

0856

DIGESTION DE LODOS CON UNA FUENTE ADICIONAL DE CARBON

CLEMENCIA LARA ZAPATA

TRABAJO

Presentado a la Division de Estudios de
Posgrado de la

FACULTAD DE INGENIERIA
de la

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

como requisito para obtener
el grado de

MAESTRO EN INGENIERIA
AMBIENTAL

CIUDAD UNIVERSITARIA, DF., JULIO DE 1986



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



DEPFI

T. UNAM

1 9 8 6

LAR

APROBADO POR EL JURADO

Presidente: DR. PEDRO MARTINEZ PEREDA

Vocal: M EN I ARNULFO PAZ SANCHEZ

Secretario: M EN C EDMUNDO IZURIETA RUIZ

Suplente: M EN I GASTON MENDOZA GAMEZ

Suplente: M EN C FRANCISCO MONTEJANO URANGA

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO FACULTAD DE INGENIERIA
SECCION DE INGENIERIA AMBIENTAL

TRABAJO DE INVESTIGACION PARA EXAMEN DE GRADO
"DIGESTION DE LODOS CON FUENTE
ADICIONAL DE CARBON"

TEMA PROPUESTO PARA OPTAR AL TITULO DE MAESTRO EN
INGENIERIA AMBIENTAL POR EL CANDIDATO:

CLEMENCIA LARA ZAPATA

DIRECTOR DEL ESTUDIO :

M. en ING. GASTON MENDOZA GAMEZ

CIUDAD UNIVERSITARIA , JULIO DE 1986.
MEXICO , D. F. , MEXICO

" DIGESTION DE LODOS CON FUENTE ADICIONAL
DE CARBON ".

DIRECTOR:

M. en I. Gastón Mendoza Gamez.

A LOS SEÑORES MIEMBROS DEL JURADO.

- Dr. PEDRO MARTINEZ PEREDA.
- MAESTRO GASTON MENDOZA GAMEZ.
- MAESTRO ARNULFO PAZ SANCHEZ.
- MAESTRO EDMUNDO IZURIETA.
- MAESTRO FRANCISCO MONTEJANO URANGA.

POR SU VALIOSA PARTICIPACION EN EL DESARROLLO DEL
PRESENTE TRABAJO.

A mi director:

MAESTRO GASTON MENDOZA GAMEZ.

A mis padres:

Gabriel Lara Buitrago.
y Romelia Zapata Arvelaez.

A mis hermanos:

Dario, Hernan, Irma, Sergio,
Yeny, Patricia y Luz Yeny.

A la empresa:

Sistemas y Proyectos Futura
Al Ing. Antonio List Mendoza.

A la División de Estudios Superiores de la Facultad de Ingeniería
de la U.N.A.M.

A todos mis maestros.

Al Arquitecto Bernardo Tejeiro Reina.

A mis compañeros y amigos.

INDICE GENERAL.

- 1.- INTRODUCCION .
ALCANCES.
- 2.- LODOS GENERADOS EN PROCESOS BIOLOGICOS.
 - 2.1.- Generalidades.
 - 2.2.- Lodos Primarios.
 - 2.3.- Lodos Biológicos.
- 3.- ACONDICIONAMIENTO TRATAMIENTO, Y USO O DISPOSICION FINAL DE LOS LODOS.
 - 3.1.- Introducción.
 - 3.2.- Espesamiento.
 - 3.2.1.- Métodos de espesamiento.
 - 3.3.- Estabilización.
 - 3.3.1.- Métodos de Estabilización.
 - 3.4.- Acondicionamiento.
 - 3.4.1.- Métodos de Acondicionamiento.
 - 3.5.- Deshidratación.
 - 3.5.1.- Métodos de Deshidratación.
 - 3.6.- Uso ó Disposición Final.
- 4.- DIGESTION ANAEROBIA Y DIGESTION AEROBIA DE LODOS.
 - 4.1.- Introducción.
 - 4.2.- Digestión Anaerobia.
 - 4.2.1.- Fundamento.
 - 4.2.2.- Descripción del Proceso.
 - 4.2.3.- Métodos de Digestión Anaerobia.

- 4.2.4.- Consideraciones de Diseño.
- 4.2.5.- Funcionamiento del Proceso.
- 4.2.6.- Diseño de los Componentes del Sistema.
- 4.2.7.- Control del Proceso y Consideraciones de manejo.
- 4.2.8.- Ventajas y Desventajas.
- 4.2.9.- Calidad y Eficiencia.
- 4.2.10.- Costos.
- 4.2.11.- Ejemplo de Diseño.
- 4.3.- Digestión Aerobia de Lodos.
- 4.3.1.- Fundamento.
- 4.3.2.- Descripción del Proceso.
- 4.3.3.- Métodos de Digestión Aerobia.
- 4.3.4.- Consideraciones de Diseño.
- 4.3.5.- Consideraciones de Manejo y Funcionamiento del Proceso.
- 4.3.6.- Ventajas y Desventajas.
- 4.3.7.- Calidad y Eficiencia.
- 4.3.8.- Costos.
- 4.3.9.- Ejemplo de Diseño.
- 5.- DIGESTION AEROBIA DE LODOS CON FUENTE ADICIONAL DE CARBON.
- 5.1.- Fundamento.
- 5.2.- Descripción del Proceso.
- 5.3.- Clasificación de los Sistemas de Composteo.
- 5.3.1.- Procesos Abiertos.
- 5.3.2.- Procesos Mecánico ó Cerrado.

- 5.4.- Criterio de Diseño.
- 5.5.- Investigaciones Realizadas en Estados Unidos y Europa.
- 5.6.- Ecuaciones Básicas de Ingeniería del Composteo.
- 5.7.- Costos.
- 5.8.- Ejemplo de Diseño.
- 6.- EVALUACION DE ALTERNATIVAS DE ESTABILIZACION DE LODOS.-
- 6.1.- Introducción.
- 6.2.- Parámetros ó Indicadores Analizados.
- 7.- BIBLIOGRAFIA.

RELACION DE FIGURAS.

