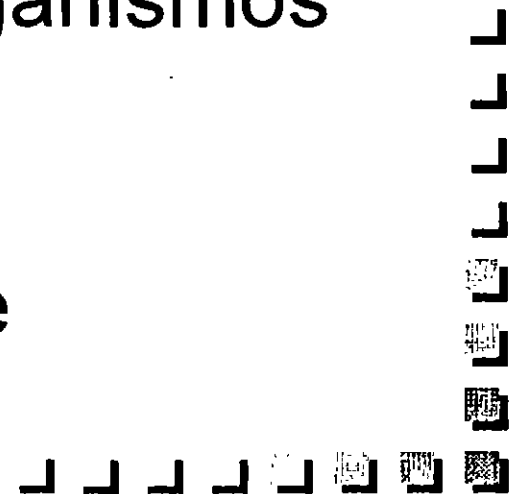
Objetivos

- ◆ Reciclamiento de materia orgánica residual
- ◆ Producción de un sustrato homogéneo física y químicamente
- ◆ Concentración de nutrientes que puedan ser utilizados para cultivo de plantas o para la producción de hongos comestibles
- ◆ Contribución a la salud pública

Composteo

Características

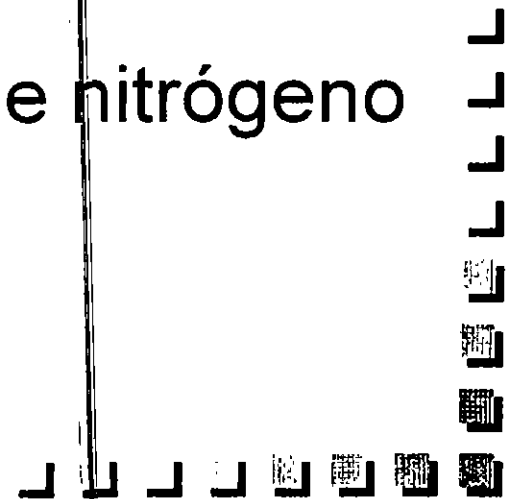
- ◆ Degradación en fase sólida
- ◆ Materia orgánica compleja
- ◆ Población mixta de microorganismos
- ◆ Proceso aerobio
- ◆ Ambiente húmedo y caliente



Composteo

Variables que inciden en el proceso

- ◆ Inóculo
- ◆ Temperatura
- ◆ Humedad
- ◆ pH
- ◆ Tamaño de partícula
- ◆ Contenido de fibra
- ◆ Contenido de nitrógeno
- ◆ Aireación



Composteo

Etapas

FASE I

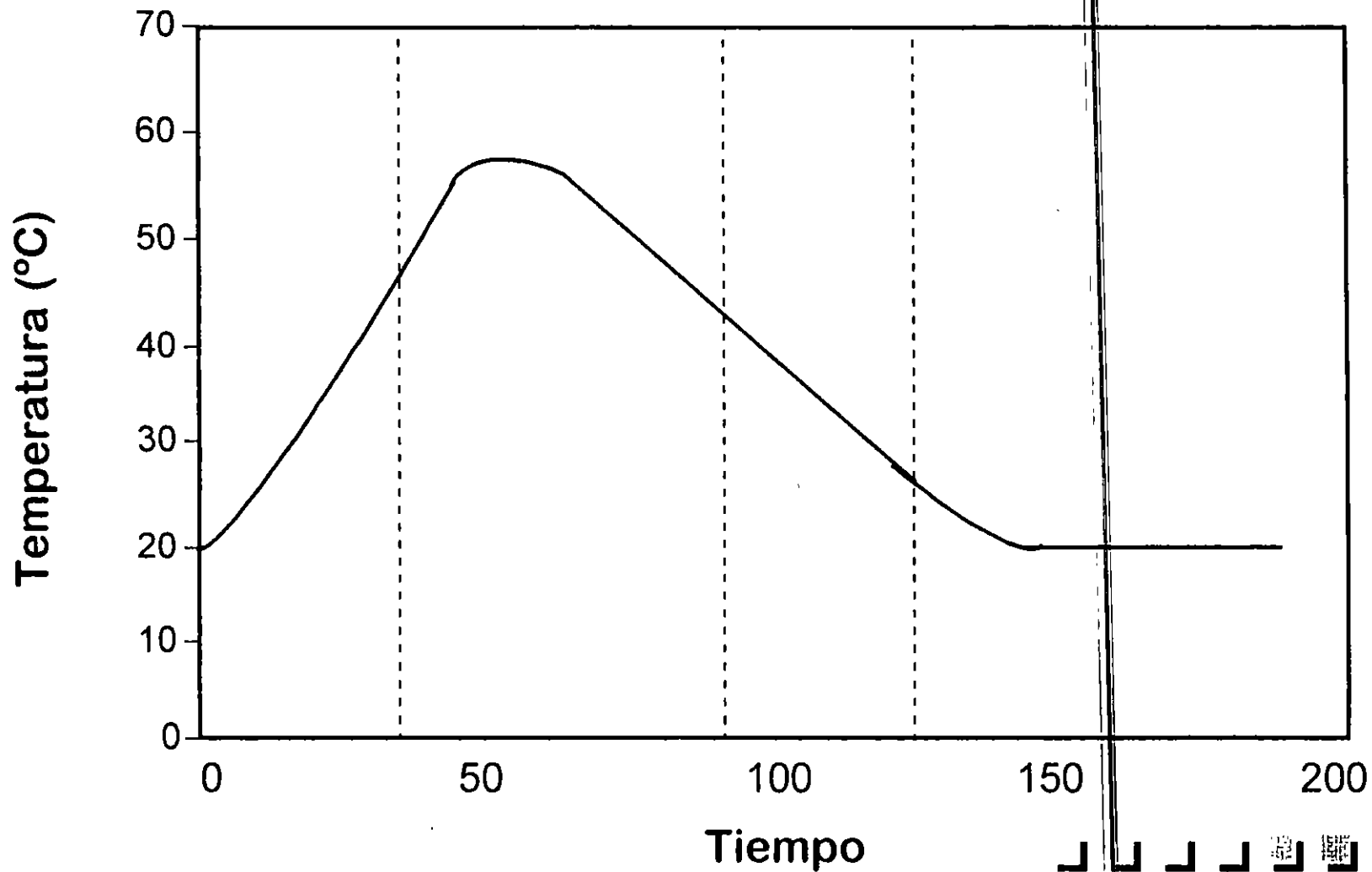
- ◆ Mezcla de materiales
- ◆ Descomposición de la materia

FASE II

- ◆ Pasteurización y maduración

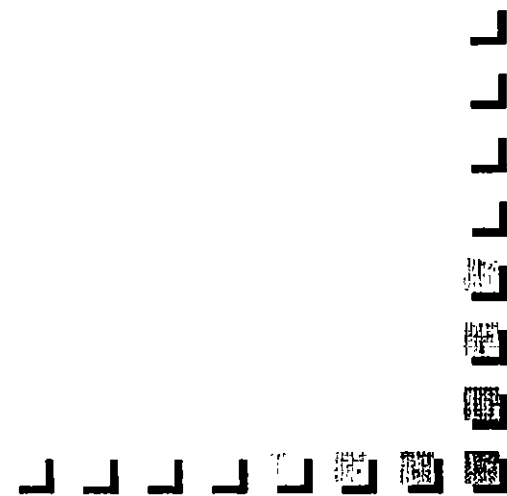


Variación de la temperatura durante el composteo

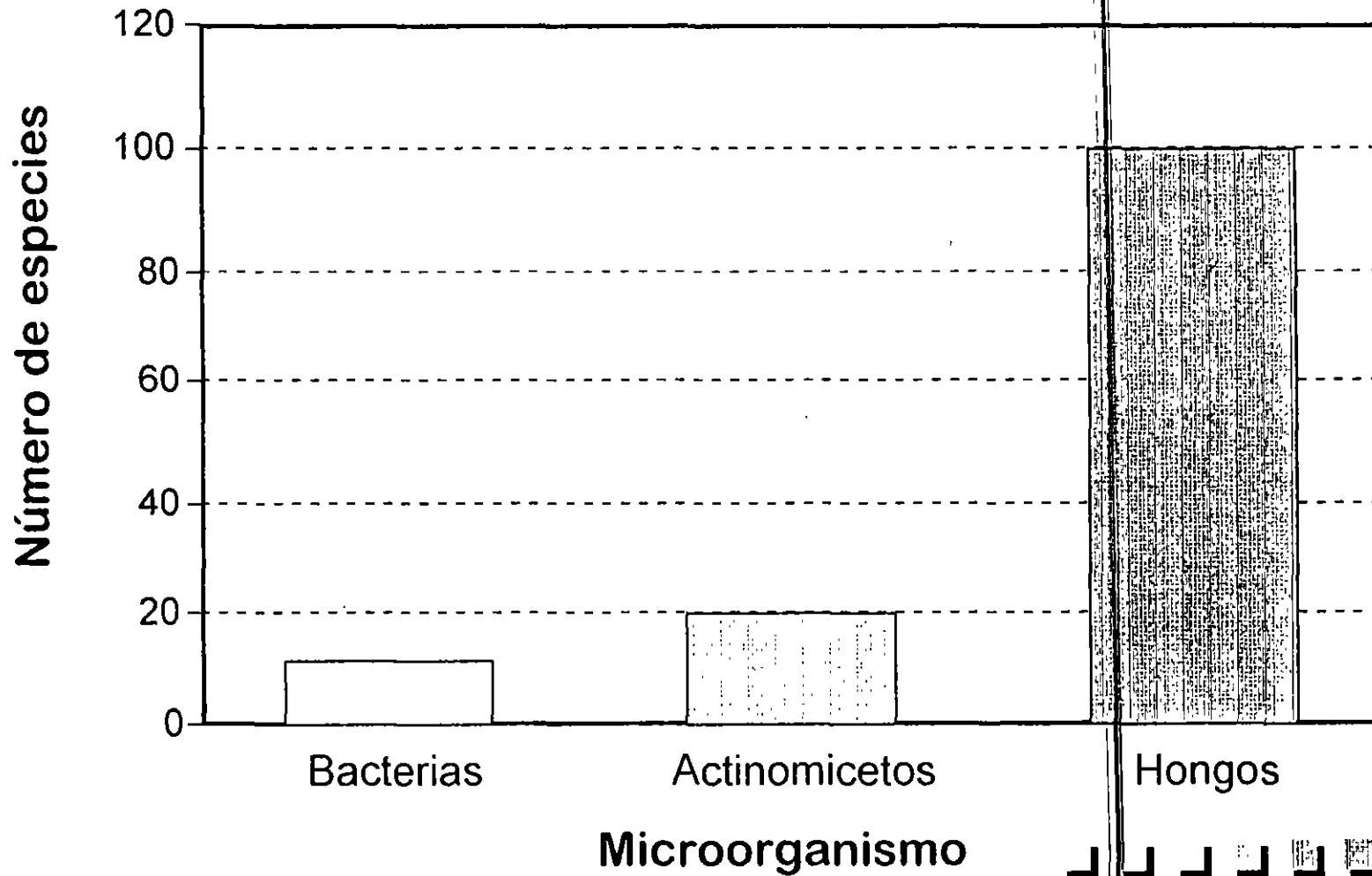


Microorganismos de la Composta

- ◆ Bacterias
- ◆ Actinomicetos
- ◆ Hongos
- ◆ (Levaduras)