- 1.- GENERACION, TRATAMIENTO Y DISPOSICION DE LODOS DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES.
- 2.- CANTIDADES TIPICAS DE LODOS GENERADOS POR DIFERENTES PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.
- 3.- CAMBIOS EN EL VOLUMEN DE LODOS CON AUMENTO EN LA CONCENTRACION DE SOLIDOS.
- 4.- MECANISMO DE LA DIGESTION ANAEROBIA.
- 5.- SISTEMA DE DIGESTION ANAEROBIA (BAJA TASA).
- 6.- SISTEMA DE DIGESTION ANAEROBIA, ALTA TASA (ESTADO SIMPLE).
- 7.- SISTEMA DE DIGESTION ANAEROBIO, ALTA TASA (ESTADO DOBLE).
- 8.- PROCESO DE DIGESTION ANAEROBIA EN DOS FASES.
- 9.- EFECTO DEL TIEMPO DE RETENCION DE SOLIDOS Y DE LA TEMPERATURA SOBRE LA REDUCCION DE SOLIDOS VOLATILES EN UN DIGESTOR ANAEROBIO A ESCALA PILOTO.
- 10.- EFECTO DE LA TEMPERATURA SOBRE LA PRODUCCION DE GAS.
- 11.- COSTOS DE CONSTRUCCION PARA SISTEMAS DE DIGESTION ANAEROBIA.
- 12.- COSTOS DE OPERACION, MANTENIMIENTO Y ENERGIA PARA SISTEMAS DE DIGESTION ANAEROBIA DE LODOS.
- 13.- DISEÑO CONCEPTUAL DE UN SISTEMA DE DIGESTION DE LODOS ANAEROBIA.
- 14.- INFLUENCIA DE LA EDAD DEL LODO Y DE LA TEMPERATURA DEL LIQUIDO SOBRE LA TASA DE UTILIZACION DE OXIGENO, EN DIGESTORES AEROBIOS.

- 15.- CARTA DE DISEÑO PARA AERADORES MECANICOS (BAJA TASA) EN TANQUES DE AERACION NO CIRCULARES, PARA CALCULAR ENERGIA NECESARIA PARA OXIGENO DE MEZCLADO.
- 16.- EFECTO DE LA EDAD DEL LODO SOBRE EL pH, DURANTE LA DIGESTION AEROBIA.
- 17.- REDUCCION DE SOLIDOS VOLATILES, COMO UNA FUNCION DE LA TEMPERATURA DEL LIQUIDO DEL DIGESTOR Y LA EDAD DEL LODO EN EL DIGESTOR.
- 18.- RESUMEN DE RESULTADOS PARA EL EJEMPLO DE DISEÑO DE LA DIGESTION AEROBIA.
- 19.- COMPOSTEO EN PILAS ESTATICAS AERADAS.
- 20.- EFECTO DEL CONTENIDO DE SOLIDOS EN LOS LODOS DESHIDRATADOS SOBRE LA TASA DE RECICLAJE (PESO-HUMEDAD), NECESARIO PARA LOGRAR UN CONTENIDO DE SOLIDOS EN LA MEZCLA DEL 40%.
- 21.- EFECTO DEL CONTENIDO DE SOLIDOS EN LOS LODOS DESHIDRATADOS SOBRE LA TASA DE RECICLAJE (PESO-SECO), NECESARIO PARA LOGRAR UN CONTENIDO DE SOLIDOS EN LA MEZCLA DEL 40%.
- 22.- EFECTO DE CONTENIDO DE SOLIDOS EN LOS LODOS, SOBRE LA VOLATILIDAD DE LA MEZCLA DE LODOS Y COMPOSTA RECICLADA.
- 23.- EFECTO DE LOS SOLIDOS EN LOS LODOS Y LOS SOLIDOS EN LA COMPOSTA, SOBRE LA EVAPORACION DE HUMEDAD NECESARIA.
- 24.- EFECTO DE LA TEMPERATURA DEL AIRE SOBRE LA HUMEDAD ESPECIFICA A 100% DE HUMEDAD RELATIVA Y A UNA PRESION TOTAL DE 760 mm Hg.

- 25.- EFECTO DE LOS SOLIDOS EN LOS LODOS Y LA TEMPERATURA DEL -- AIRE DE SALIDA, SOBRE LA NECESIDAD DE AIRE PARA REMOCION - DE HUMEDAD, PARA UN CONTENIDO DE SOLIDOS EN LA COMPOSTA DE 70%.
- 26.- EFECTO DEL CONTENIDO DE SOLIDOS SOBRE LA TASA, DE AGUA A MA TERIA ORGANICA DEGRADABLE PARA LODOS CRUDOS Y DIGERIDOS.
- 27.- EFECTO DEL CONTENIDO DE SOLIDOS SOBRE LA ENERGIA NECESARIA PARA LODO CRUDO,BAJO VARIAS CONDICIONES DE TEMPERATURA DEL AIRE DE SALIDA Y DE LA TASA DE AIRE EN EXCESO.
- 28.- EFECTO DEL CONTENIDO DE SOLIDOS SOBRE EL CONTENIDO DE SOLI DOS EN LA MEZCLA,DESPUES DEL COMPOSTEO DE LODOS DIGERIDOS, BAJO VARIAS CONDICIONES DE TEMPERATURA DE SALIDA DE AIRE Y TASA DE EXCESO DE AIRE (EAR),RECICLAJE DE COMPOSTA O FUEN TE DE CARBON SE ADICIONO PARA LOGRAR UNA HUMEDAD INICIAL - DEL 40%.
- 29.- EFECTO DEL CONTENIDO DE SOLIDOS SOBRE LA ENERGIA NECESARIA PARA COMPOSTEO,PARA LODOS DIGERIDOS BAJO VARIAS CONDICIONES DE TEMPERATURA DEL AIRE DE SALIDA Y TASA DE EXCESO DE AIRE.
- 30.- EFECTO DEL CONTENIDO DE SOLIDOS SOBRE EL CONTENIDO DE SOLI DOS EN LA MEZCLA DESPUES DEL COMPOSTEO DE LODO CRUDO,BAJO - DIFERENTES CONDICIONES DE TEMPERATURA DEL AIRE DE SALIDA Y LA TASA DE EXCESO DE AIRE (EAR),RECICLAJE DE COMPOSTEO. FUENTE DE CARBON SE ADICIONO PARA LOGRAR HUMEDAD INICIAL - DEL 40%.

- 31.- DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO PARA EL SISTEMA DE COMPOSTEO DE LODO POR EL METODO DE PILA EXTENDIDA (0.45 m³/s), --- PLANTA DE LODOS ACTIVADOS.
- 32.- PLANTA DE AREA DE COMPOSTEO (BANGOR , MAINE).
- 33.- LOCALIZACION DE PUNTOS DE MONITOREO DE TEMPERATURA Y OXIGENO PARA LOS SISTEMAS DE PILA AERADA INDIVIDUAL O DE HILERA.

RELACION DE TABLAS.