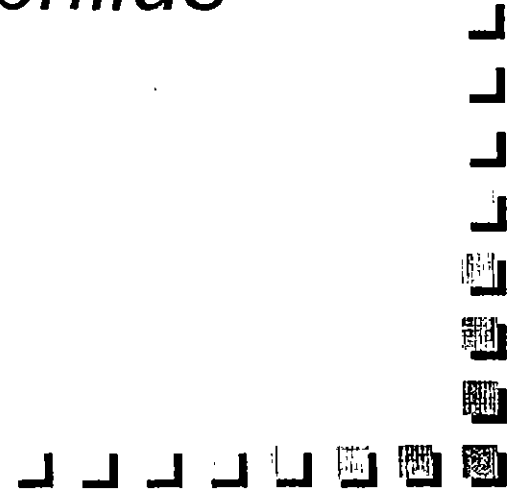
Microorganismos de la Composta



Bacterias de la Composta

Termófilas

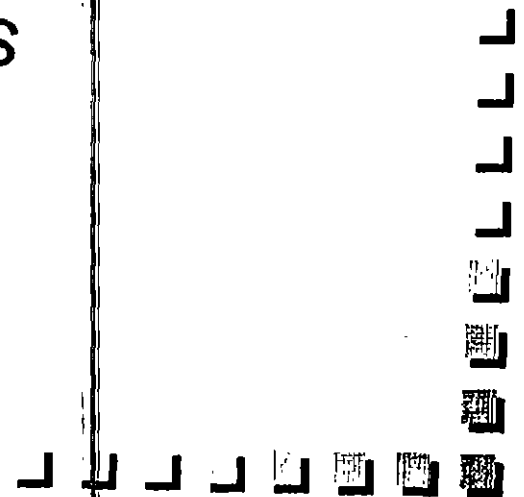
- ◆ *Bacillus coagulans*
- ◆ *Bacillus stearothermophilus*
- ◆ *Bacillus subtilis*



Bacterias de la Composta

Termotolerantes

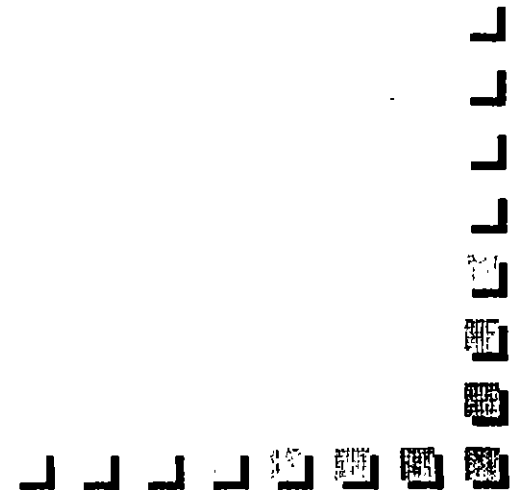
- ◆ *Pseudomonas*
- ◆ *Bacillus licheniformis*



Bacterias de la Composta

Mesófilas

- ◆ *Flavonobacterium*
- ◆ *Pseudomonas*
- ◆ *Serratia marcescens*



Hongos de la Composta

MESOFILOS

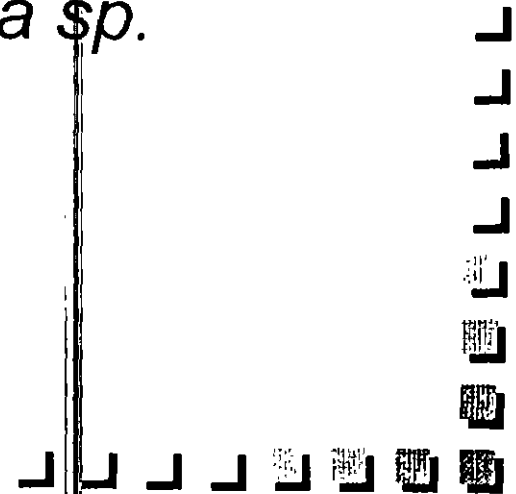
- ◆ *Mucor*
- ◆ *Aspergillus*
- ◆ *Penicillium*
- ◆ *Rhizopus stolonifer*

TERMOFILOS

- ◆ *Mucor pusillus*
- ◆ *Humicola insolens*
- ◆ *Rhizomucor pusillus*
- ◆ *Humicola sp.*

TERMOTOLERANTES

- ◆ *Aspergillus fumigatus*



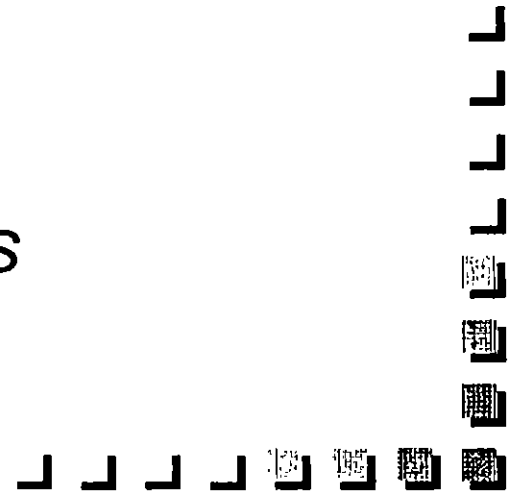
Actinomicetos de la Composta

MESOFILOS

- ◆ *Streptomyces*
- ◆ *Nocardia*
- ◆ *Micropolyspora*

TERMOFILOS

- ◆ *Thermoactinomyces*
- ◆ *Termomonospora*



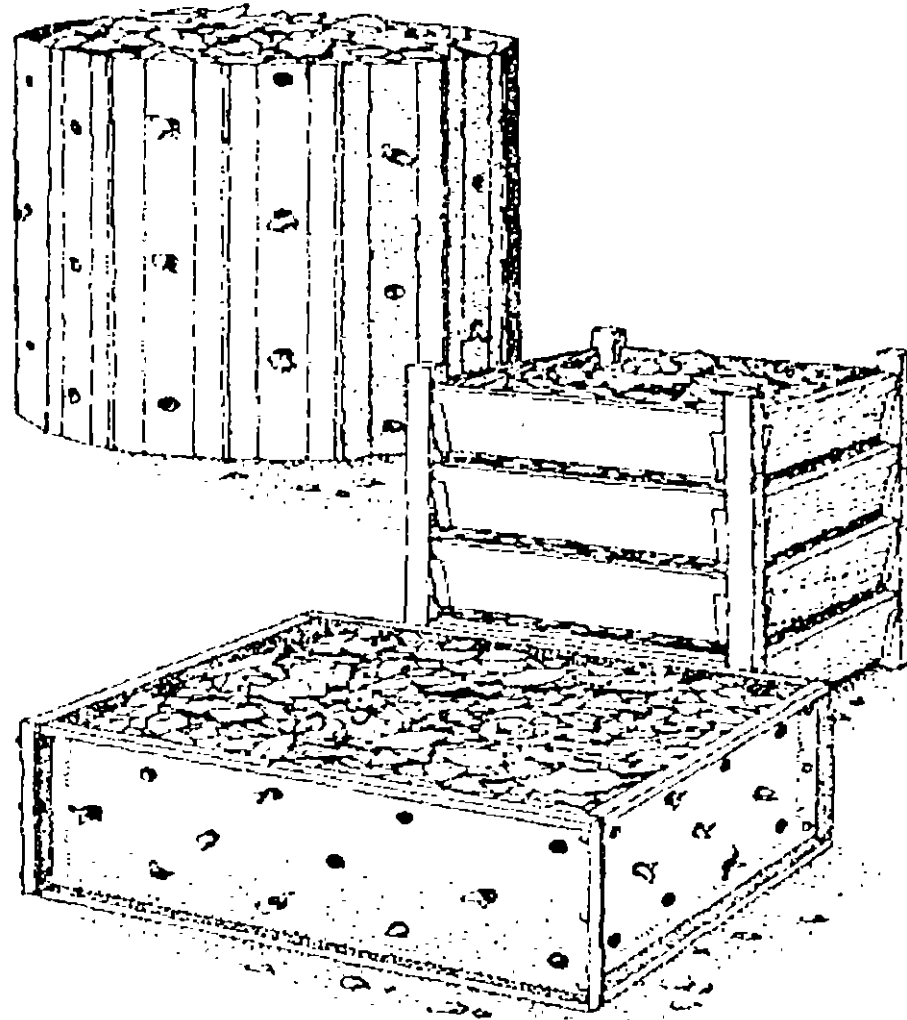
Etapas de fabricación de Composta

- ① Instalación de montículos de desechos orgánicos mezclados (pasto, hojas, etc.).
- ② Adición de desechos orgánicos (frutas, verduras, etc).
- ③ Adición de residuos animales (excretas de vaca, cerdo, conejo, gallina).
- ④ Hacer un montículo con capas alternadas con los diferentes desechos.
- ⑤ Humedecer el montículo y mantenerlo húmedo al abrigo del sol.
- ⑥ Voltear el montículo 2 ó 3 semanas después.
- ⑦ Utilizar la composta en función del grado de madurez.