- 1.- CARACTERISTICAS DE OPERACION Y FUNCIONAMIENTO PARA UN DIGESTOR DE LODOS ACTIVADOS EN DOS FASES (ESCALA - PILOTO).
- 2.- CRITERIOS DE DISEÑO PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE UN DIGESTOR -- ANAEROBIO DE LODOS.
- 3.- CRITERIOS DE DISEÑO, TIEMPO DE RETENCION DE SOLIDOS PARA DIGESTION A ALTA TASA
- 4.- ENTRADAS Y SALIDAS EN UN SISTEMA DE DIGESTION ANAEROBIA DE LODOS ALTA TASA (DOS ESTADOS).
- 5.- CARACTERISTICAS FISICAS Y QUIMICAS DE LODOS DE SISTEMA DE DIGESTION ANAEROBIA, ALTA TASA (DOS ESTADOS).
- 6.- COEFICIENTES DE TRANSFERENCIA DE CALOR PARA DIFERENTES MATERIALES EN TANQUES DE DIGESTION ANAEROBIA.
- 7.- CRITERIOS DE DISEÑO (EJEMPLO), DIGESTION ANAEROBIA.
- 8.- RESUMEN DE CRITERIOS DE DISEÑO PARA DIGESTORES AEROBIOS.
- 9.- DENSIDAD DE VARIOS AGENTES EMPLEADOS EN EL COMPOSTEO.
- 10.- TASA C/N DE VARIOS DESECHOS.

RELACION DE CUADROS.

- 1.- TIPOS DE LODOS CRUDOS (NO TRATADOS).
- 2.- EFECTO DE LOS PROCESOS DE TRATAMIENTO DE LODOS SOBRE EL MISMO Y OPCIONES DE USO O DISPOSICION.
- 3.- SINTESIS DEL PROCESO DE DIGESTION ANAEROBIA.
- 4.- DESCRIPCION DEL PROCESO DE DIGESTION AEROBIA Y MECANISMO - DE DEGRADACION BIOLOGICA.
- 5.- ESQUEMA GENERALIZADO DEL PROCESO DE DIGESTION DE LODOS CON FUENTE ADICIONAL DE CARBON.
DIAGRAMA DEL BALANCE DE MASA.

1.- INTRODUCCION.-

La necesidad creciente de proteger el medio ambiente cada vez más deteriorado por el hombre, ha sido en las últimas décadas motivo de gran preocupación para la humanidad, lo que ha llevado a los técnicos especializados en la rama de la ingeniería que se ha dedicado al mejoramiento del ambiente a estudios e investigaciones más profundas al respecto.

En este marco, un elemento que ha resultado difícil de manejar, es el lodo biológico que regularmente se produce en los sistemas de tratamiento de aguas negras, cuya generación es de tal cuantía que al no preveer su tratamiento y disposición, provoca que las plantas de tratamiento y áreas circunvecinas se vean invadidas de estos lodos, con la consecuente contaminación del medio y mal aspecto. Este problema llega a ser tal que inclusive se puede considerar como un factor decisivo en el sistema de tratamiento a proponer, buscando aquel que genere la menor cantidad de lodos.

La legislación cada vez más estricta, con respecto a la descarga de lodos en los diferentes medios, agua, suelo y aire; así como la búsqueda de nuevas técnicas de reciclaje o reuso de materiales de desecho por el incremento en los costos de energía para su incineración y la dificultad en encontrar lugares para disponerlos en rellenos sanitarios, así como la tendencia a descontinuar el

bombeo de lodos en el oceano son , factores determinantes que obligan a buscar nuevas técnicas de tratamiento de lodos.

Con el objeto de buscar soluciones al problema del manejo de los lodos, a través del tiempo se han propuesto sistemas para lograr su estabilización y consecuentemente una mayor facilidad en la eliminación, desarrollando inclusive sistemas de tratamiento cuyo producto final se ha buscado que tenga alguna posibilidad de utilización a fin de lograr en primera instancia la seguridad -- de que siempre habrá la posibilidad de disponerlos, tratando de que tengan algún valor económico o de utilización que amortice los costos que por el manejo y disposición de lodos se generan en las plantas de tratamiento.

ALCANCES.-

Reconocida la problemática de la generación de lodos en las plantas de tratamiento de aguas residuales, en el desarrollo del presente trabajo se incluye un análisis que parte de reconocer la cantidad y calidad de lodos que se producen en los diferentes sistemas de tratamiento biológico, así como de los métodos de acondicionamiento y disposición conocidos en el manejo de lodos, planteando también su posibilidad de utilización.

En el desarrollo del trabajo se enfoca la atención a la " Digestión de Lodos con Fuente Adicional de Carbón ", como una alternativa de estabilización, estableciendo las bases para combinar dos residuos (lodos, fuente de carbón), que bajo un adecuado control del proceso generen un producto final más estable y enriquecido, posible de almacenar y aplicar al suelo sin implicaciones ambientales y que bajo un buen programa de mercado, permita recuperar parcial o totalmente los costos del procesos y operación.

En este último concepto se enfatiza en factores de costos, eficiencias, problemas de operación que permitan fijar algún criterio de aplicación de estas técnicas en países subdesarrollados, con respecto a los sistemas tradicionales de estabilización.

2.- LODOS GENERADOS EN PROCESOS BIOLÓGICOS.

2.1.- Generalidades.

Los lodos son un subproducto del tratamiento de aguas, donde las características de los mismos, dependen de la composición inicial del agua a tratar y de los procesos empleados, tanto en el tratamiento mismo del agua como en el que se le da a los lodos.

El lodo proveniente del tratamiento de aguas residuales domésticas contiene 93 a 99.5 por ciento de agua, correspondiendo el porcentaje restante a sólidos y sustancias disueltas que se encontraban presentes en el agua residual o que se adicionaron por el proceso del tratamiento empleado.(1)

Los diferentes procesos de tratamiento generan diferentes tipos y volúmenes de lodo. En una misma planta, las características del lodo producido pueden variar anualmente, durante las diferentes estaciones, o diariamente debido a cambios en la composición del agua residual y a variaciones en los procesos de tratamiento por temperatura, ambiente, luz, etc.

Las características del lodo determinan la opción de uso o disposición del mismo. Por lo tanto al evaluar las alternativas de uso o disposición, se debe determinar primero la cantidad y características del lodo y el grado de variación en esas características.

En la figura No. 1 se muestran en forma simplificada el origen de las aguas residuales, los diferentes tipos de tratamiento para las mismas, el tipo de lodo que se genera de cada uno de ellos, los procesos de tratamiento del lodo y las diferentes opciones de uso o disposición de los mismos.

Los lodos que se analizarán durante el desarrollo de este trabajo son los primarios y los lodos biológicos o secundarios, de los cuales se da una breve descripción de su origen, características, producción y manejo. (Ver cuadro No. 1).

2.2.- Lodos Primarios.

Origen..

Los lodos primarios se obtienen de los tanques de sedimentación primaria, donde se recogen los sólidos sedimentables removidos del influente.

Características y Manejo.

Los lodos primarios tienen un color que puede ir desde negro hasta café claro y son más densos que los lodos biológicos, generalmente tienen un olor desagradable, no drenan bien sobre lechos de secado, pero pueden ser deshidratados mecánicamente.

Los lodos primarios son más fáciles de deshidratar que los lodos biológicos y químicos y por lo tanto su manejo es más sencillo. Son fácilmente espesados por gravedad en el tanque de sedimentación primaria o en un espesador separado, obteniéndose buena concentración de sólidos.

Producción de Lodos. (Ver figura No. 2).

La producción de lodos primarios en una planta de tratamiento se encuentra en un rango de 100 a 300 mg/l de aguas tratadas (1), 2500 a 3500 litros de lodo por millón de litros de aguas residuales tratadas (2), una forma de determinar esta producción es me -

GENERACION, TRATAMIENTO Y DISPOSICION DE LODOS DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES

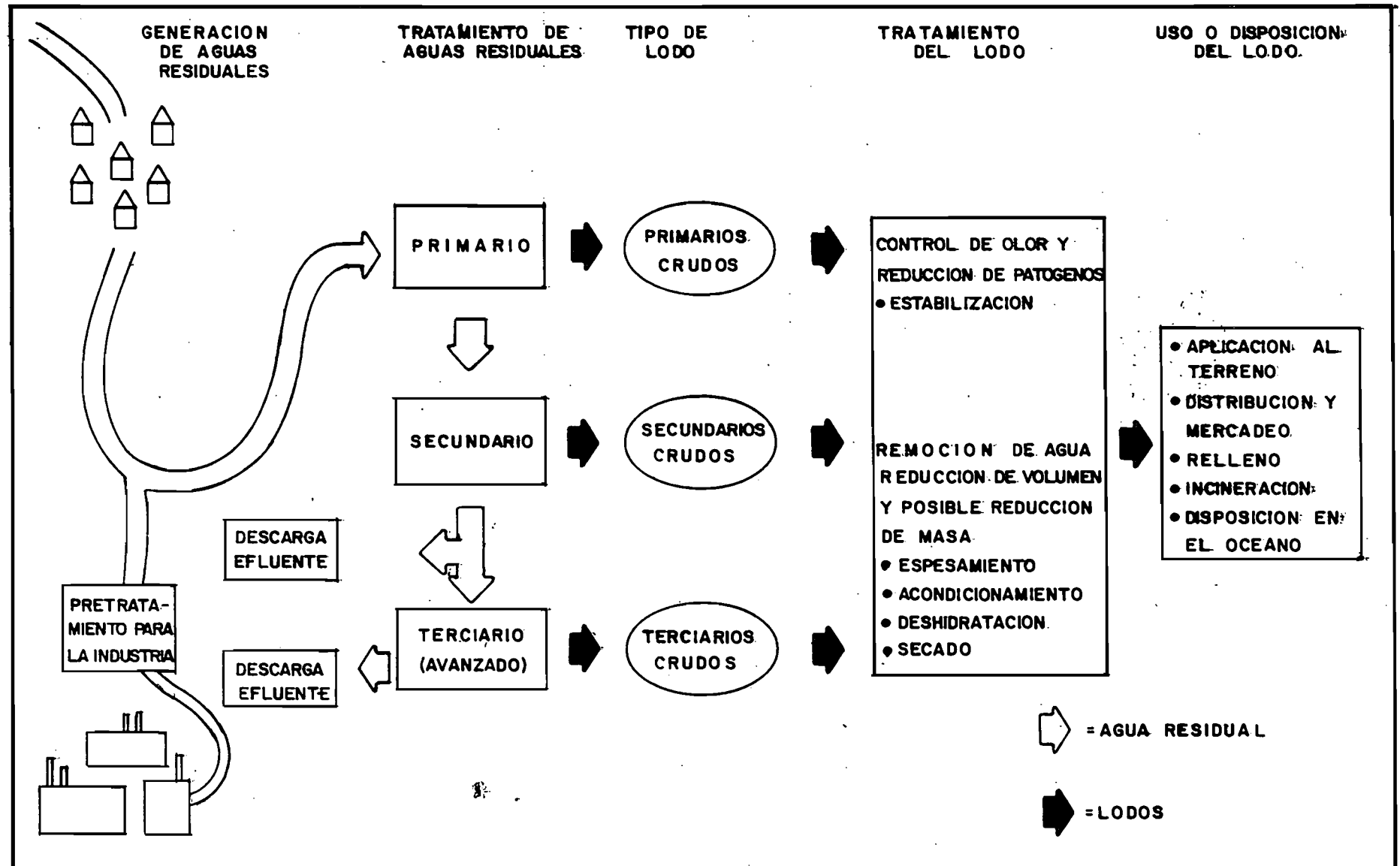


FIGURA N.º 1

dir la cantidad de sólidos suspendidos totales, (S.S.T.), que --
entran al tanque de sedimentación primaria y suponer una eficienu
cia de remoción, la que en general se acepta que puede ser de --
50 a 65%, fluctuando con las características del influente. (1)

Cuando no se pueden determinar los S.S.T., se escoge un valor ---
entre 0.07 - 0.11 Kg/hab/día. El lodo primario que se obtiene -
contiene de 3 a 7 % de sólidos. (1).

2.3. Lodos Biológicos.

Origen.

Estos lodos son generados durante los procesos de tratamiento --
biológicos secundario , sistemas de lodos activados, filtros ro -
ciadores y sistemas de biodiscos principalmente.

Características y Manejo.

Las diferentes características de los lodos biológicos varían --
mucho de una planta a otra y con respecto al tiempo (estaciones
del año), dependiendo de la tasa de crecimiento de los micro---
organismos y del tipo de agua residual a tratar.

Los lodos obtenidos de los procesos de lodos activados tienen --
poco olor, un color que va de amarillo hasta café oscuro, son de

consistencia floculenta, son muy activos biológicamente y son --
difíciles de deshidratar.

Los lodos de filtros rociadores y de biodiscos, son de color ca-
fé claro y son también de consistencia floculenta.

Comparados con los lodos primarios, los lodos biológicos de tra-
tamiento secundario contienen mayor cantidad de nitrógeno, fósfo-
ro y proteínas, mientras que la cantidad de grasas, aceites y --
celulosa, así como la densidad, son menores.

Se tienen mejores propiedades de espesamiento en los lodos obte-
nidos de los procesos de filtros rociadores y de biodiscos que -
en los de procesos de lodos activados.

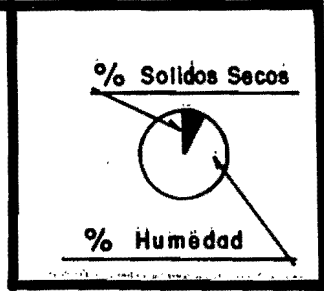
La concentración de sólidos en los lodos del proceso de lodos -
activados es de 0.1 a 3.0%, en filtros rociadores de 3 a 7% y en
los sistemas de biodiscos de 5 a 50%. (1).

El deshidratado mecánico es el sistema más apropiado para manejar
los lodos biológicos, pues dada la alta actividad biológica, son
difíciles de deshidratar y concentrar por otros medios.