Recod 2

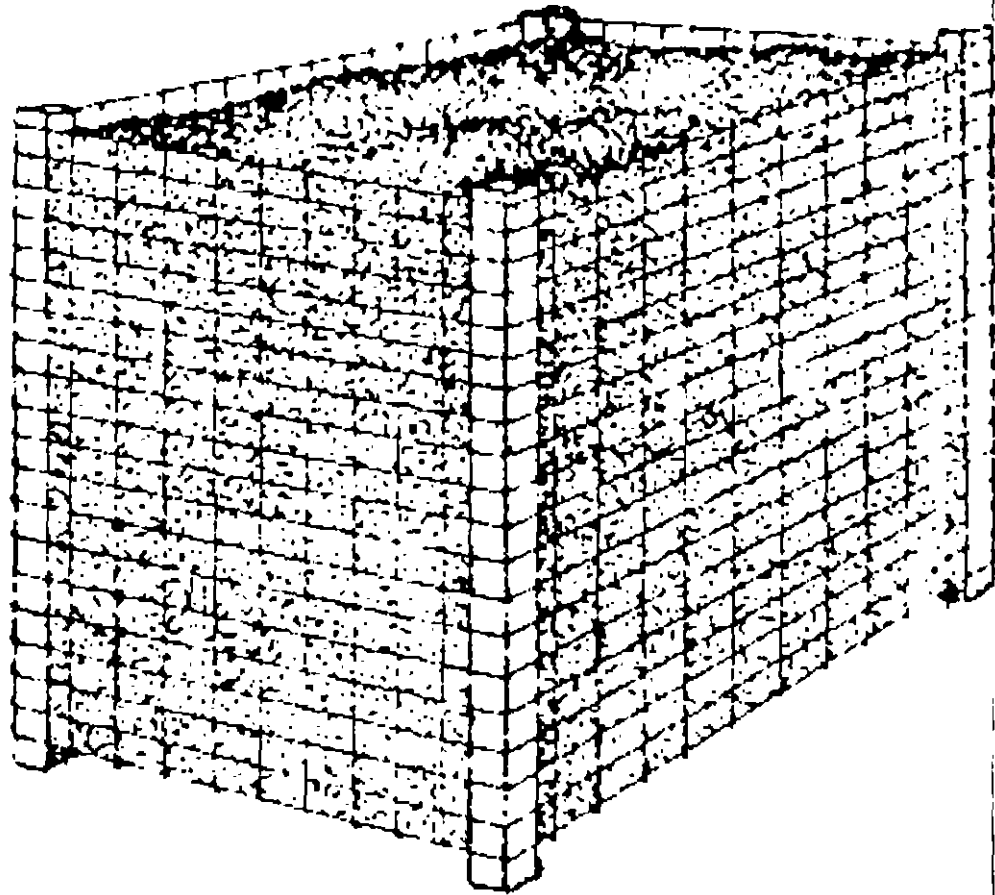
Recipientes para Composteo

(plástico, madera y metal galvanizado)



Plant 5

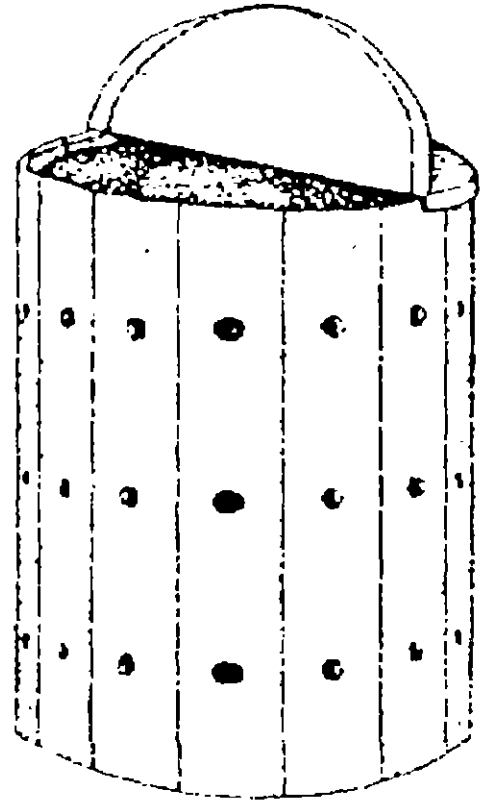
Recipiente para Composteo (alambre)



Rec. 12a

Recipiente para Composteo

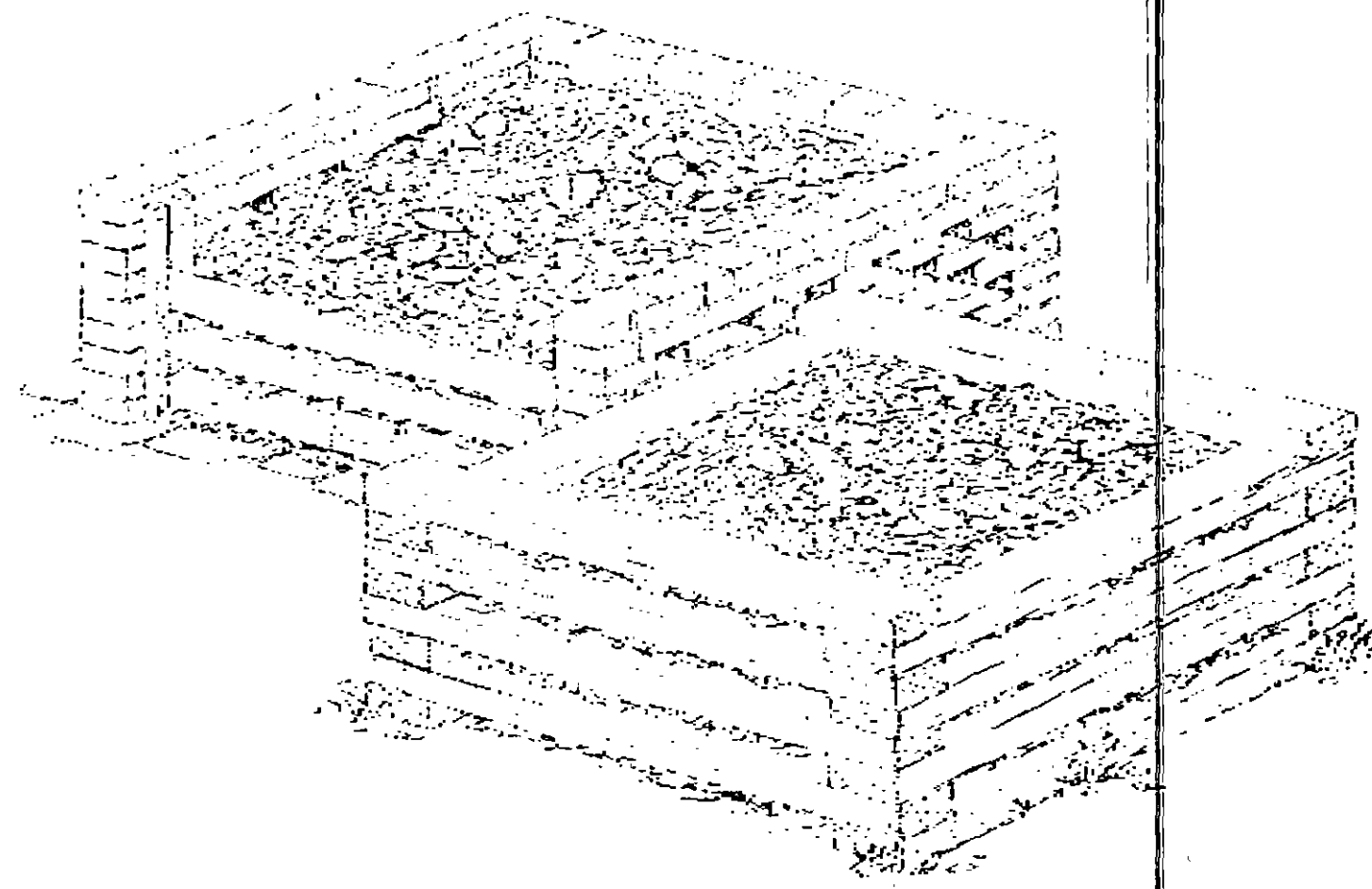
(madera)