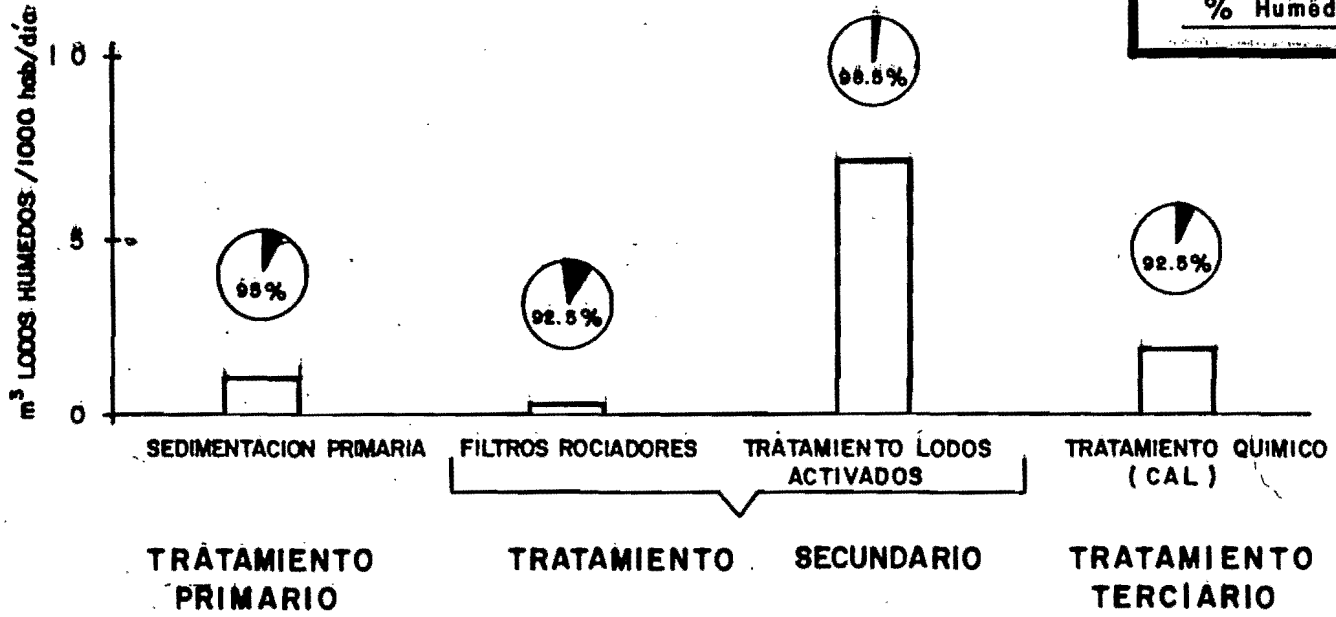
Producción de Lodos Biológicos.

La cantidad de lodos biológicos producidos durante el proceso de

FIG. No. 2

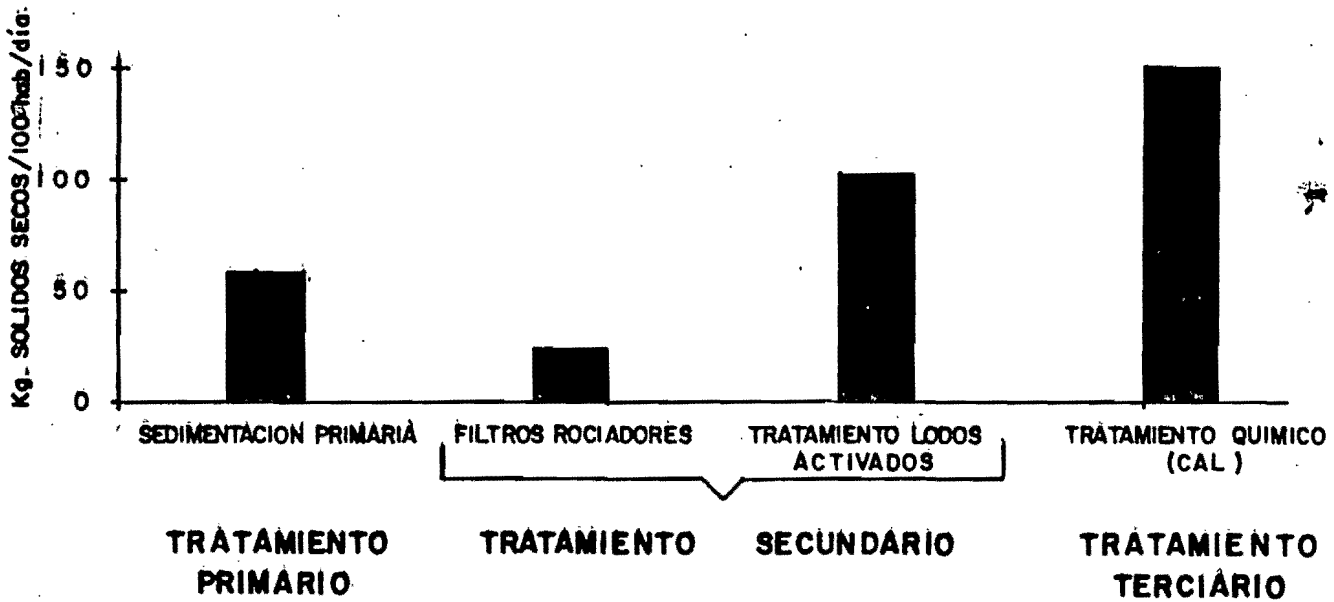


LODO HUMEDO



1 m³ = 264.2 gal.
1 Kg. = 2.205 lb.

LODO SECO



CANTIDADES TÍPICAS DE LODOS GENERADOS POR DIFERENTES PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

REFERENCIA: Metcalf and Eddy, Inc. 1972. Wastewater engineering. collection, treatment, and disposal Mc Graw Hill, Inc.

lodos activados es mayor comprada con los lodos obtenidos en los procesos de filtros rociadores y en los sistemas de biodiscos, - excepto en ciertos períodos del año, cuando la flora sobre la -- superficie de contacto, empleada en los filtros rociadores y en los sistemas de biodiscos cambia notablemente.

La producción de lodos biológicos en una planta de tratamiento - es de 15,000 a 20,000 litros por millón de litros de aguas resi- duales tratadas (2).

Producción en Proceso de Lodos Activados.

Para las aguas residuales domésticas, el crecimiento neto de sólidos biológicos se puede determinar conociendo el coeficiente - de producción, (Y) y el coeficiente de remoción de DBO (Kd), por medio de la siguiente expresión.

$$Px = (Y) (Sr) - (Kd) (M) \quad (a) \quad \text{ref. (1).}$$

$$WAS_t = Px + \text{Inv.} - \text{Et.}$$

donde:

Px = Crecimiento neto de sólidos biológicos .
(Expresado como sólidos suspendidos Volátiles S.S.-
v.), Kg/día.

Y = Coeficiente de producción total.

S_r = Sustrato (DBO_5 removido), Kg/día.

K_d = Coeficiente de respiración endógena, $día^{-1}$.

M = Sólidos Microbianos (SSV), Kg.

WAS_t = Producción de lodos activados de desechos, Kg/día.

Inv. = Sólidos suspendidos no volátiles alimentados al proceso
Kg/día.

E_t = Sólidos Suspendidos en el efluente, Kg/día.

Las constantes Y y K_d pueden ser obtenidas de pruebas de laboratorio o de análisis de plantas similares. Para aguas residuales domésticas con sedimentación primaria, $Y = 0.70$ y $K_d = 0.075 \text{ día}^{-1}$ y para aguas residuales domésticas sin sedimentación primaria, Y se encuentra en un rango entre 0.80 a 1.10 y K_d es de 0.08 día^{-1} (3).

Efecto de la Edad de los Lodos y de la Relación $\frac{F}{M}$.

El parámetro de diseño más importante en un sistema de lodos activados es la carga orgánica expresada como la relación alimento a microorganismos.

Esta relación influye en la producción de lodos, en las características de sedimentabilidad del licor mezclado y en las necesidades de oxigenación.

La ecuación (a) puede ordenarse para ver el efecto de la relación

alimento a microorganismos $\left(\frac{F}{M}\right)$ en el crecimiento neto de sólidos biológicos, (P_x) .

$$P_x = (Y) (S_r) - \frac{(K_d) (S_r)}{(C_2) (F/M)}$$

ya que $\left(\frac{F}{M}\right) = \frac{S_r}{C_2 M}$.

C_2 = Coeficiente de Eficiencia de Remoción de DBO_5 . Aproximadamente 0.9 (2).

El término Edad de los Lodos, (θ_m) , se usa para indicar el tiempo de retención del lodo. En forma similar a la anterior la ecuación (a), puede ordenarse para ver el efecto de la edad de los lodos en el crecimiento neto de sólidos biológicos, (P_x) .

$$P_x = \frac{(Y) (S_r)}{1 + (K_d) (\theta_m)}$$

ya que $\theta_m = \frac{M}{P_x}$ θ_m en días.

Estas ecuaciones muestran que la producción de sólidos, (P_x) aumenta con un incremento en S_r y F/M y disminuye con un aumento en la masa de organismos y θ_m . También P_x aumenta si Y aumenta o si K_d disminuye.

En la práctica estos factores que tienden a aumentar o disminuir a P_x tienen unos límites.

Como el manejo de los lodos es muy costoso, se busca disminuir los volúmenes de lodos a tratar, usando altos valores de θ_m o bajos valores de F/M .

La relación que existe entre el incremento en el volumen del tanque de aeración, en la cantidad de oxígeno requerido por el sistema biológico, así como los cambios estacionales, obligan a realizar un balance para optimizar θ_m y F/M y lograr eficiencias máximas en el tratamiento de aguas residuales. Estas condiciones pueden verificarse y preverse, requiriéndose para tal objeto de la realización de cálculos de ensayo y error, con lo cual de los resultados, se puede lograr que el sistema funcione en un intervalo amplio de condiciones sin el que el proceso pierda su funcionalidad.

Producción de Lodos de los Filtros Rociadores.

Para el cálculo de la producción de lodos de los filtros rociadores se emplea una ecuación similar, a la desarrollada para el sistema de lodos activados.

$$P_x = Y' (S_r) - K_d' (A_m) \quad (b)$$

P_x = Crecimiento neto de sólidos biológicos (S. S. V.), Kg/día.

Y' = Coeficiente de producción total.

S_r = Sustrato (DBO_5) removido, Kg/día.

K_d' = Coeficiente de respiración endógena, día⁻¹.

A_m = Area media superficial en el reactor.

Los lodos que necesitan manejarse serán :

$$WTFS = P_x + I_{nv} - E_t$$

donde:

WTFS = Producción de lodos de desecho de filtros rociadores Kg/día .

I_{nv} = Sólidos suspendidos no volátiles alimentados al proceso , Kg/día.

E_t = Sólidos suspendidos en el efluente, Kg/día.

La cantidad de lodos en exceso producidos en un filtro rociador de baja tasa, es mucho menor que los producidos por filtros de alta tasa o por el proceso de lodos activados.

Producción de Lodos de Biodiscos (RB).

Se han reportado datos de producción de lodos en este tipo de sistema de 0.62 a 0.82 Kgs. de S.S.T./Kg. de DBO_5 removida y de 0.4 a 0.5 Kg de S.S.T./Kg de DBO_5 removida (1) .

En el tanque de sedimentación final se remueve un 70 a 83 % de --
estos sólidos como lodos (1).

La cantidad de lodos obtenida por medio de este sistema es menor
comparada con la de los otros dos sistemas de tratamiento bioló-
gico.

Hay varios parámetros que afectan la producción de lodos y que -
al mismo tiempo son determinantes durante el proceso, como son :
la transferencia y la necesidad de oxígeno, efectos de la ---
composición del alimento, la temperatura, la existencia de los -
nutrientes necesarios. efectos de la nitrificación, etc. y que -
no se analizan en detalle, por considerar que corresponden al --
diseño del proceso de tratamiento de aguas residuales.

LODOS PRIMARIOS. GENERADOS DURANTE UN TRATAMIENTO PRIMARIO. SE REMUEVEN SOLIDOS QUE SEDIMENTAN FACILMENTE. EL LODO PRIMARIO CONTIENE 3 A 7% DE SOLIDOS, REDUCIR EL CONTENIDO DE HUMEDAD SE LOGRA FACILMENTE POR ESPESAMIENTO Y DESHIDRATACION.

LODOS SECUNDARIOS. COMUNMENTE LLAMADOS LODOS DE PROCESOS -- BIOLOGICOS YA QUE SE GENERAN DURANTE LOS PROCESOS DE TRATAMIENTO BIOLOGICOS, COMO PUEDEN SER LOS SISTEMAS DE LODOS ACTIVADOS Y SISTEMAS DE CRECIMIENTO POR ADSORCIÓN TALES COMO LOS FILTROS ROCIADORES. EL LODO SECUNDARIO TIENE UN BAJO CONTENIDO DE SOLIDOS (0.5 A 2%) ES MAS DIFICIL DE ESPESAR Y -- DESHIDRATAR QUE LOS LODOS PRIMARIOS.