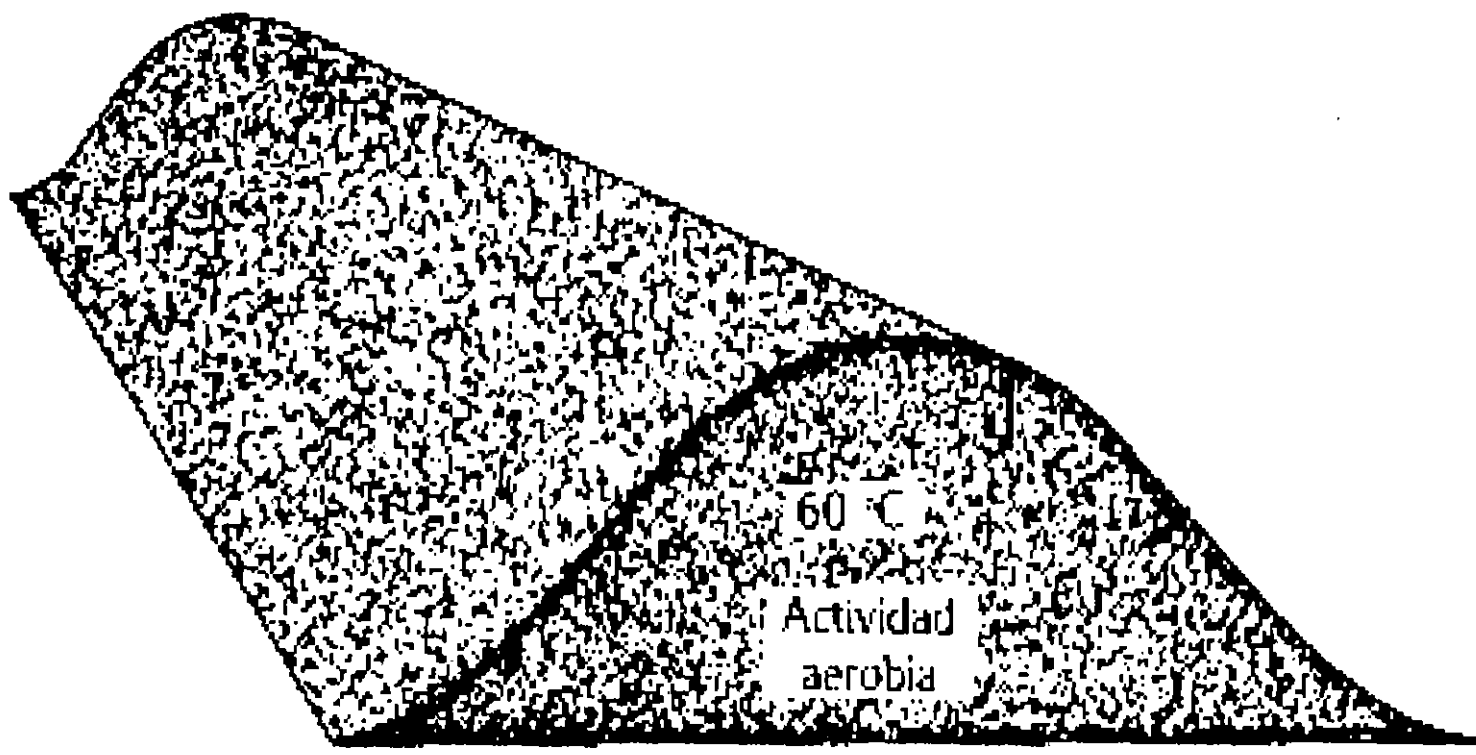
Panel 2

Recipientes para Composteo

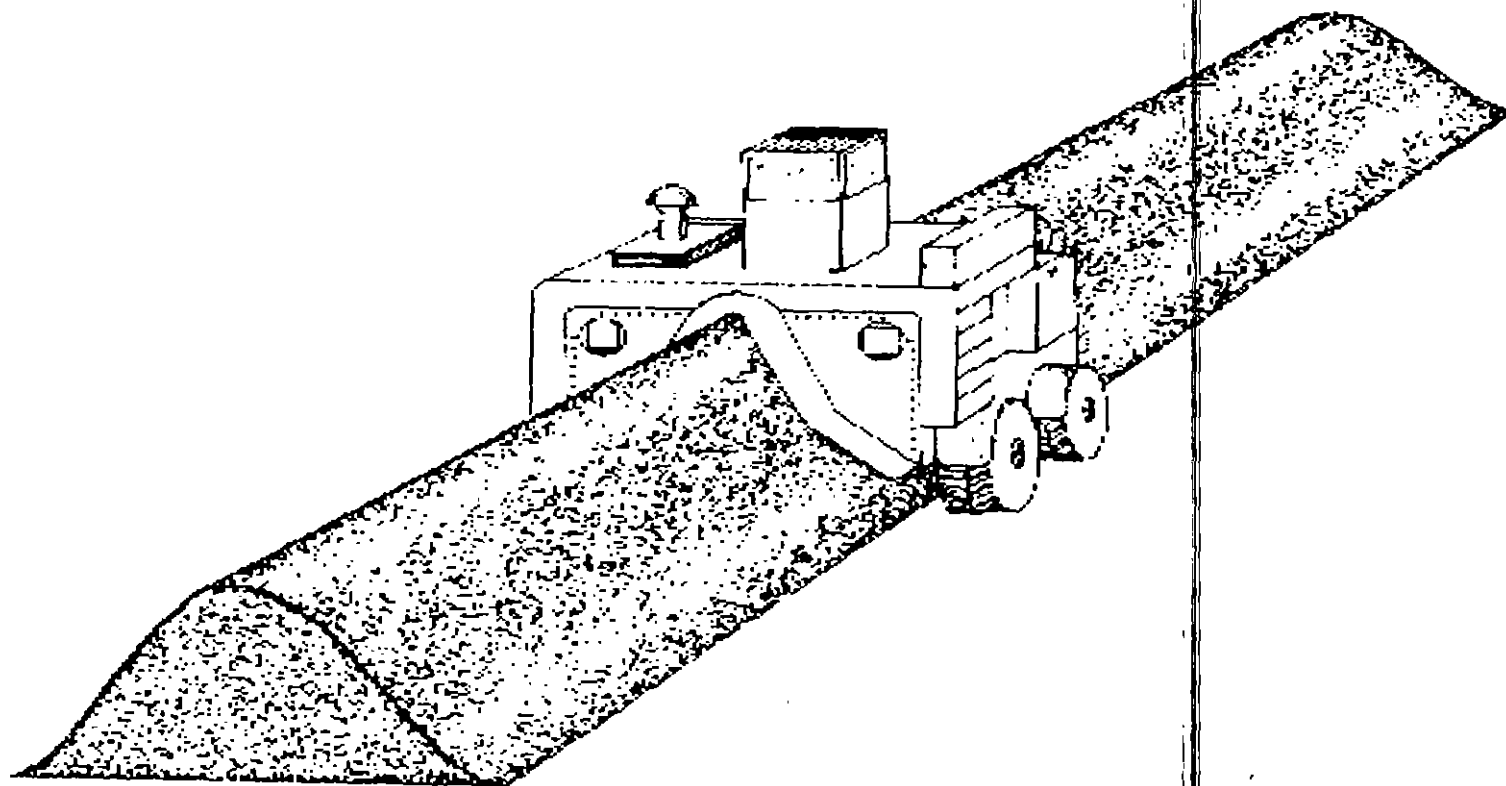
(ladrillo y madera)



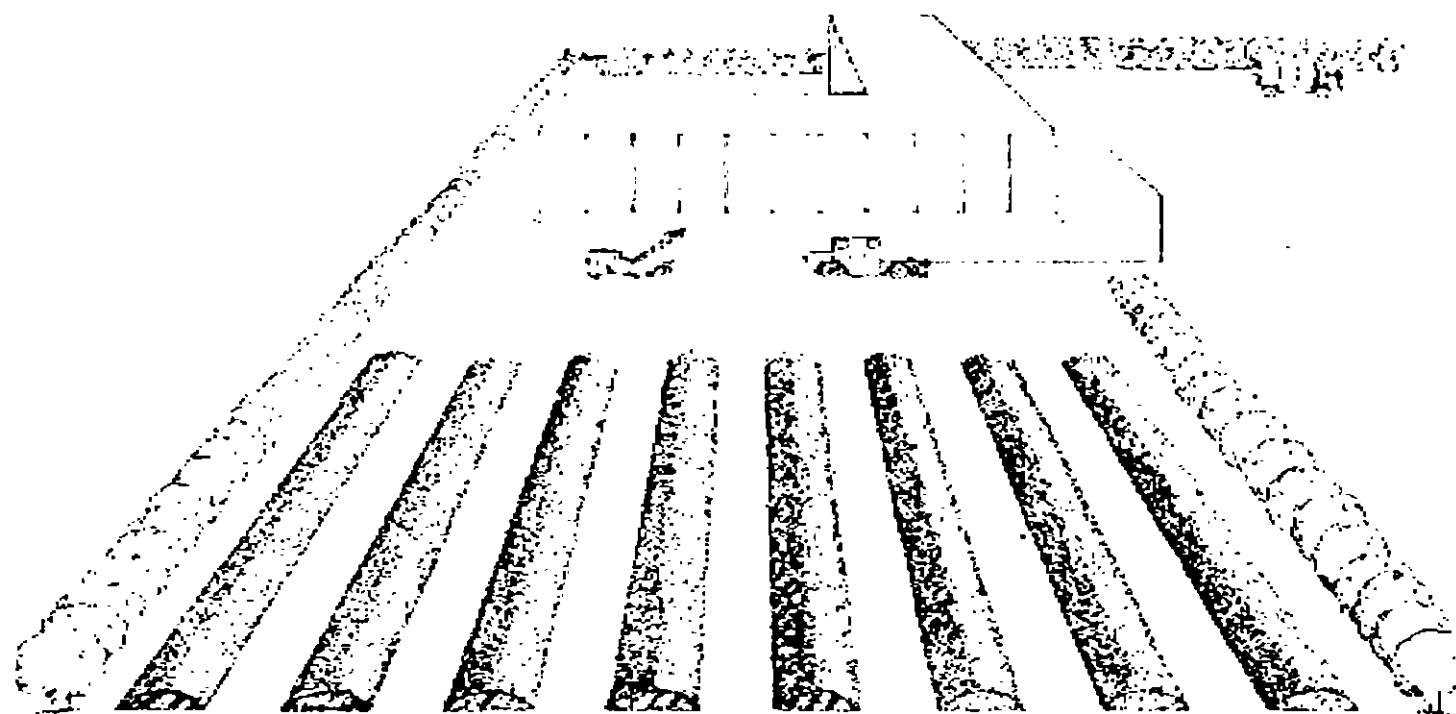
Composteo por Pilas



Máquina de Irrigación en Composteo por Pilas



Planta de Composteo por Pilas



Producción de abono compuesto

Debido a la trituración de los residuos urbanos sin una selección previa el abono producido por composteo tiene una mala apariencia (vidrios pulverizados, trozos de plástico multicolor), y por lo tanto, mala fama.

El proceso integral de tratamiento de residuos urbanos no tritura en ninguna etapa de fabricación. Además, la fermentación se lleva a cabo bajo condiciones controladas de aireación y temperatura lo que permite un producto de buena calidad en un término de cinco semanas.