LODOS TERCARIOS. PRODUCIDOS DURANTE LOS PROCESOS DE TRATAMIENTO AVANZADO, TALES COMO PRECIPITACIÓN QUIMICA Y FILTRACION. LAS CARACTERÍSTICAS DEL LODO TERCARIO DEPENDEN DEL -- PROCESO DE TRATAMIENTO USADO EN LAS AGUAS RESIDUALES. LOS LODOS QUIMICOS RESULTAN DE PROCESOS QUE TRATAMIENTO DONDE SE ADICIONAN SUSTANCIAS QUIMICAS, TALES COMO CAL, POLIMEROS ORGANICOS Y SALES DE ALUMINIO Y DE HIERRO. LA CAL O LOS POLIMEROS MEJORAN LAS CARACTERÍSTICAS DE ESPESAMIENTOS Y DESHIDRATACIÓN DEL LODO, MIENTRAS QUE LAS SALES DE HIERRO O ALUMINIO REDUCEN ESTAS CARACTERÍSTICAS.

TIPOS DE LODOS CRUDOS (NO TRATADOS).

3.- ACONDICIONAMIENTO, TRATAMIENTO Y USO O DISPOSICION FINAL DE LOS LODOS.

3.1.- Introducción.

El acondicionamiento y disposición de los lodos es un problema muy complejo dentro del campo de tratamiento de aguas residuales. Por lo tanto, el principal objetivo de este capítulo es describir las operaciones y procesos usados para reducir el contenido orgánico, el contenido de agua y de organismos patógenos y posteriormente describir los diferentes usos o sistemas de disposición de lodos. (Ver cuadro No. 2) .

3.2.- Espesamiento.

El fin principal del espesamiento dentro del proceso del trata --

miento de lodos, es la remoción de agua y por consiguiente un --
aumento en la concentración de sólidos. (Ver figura No. 3).

Los lodos son espesados para reducir el volumen de los mismos --
y de esta manera disminuir costos de capital y operación de las
etapas posteriores del proceso, ya que se reduce el volumen de
los tanques, así como las necesidades de equipo, al igual que la
cantidad de productos químicos necesarios; además se tienen me-
nores costos de transporte del lodo para todas las alternativas
de disposición o uso del lodo.

La reducción de volumen en el lodo, que se puede obtener gracias
a la concentración del mismo, puede calcularse por medio de la -
expresión.

$$\frac{V1}{V2} = \frac{P2}{P1}$$

donde:

V1, V2 = Volúmenes del lodo.

P1, P2 = Porcentaje de Sólidos.

Si un lodo es espesado de 1 a 4% en sólidos, su volumen quedará
reducido a un 25% del volumen original. No se recomiendan con -
centraciones de sólidos mayores a un 10%, ya que tales lodos son
viscosos y muy difíciles de bombear.

3.2.1.- Métodos de Espesamiento.

a).- Tanque de Sedimentación.

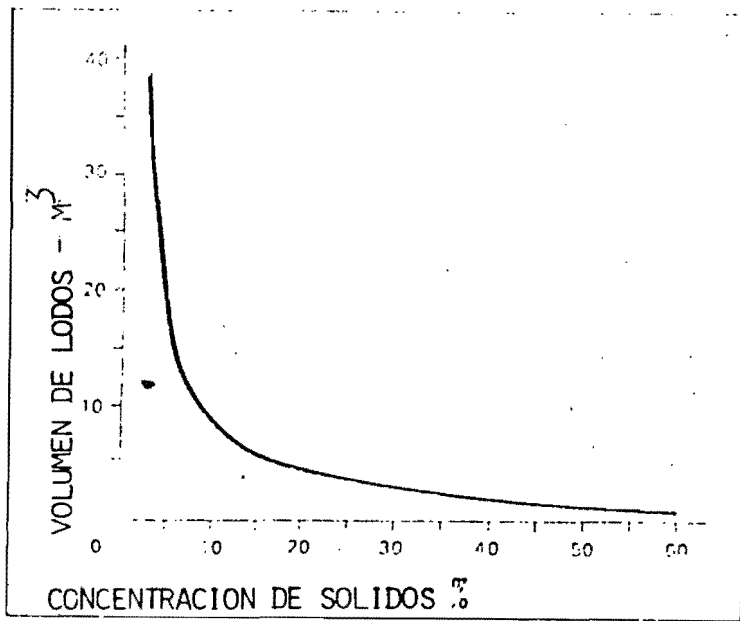
Un sedimentador primario puede ser usado como espesador, por gravedad. El espesamiento en sedimentadores secundarios o intermedios ha tenido muy poca eficiencia, debido a que el lodo biológico es difícil de espesar por gravedad, se ha mejorado la eficiencia trabajando con profundidades de 4 a 5 m., con pendientes suaves en el piso de 1 a 2%, mecanismos de succión de lodos, y considerando espesadores separados.

b).- Espesadores por Gravedad.

Un espesador por gravedad es un tanque de concreto o acero preferiblemente circular, en el cual se busca que los lodos se concentren en la parte inferior del tanque, utilizando básicamente la fuerza de gravedad y el tiempo de retención de los lodos en el tanque.

c).- Espesado por Flotación.

La flotación de sólidos se crea introduciendo aire en el sistema, con lo cual las burbujas finas producidas se adhieren a la partícula o se adsorben, lo que hace que se muevan hacia la superficie y floten para ser removidas.



ESTE EJEMPLO ES PARA UN LODO CON UNA MASA DE 910 KG. DE SÓLIDOS SECOS. ESTA MASA PERMANECE CONSTANTE PARA CADA PUNTO DE LA CURVA.

FIG. 3 CAMBIOS EN EL VOLUMEN DE LODOS CON AUMENTO EN LA CONCENTRACION DE SÓLIDOS.

CARACTERÍSTICAS DE LOS LODOS

BÁSICAMENTE SE BUSCA REDUCIR EL CONTENIDO DE AGUA, REDUCIR LA MASA, Y EL CONTROL DE OLORES Y DESTRUCCION DE PATOGENOS.

EL CONTENIDO DE AGUA - 93 A 93,5 - AFECTA :

- LA MAGNITUD DEL TRATAMIENTO Y LA OPCION DE DISPOSICION
- COSTOS DE TRANSPORTE
- TIPO DE EQUIPO DE APLICACION AL TERRENO,
- CANTIDAD DE COMBUSTIBLE PARA ELIMINAR LA HUMEDAD - INCINERACION
- TAMAÑO Y VIDA UTIL DEL RELLENO,
- FORMACION DE LIXIVIADOS EN EL RELLENO

La flotación al vacío es otro método de espesado y ocurre cuando los lodos se llevan de presión atmosférica a un vacío de 230 mm. de mercurio aproximadamente. Otro sistema de flotación es por medio de la actividad biológica, donde los gases formados por la misma, se usan para la flotación de sólidos.

Se tiene, además la flotación obtenida por medio de un tanque de alta presión, en el cual se sobresatura el lodo con partículas de aire, logrando que ocurra la flotación de las partículas.

d).- Espesamiento por centrifugación.

La centrifugación es una sedimentación acelerada, la cual se logra por medio de fuerzas centrífugas. En el espesamiento por centrifugación los lodos se sumergen logrando una mayor concentración y el agua contenida en los mismos permanece en la superficie.