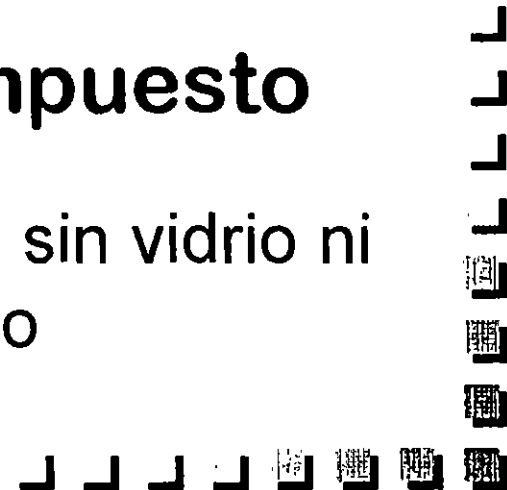
Etapas del procedimiento integral de residuos urbanos

Selección

- ◆ Vidrio
- ◆ Metales
- ◆ Aluminio
- ◆ Plásticos
- ◆ Papel y cartón

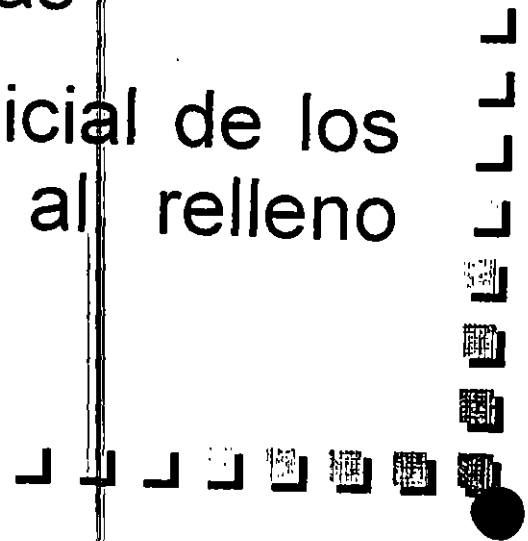
Producción de abono compuesto

Fermentación controlada bajo techo, sin vidrio ni plástico, y perfectamente higienizado



Procedimiento de tratamiento de residuos urbanos

- ◆ Permite una valorización máxima de los residuos urbanos
- ◆ No contamina las capas freáticas
- ◆ Solo un 7 a 10 % del peso inicial de los residuos urbanos se envía al relleno sanitario



Ventajas del procedimiento integral de tratamiento de residuos urbanos

Se trata de una planta de tratamiento por selección, transformación en abono compuesto del material fermentable, incineración de las materias combustibles, y recuperación de energía en forma de agua caliente o vapor.

Este procedimiento permite recuperar el equivalente a 240 KW de electricidad por tonelada de residuos tratados.

Si no hay posibilidad de recuperación de energía, se propone una planta de selección, de fabricación de abono compuesto y de incineración de rechazos.

El papel y cartón se dirigen hacia el proceso de abono compuesto.

Los plásticos y materiales no transformables, y que representan aproximadamente 16 % de los residuos urbanos, son incinerados.

Calidad agronómica del abono compuesto de residuos urbanos

Se trata de un producto que tiene materia orgánica, minerales y oligoelementos.

Las materias orgánicas del abono compuesto de residuos urbanos constituye aproximadamente 35 a 40 % de la materia orgánica seca, o sea de 20 a 25 % de carbono orgánico (lo que representa un abono semejante al estiercol).

La aportación de materia orgánica mejora la estructura de la tierra, favorece su ventilación, su drenaje y una mejor penetración de la raíces. Este abono mejora las tierras arcillosas, facilitando su permeabilidad.

Fuente: **Trident Industrias**

Calidad agronómica del abono compuesto de residuos urbanos

Aportación de oligoelementos

Los abonos minerales utilizados con frecuencia en la agricultura no contienen oligoelementos. Si no se procede a una fertilización añadida, aparecen deficiencias.

Aportación en materias fertilizantes

- ❖ 6 a 7 kg de nitrógeno total
- ❖ 6 kg de fosfatos (P₂O₅)
- ❖ 4kg de potasio (K₂O)
- ❖ 1.5 kg de magnesio (Mg)
- ❖ 30 kg de calcio (Ca)

Fuente: **Trident Industrias**



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**DIPLOMADO EN SISTEMAS DE CONTROL DE
RESIDUOS SOLIDOS Y PELIGROSOS**

**MODULO III: PROCESOS DE TRATAMIENTO PARA EL
CONTROL DE RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES Y
PELIGROSOS**

ESTUDIO DE CASO: METALES POTOSI, SA DE CV

Presentado por : ING. JOSE SANTOS

1996

METALES POTOSÍ, S.A. DE C.V.

- ⇒ **METALES POTOSÍ, S.A. DE C.V. ES UNA EMPRESA UBICADA EN LA CIUDAD DE SAN LUIS POTOSÍ, S.L.P.**

 - ⇒ **ES UNA FUNDICIÓN DE ESTAÑO Y OTROS METALES NO FERROSOS COMO COBRE, ZINC Y PLOMO**

 - ⇒ **DEBIDO A LA ESCASEZ DE MINERALES EN EL PAÍS, HA TENIDO QUE IMPORTARLOS, O SUSTITUIRLOS PARCIALMENTE POR SUBPRODUCTOS DE OTRAS FUNDICIONES.**

 - ⇒ **LA FALTA DE MATERIALES HA OCASIONADO QUE LA PLANTA TRABAJE POR DEBAJO DE SU CAPACIDAD INSTALADA**

 - ⇒ **EL PROCESO HA SIDO MODIFICADO PARA RECUPERAR ESTAÑO Y OTROS METALES NO FERROSOS A PARTIR DE ALGUNOS TIPOS DE DESECHOS INDUSTRIALES CONSIDERADOS COMO PELIGROSOS**
-
- ⇒ **ACTUALMENTE ESTÁ REALIZANDO UNA EVALUACIÓN AMBIENTAL DE SU PROCESO PARA HACER COMPATIBLES SUS METAS DE CRECIMIENTO CON EL CUIDADO DEL AMBIENTE**

OBJETIVOS

- ⇒ HACER UNA EVALUACIÓN TÉCNICA DEL PROCESO QUE REALIZA METALES POTOSÍ PARA FUNDIR ESTAÑO Y OTROS METALES NO FERROSOS**

- ⇒ DETERMINAR LAS AFECTACIONES AL AMBIENTE GENERADAS POR EL PROCESO**

- ⇒ EVALUAR LA CAPACIDAD DE METALES POTOSÍ PARA RECICLAR DE MANERA LIMPIA Y SEGURA DESECHOS INDUSTRIALES CON CONTENIDOS METÁLICOS**

METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN

- ⇒ HACER UNA REVISIÓN DOCUMENTAL SOBRE EL TEMA
 - ⇒ ESTUDIO DE LOS ASPECTOS GEOGRÁFICOS DE LA ZONA DE ESTUDIO
 - ⇒ RECONOCIMIENTO DEL PROCESO INDUSTRIAL
 - ⇒ DETERMINACIÓN DE ELEMENTOS ÍNDICE
 - ⇒ CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES
 - ⇒ REACCIONES QUÍMICAS DEL PROCESO
 - ⇒ BALANCE DE MATERIALES
 - ⇒ DETERMINACIÓN DE LAS AFECTACIONES GENERADAS AL AMBIENTE
 - ⇒ DISEÑO DEL MUESTREO EN LA PLANTA
-
- ⇒ ANÁLISIS DE LABORATORIO
 - ⇒ DISCUSIÓN DE RESULTADOS
 - ⇒ EVALUACIÓN DEL PROCESO

INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

PRECIPITACIÓN

Meses con mayor precipitación: Junio, Agosto y Septiembre

MES	PRECIPITACIÓN (mm)
JUNIO	62
AGOSTO	50
SEPTIEMBRE	69

Precipitación promedio anual: de 337 a 451 mm

TEMPERATURA

ESTACIÓN DEL AÑO	MÁXIMA	MÍNIMA
VERANO	24.1° C	18.1° C
INVIERNO	20° C	13.5° C

Temperatura promedio: 18.2° C

VIENTOS

Velocidad máxima: durante el mes de Septiembre, 2m/s

Velocidad promedio anual: 1.5 m/s

DIRECCIÓN DEL VIENTO	PORCENTAJE DE FRECUENCIAS
N	3.5
NNE	4.5
NE	10
ENE	20
E	20.5
ESE	8
SE	3
SSE	0.5
S	0.75
SSW	4
SW	10.5
WSW	4
W	2
WNW	1
NW	1.75
NNW	1.5
O	4



La zona industrial se localiza al sudeste de de la ciudad de San Luis Potosí.

POBLACIÓN

AGEB Urbana: Es la AGEB que delimita el total o una parte de la localidad de 2500 habitantes o más, o de una cabecera municipal independientemente del número de sus habitantes.

La dirección de la Empresa Metales Potosí es eje 108 s/n Zona industrial.

En base a la información proporcionada por el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática y a los planos de ubicación proporcionados por Metales Potosí, se determinó que la Planta se encuentra ubicada en el AGEB 109-6, colindando con este los siguientes AGEB:

Para el AGEB 110-9 no existen datos disponibles, pero para los demás (incluyendo el 109-6) los datos totales son:

110-9	132-5	146-7	147-1	164-5
145-2	126-A	127-4	128-9	

POBLACION	MUJERES	=18<	=35<	=65<
37738	19326	18823	5485	416

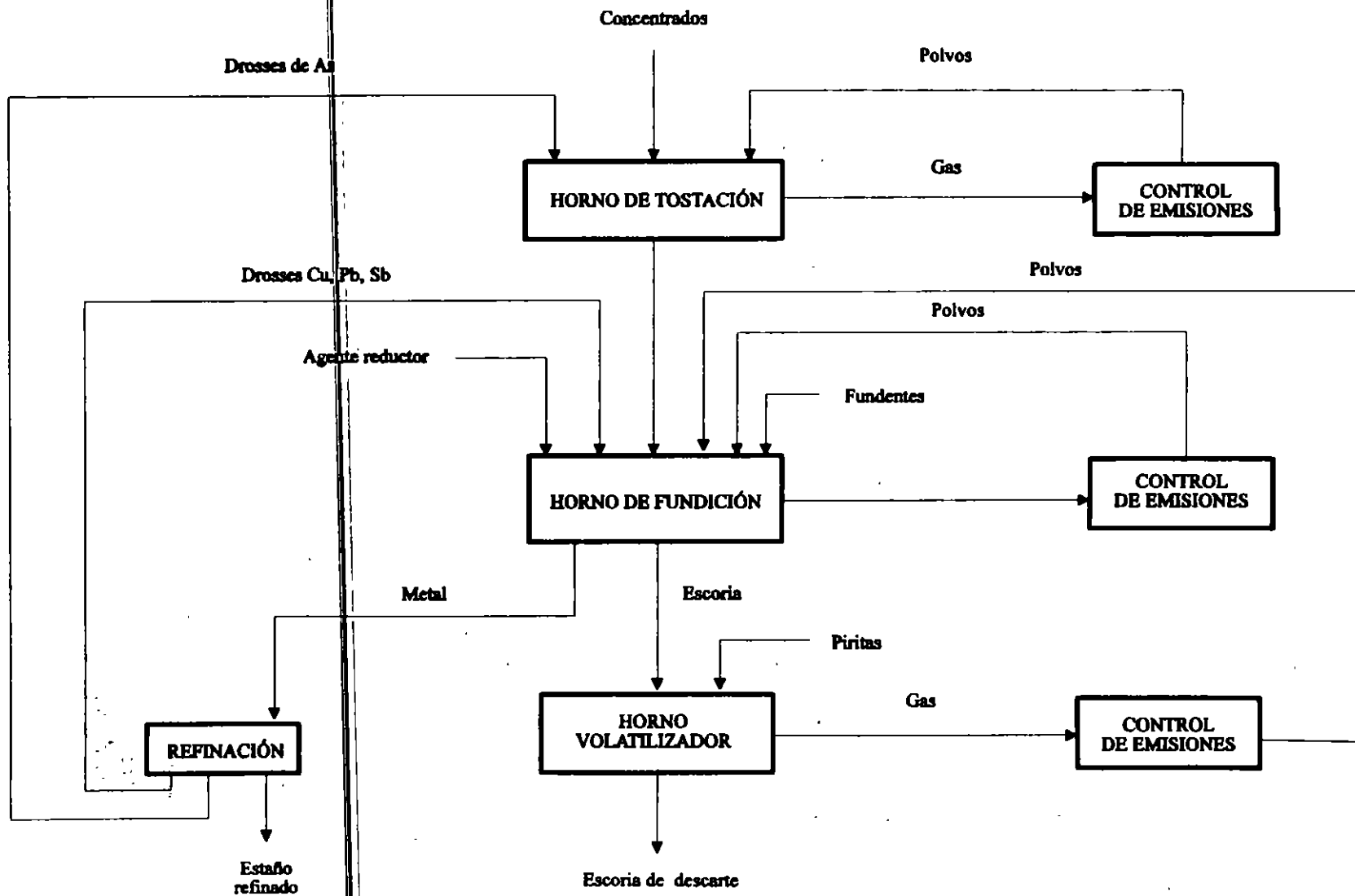
ECONOMICAMENTE ACTIVA OCUPADA	ECONOMICAMENTE ACTIVA DESOCUPADA	HOGAR
12460	223	7481

SECTOR SECUNDARIO	SECTOR TERCIARIO	EMPLEADO U OBRERO	JORNALERO O PEON	TRABAJAN POR CUENTA PROPIA
5285	5626	10697	95	1284

MENOS DE UN SALARIO MINIMO MENSUAL	ENTRE UNO Y DOS SALARIOS MINIMOS MENSUALES	MAS DE DOS Y MENOS DE CINCO SALARIOS MINIMOS MENSUALES
1275	5377	3608

El dato más significativo de las tablas anteriores es que en el área circunvecina a la planta habitan 37738 personas las cuales están expuestas a las posibles emisiones que genere la planta.

PROCESO DE FUNDICIÓN DE ESTAÑO



COMPOSICIÓN DE ALGUNOS DESECHOS INDUSTRIALES

MATERIAL/ELEMENTO	Pb	Bi	Sb	Cu	Fe	Zn	Cd
CENIZAS DE ESTAÑO	0.293	0.0628	1.8002	0.0834	9.046	0.1253	0.0002
ESC. SOLDADURA	29.5738	0.0192	0.1495	0.1675	0.0046	0.0091	0.0002
POLVOS BH	0.4038	0.0859	2.003	0.0832	5.135	0.0554	0.0003
TETRACLORURO Sn	0.046	0.0018	0.0287	0.0068	0.5892	0.0327	0
CHATARRA DE Sn	0.1706	0.1907	0.167	0.0249	0.4033	0.0003	0.0001
SOLDADURA DE Pb	99.5065	0.0288	0.2232	0.01	0.004	0.0092	0.0225
POLVOS DE Cu	0.935	0	0	13.645	0	46.09	0
MINERAL NACIONAL	0.3259	0.0388	0.1236	0.0615	12.9062	0.1914	0
MINERAL BOLIVIA	0.1	0.1	0	0.3	6.5	0.2	0
MINERAL PORTUGAL	0	0	0.02	0.1	7.5	0	0

MATERIAL/ELEMENTO	Ni	Al	Sn	As	S	Cl	F
CENIZAS DE ESTAÑO	0	0	34.7265	0.1007	0.5683	2.0421	0.0092
ESC. SOLDADURA	0.0018	0.0005	55.8716	0.0034	0	0	0
POLVOS BH	0	0	45.422	0.1184	0.7799	2.8963	0.0101
TETRACLORURO Sn	0	0	30.3833	0.0035	0.0001	35.7783	0.2833
CHATARRA DE Sn	0.2186	0.0001	82.0587	0.0256	0	11.0557	0
SOLDADURA DE Pb	0.0004	0.0002	0.1864	0.0063	0	0	0
POLVOS DE Cu	0	0	0.3229	0	0	0	0
MINERAL NACIONAL	0	0	47.6714	0.5273	5.3436	0	0
MINERAL BOLIVIA	0	2.6	49.9	0.28	2.85	0	0
MINERAL PORTUGAL	0	6	48.5	0.08	1.55	0	0.1

Otros compuestos en los materiales son: SiO₂, CaO, Al₂O₃, MgO

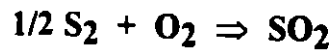
Los contenidos están representados en %

REACCIONES EN LA TOSTACIÓN

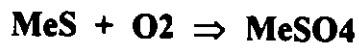
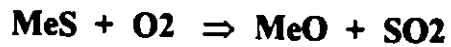
Proceso de eliminación de azufre

En sulfuros de más de dos átomos : FeS_2 , CuFeS_2 , etc.

Temperatura baja

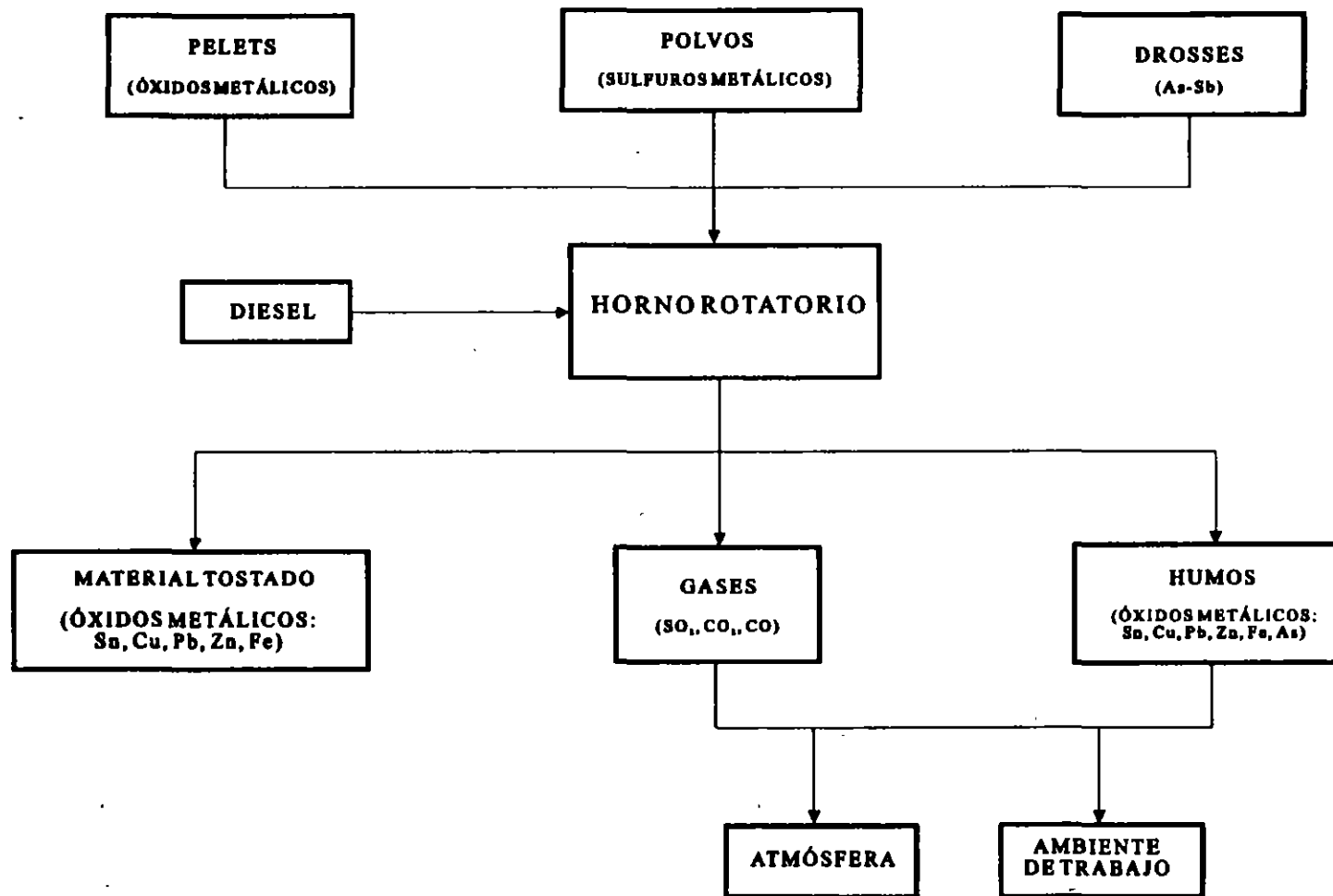


Aumento de temperatura



**DEPTO: PREPARACIÓN
DE MATERIALES**

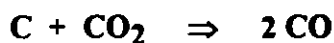
OPERACIÓN: TOSTACIÓN



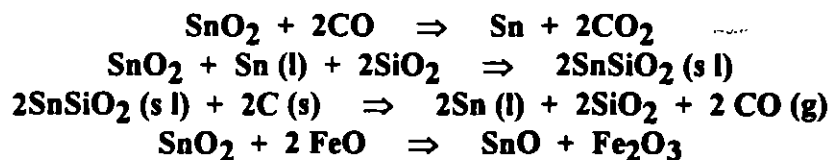
REACCIONES EN EL HORNO ELÉCTRICO

MATERIAS PRIMAS	ELEMENTOS
Concentrados	Si, Al, Ca, Fe, Sn, Pb, Cu, As, Sb, Bi, Zn, S, F.
Residuos	Si, Al, Ca, Fe, Sn, Pb, Cu, As, Sb, Bi, Ni, Zn, S, Ag, Cl, Cd.
Productos Intermedios	Escorias fundición, drosses, polvos y escorias de soldadura.

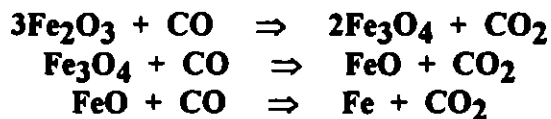
REACCIONES



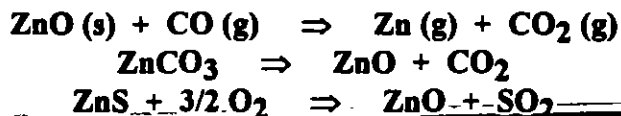
ESTAÑO



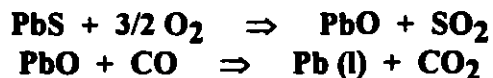
FIERRO



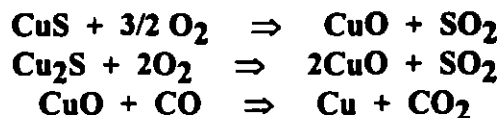
ZINC



PLOMO

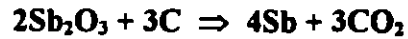
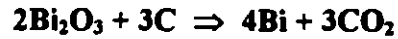
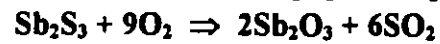
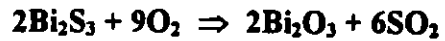


COBRE



BISMUTO Y ANTIMONIO

Generalmente asociados a sulfuros minerales. Después de la tostación se convierten en óxidos.

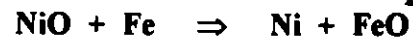
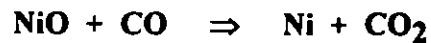


ARSÉNICO

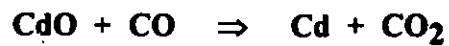
También asociado a sulfuros minerales.



NIQUEL



CADMIO



ESCORIAS

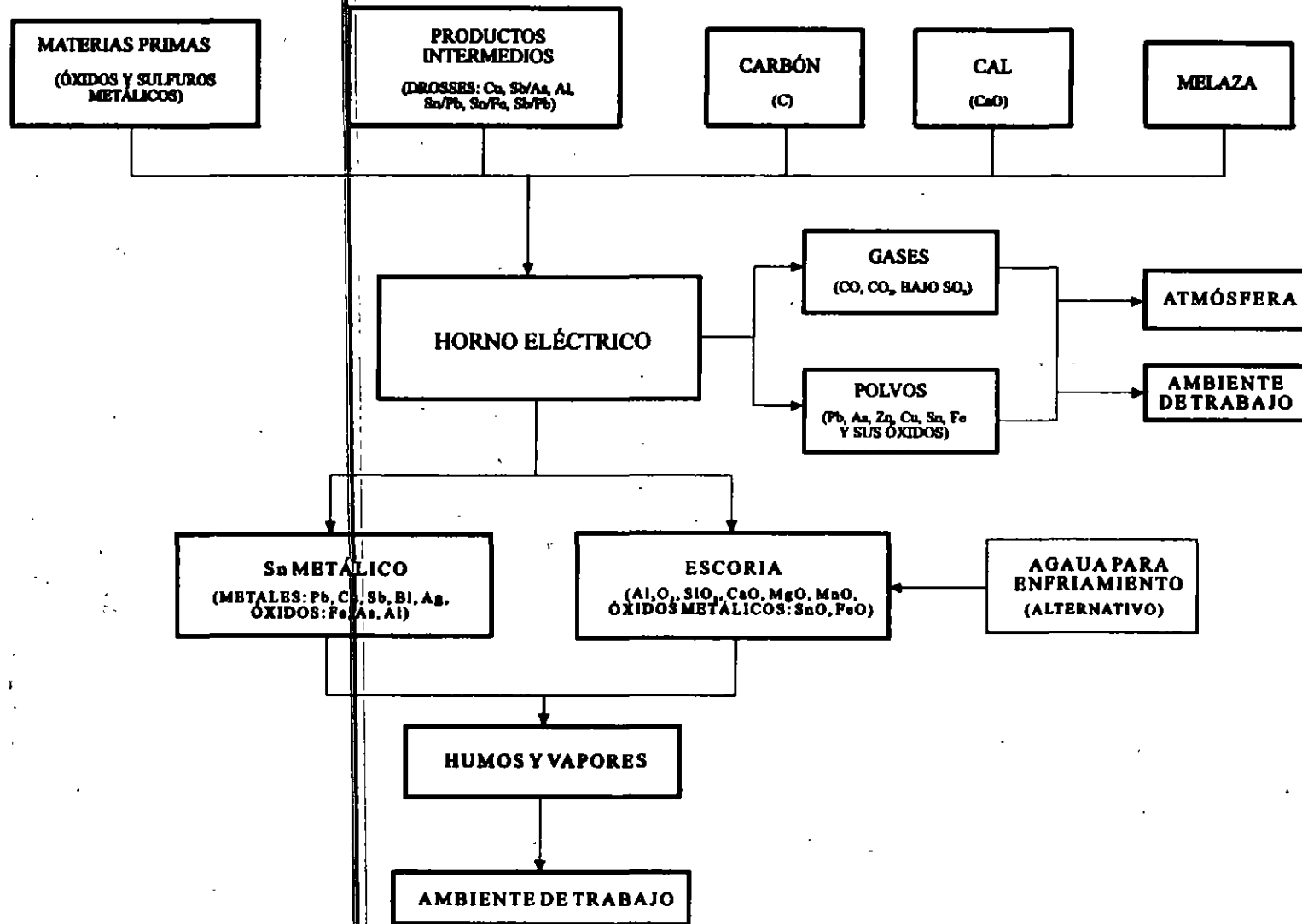


OTROS COMPUESTOS: FeO , SiO₂ , Al₂O₃, CaO, MgO.

FLUOR Y CLORO

**DEPTO: FUNDICIÓN
DE ESTAÑO**

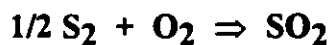
OPERACIÓN: REDUCCIÓN DE ESTAÑO



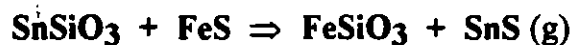
REACCIONES EN EL VOLATILIZADOR

Escorias	Sn, Pb, Zn, Fe, As, MgO, CaO, Al ₂ O ₃ , SiO ₂ .
Pirita	FeS ₂
Arena	SiO ₂
Anhidrita	SiO ₂ , CaO, Al ₂ O ₃

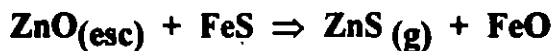
REACCIONES



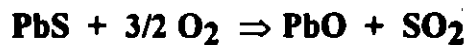
ESTAÑO



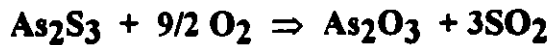
ZINC



PLOMO

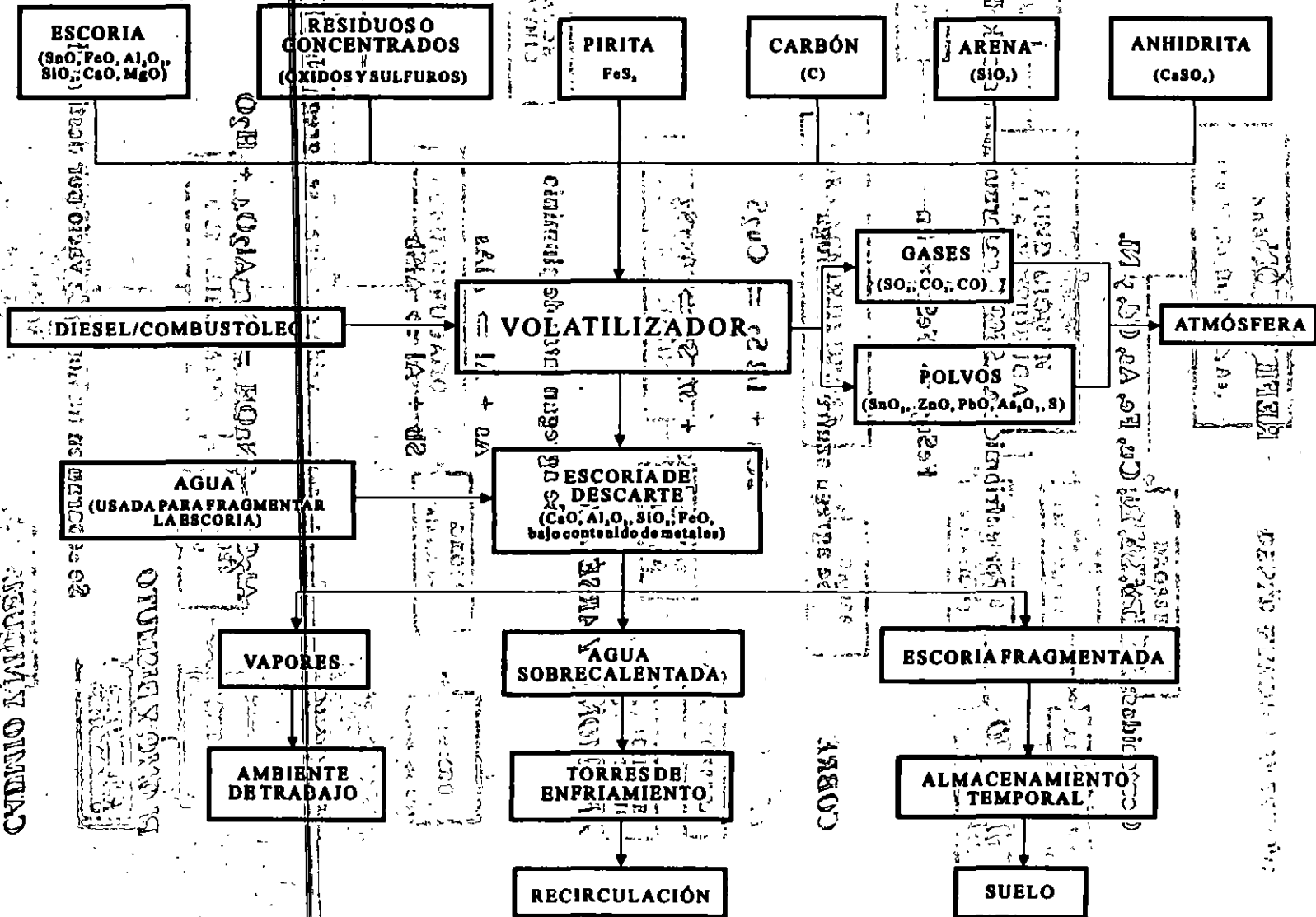


ARSENICO



DEPTO: VOLATILIZACIÓN

OPERACIÓN: VOLATILIZACIÓN



Operación en condiciones controladas en el sustrato

CADENAS Y MANTENIMIENTO

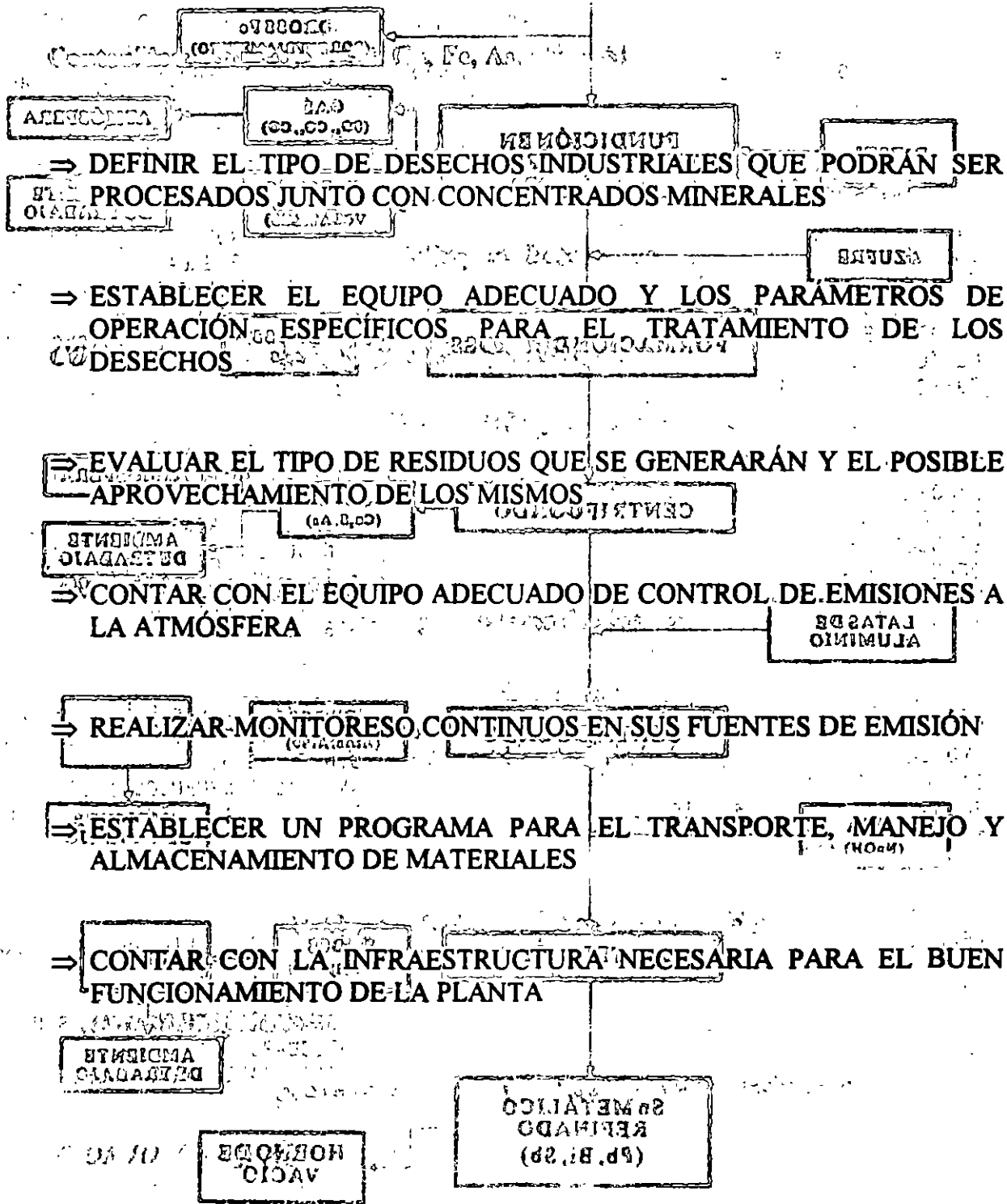
OTORGAR Y CUIDAR

COBY

OPERACIONES EN CONDICIONES CONTROLADAS

OPERACIONES EN CONDICIONES CONTROLADAS

REQUERIMIENTOS PARA LA PLANTA





**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

DIVISION DE EDUCACION CONTINUA, UNAM
DIPLOMADO EN SISTEMAS DE CONTROL DE RESIDUOS SOLIDOS Y PELIGROSOS
MODULO III: PROCESOS DE TRATAMIENTO PARA EL CONTROL DE RESIDUOS SOLIDOS
MUNICIPALES Y PELIGROSOS
DEL 17 AL 22 DE JUNIO DE 1996
DIRECTORIO DE ASISTENTES

LIC. MARIO JESUS GARCIA PONCE
SUBDIRECTOR
G. D. F. DIREC. GRAL. DE SERVS. URB.
AV. RIO CHURUBUSCO 1155
ZAPATA VELA DELEG. IZTACALCO
MEXICO, D. F.
796-27-11 581-17-51

QUIM. ARMANDO GONZALEZ LUNA
JEFE DE BRIGADA
D. G. C. O. H. OFIC. DE EMERG. HID.
DIV. DEL NORTE 3330.
CD. JARDIN DELEG. COYOACAN
MEXICO, D. F.
544-51-81

QUIM. MARIA SOLEDAD GUZMAN PEREZ
LABORATORISTA
DIR. GRAL. DE CONST. Y OPER. HID.
VIADUCTO MIGUEL ALEMAN
DELEG. IZTACALCO
MEXICO, D. F.
650-06-62

ING. REYNA HERNANDEZ SANDOVAL
ING. CIVIL
CAJA COSTARRICENSE DEL SEG. SOC
SAN JOSE COSTA RICA AV. 2a.
EDIF. LAUREANO ECHANDI.
SAN JOSE COSTA RICA
506(2575462)

LIC. GONZALO MARTINEZ ULLOA
DIRECTOR
SYDISA
GALILEO NO. 20-401
POLANCO DELEG. M. HIDALGO
MEXICO, D. F.
280-14-81

ING. RAUL SALCEDO HERNANDEZ
U. U. A. DE LIMPIA MTO. DE AREA
D. D. F. DGSU.
AV. RIO CHURUBUSCO 1155
ZAPATA VELA DELEG. IZTACALCO
MEXICO, D. F.
650-03-21

FRANCISCO TORRES PEREZ

ARQ. MARCELA VILLAGOMEZ CARRANZA
MANTENIMIENTO
ABARROTERA DE PATZCUARO
LIBRAMIENTO I. ZARAGOZA S/N
PATZCUARO
61600 PATZCUARO, MICH.
2-26-48



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

DIVISION DE EDUCACION CONTINUA, UNAM
DIPLOMADO EN SISTEMAS DE CONTROL DE RESIDUOS SOLIDOS Y PELIGROSOS
MODULO III: PROCESOS DE TRATAMIENTO PARA EL CONTROL DE RESIDUOS SOLIDOS
MUNICIPALES Y PELIGROSOS
DEL 17 AL 22 DE JUNIO DE 1996
DIRECTORIO DE ASISTENTES

ING. RAFAELA GPE. ALVAREZ HERNANDEZ
GTE. GRAL.
HIDRO AMBIENTE DE MEX. S.C.
BLVD. AGUA CALIENTE 10535-504
AVIACION
22420 TIJUANA B.C.
91(66)86-44-44

VICTOR MANUEL BUCIO RETA
GERENTE GRAL.
MANUF. ELECTROMECC. DE MICH. S.A.
MANZ. 2 LOTE 7
PARQ. IND. ZITACUARO
ZITACUARO, MICH.
515-22-86

ING. ALEJANDRO COLIN BOJORQUEZ
COOR. DE PROYEC. INST.
DIR. GRAL. DE SERV. AL TRANSP.
AV. DIVISION DEL NORTE 1354
DEL VALLE DELEG. BENITO JUAREZ
03100 MEXICO, D. F.
605-77-55 EXT. 204

FERNANDO CHAVEZ GRIS
JEFE DE VENTAS
LAB. DE ECOLOGIA INDS. S.A. DE CV
ALFONSO HERRERA 75 2o. PISO
SAN RAFAEL DELEG. CUAUHTEMOC
06470 MEXICO, D. F.
728-06-20 535-89-30

PERIOD. MA. DE LOS A. ESCALANTE ALVAREZ
RELACIONES PUBLICAS
SYDISA
GALILEO NO. 20-402
~~POLANCO~~ DELEG. MIGUEL HIDALGO
MEXICO, D. F.
280-16-06

JOSE PABLO ROBERTO GALAN GARCIA
GRUPO CONSTRUCTO S.A. DE C.V.
ORIENTE 1 S/N ENTRE NORT. 13 Y 15
BARRIO SAN JOSE VER.
~~94450 IXTACZOQUITLAN, VER.~~

ING. JORGE GARCIA WHEELER
JEFE DE BRIGADA
D.D.F. DIREC. GRAL. DE CONST. Y
DIV. DEL NORTE 3330
CIUDAD JARDIN DELEG. COYOACAN
MEXICO, D. F.
544-51-81

LIC. LUCIO GPE. GARCIA MORENO
DIREC. GRAL. DE SERV. URBANOS
AV. RIO CHURUBUSCO
ZAPATA VELA DELEG. IZTACALCO
MEXICO, D. F.
796-18-27 EXT.