3.3.- Estabilización.

El fin principal de la estabilización de los lodos es disminuir olores y materia putrecible, así como el contenido de organismos patógenos. Se tienen cuatro procesos principales para la estabilización de lodos: digestión anaeróbica, digestión aeróbica, estabilización con cal y oxidación con cloro. La selección del método de estabilización de lodos depende de la disposición

o uso que se le va a dar a los mismo.

La digestión aeróbica y anaeróbica se tratarán en el capítulo --- cuatro, por lo tanto solo se hacen comentarios generales de los dos últimos procesos de estabilización.

3.3.1.- Métodos de Estabilización.

a).- Estabilización con Cal.

La adición de cal al lodo reduce olores y organismos patógenos , debido al alto pH que se alcanza, el cual representa un medio -- ambiente inadecuado a la actividad biológica y una forma de des- truir organismos patógenos.

Las altas dosis de cal afectan las características físico ----- químicas del lodo, ocasionando una reducción en el valor fertili- zante del lodo, aumentando la deshidratación y cambiando las --- características del sobrenadante.

El objetivo es mantener valores de pH superiores a 12, manejando una dosis adecuada de cal y durante dos horas aproximadamente, -- además es necesaria una buena mezcla entre el lodo y la cal para que la estabilización se logre en forma homogénea.

b).- Estabilización con Cloro.

La principal función de la estabilización con cloro es reducir la putrescibilidad de los lodos y la concentración de organismos patógenos.

El proceso se ha usado para mejorar la deshidratación del lodo digerido y reducir el impacto del reciclaje del sobrenadante del digestor, sobre el sistema de tratamiento de aguas negras.

Debido a que las reacciones del cloro con el lodo son muy rápidas el volumen del reactor es pequeño, lo que reduce el tamaño del sistema de tratamiento y por lo tanto los costos iniciales.

Un inconveniente de este tratamiento, es el alto consumo de cloro, el cual es de manejo delicado, así como la acidez producida por el mismo y la posibilidad de tener que neutralizar los lodos antes de la deshidratación mecánica o antes de la aplicación a suelos ácidos.

3.4.- Acondicionamiento.

El acondicionamiento se puede realizar por medios biológicos, químicos o físicos, mejorando las propiedades de espesamiento, deshidratación y desinfectando la corriente de lodos como un efecto adicional.

3.4.1.- Métodos de Acondicionamiento.

El acondicionamiento químico se puede realizar por medio de polielectrolitos que en solución actúan por adherencia causando desorción del agua superficial, neutralización de carga y aglomeración de partículas pequeñas.

Aparte de los polielectrolitos se ha usado en acondicionamiento de lodos el cloruro férrico y la cal, así como el sulfato férrico; los cuales actúan como coagulantes por medio de la formación de hidróxidos, esto se usa principalmente cuando la deshidratación se realiza por métodos mecánicos o por medio de filtración al vacío.

Otro método de acondicionamiento es el calentamiento de los lodos, con lo cual se mejora el funcionamiento de la deshidratación mecánica mediante filtros de vacío y filtros prensa; una modificación al proceso es la adición de una pequeña cantidad de aire. (Temperatura 177°C a 240°C, presión 17.23 a 275.8 K~~N~~/m² por períodos de 15' a 40' (2)).

Además de los métodos señalados, los lodos pueden acondicionarse por medio de la elutriación, donde por medio del lavado del lodo se produce una dilución de la alcalinidad al bicarbonato en el mismo, logrando reducir la demanda de sales ácidas de metales; es

te tratamiento se usa después del proceso de digestión anaerobia de lodos y antes de la filtración al vacío.

Otros métodos menos empleados para el acondicionamiento de lodos, es el enfriamiento de estos sobre lechos de secado durante el --- invierno y el calentamiento en la primavera, con lo que se consigue mejorar el drenaje de los mismos.

3.5.- Deshidratación .

Este proceso tiene como objetivo eliminar el agua de los lodos, - después de haber sido espesados, logrando disminuir el volumen de lodos y con esto reducir costos de las etapas posteriores de -- tratamiento de lodos.

El proceso de deshidratación de lodos se debe integrar en el sis tema de tratamiento total de aguas negras, para que se logre --- optimizar el funcionamiento y minimizar costos de capital y operación en procesos posteriores y en la etapa de disposición.

3.5.1.- Métodos de Deshidratación.

a).- Sistema de Deshidratación Natural.

El sistema es el más económico cuando existe terreno suficiente -

a bajo costo ; se tienen dos sistemas de deshidratación naturales: lechos de secado y lagunas de secado.

Los lechos de secado son muy usados para plantas de tratamiento pequeñas y en regiones calientes por los bajos costos de capital y operación. (No requieren energía eléctrica).

Las lagunas de secado necesitan tres o cuatro veces mayor profundidad que los lechos de secado. El lodo dispuesto en las lagunas debe estar estabilizado para no causar problemas de olores y pueden necesitar de uno a tres años para que el ciclo se repita.

El deshidratado ocurre en tres formas diferentes: por drenaje, evaporación y transpiración. La evaporación es el factor más importante en la deshidratación.

b).- Sistemas de Deshidratación por Centrifugación.

Como en el proceso de espesamiento por centrifugación, el principio es el mismo, se emplea la fuerza de centrifugación para sacar el agua de los lodos y lograr una mejor deshidratación. Se consigue un efecto igual que en los espesadores pero más intenso.

3.6.- Uso o Disposición Final.

Dentro de los diferentes procesos de uso o disposición del lodo se tienen la aplicación a suelos, distribución y mercadeo, relleno sanitario, incineración y disposición en el oceano.

a).- La Distribución y Mercadeo.

Este método permite que el lodo se utilice como una fuente de reuso, donde el problema más crítico es el mercado potencial que se pueda lograr. El proceso se desarrollara por medio del composteo del lodo, lo cual se verá en detalle en el capítulo 5.

b).- La aplicación de lodos al suelo.

La aplicación al suelo ha sido el método más empleado y se hace esparciendo los lodos sobre la superficie del mismo, logrando que actue como acondicionador o fertilizante; se hace sobre terrenos dedicados a la agricultura, forestación, recuperación de suelos y áreas dedicadas exclusivamente para la disposición de lodos. La técnica consiste en aplicaciones repetitivas del lodo líquido lo que puede elevar el nivel superficial del terreno unos pocos cm/año.

Es necesaria una estabilización del lodo antes de la aplicación al terreno, con el fin de reducir olores y disminuir organismos

patógenos.

Hay tres aspectos fundamentales a considerar en el sistema de -- aplicación de lodos en suelos: las características del sitio, -- las tasas de aplicación y el sistema de aplicación del lodo ; -- estos tres aspectos determinan los problemas que se pueden tener en el medio ambiente y la salud, así como las ventajas económi - cas de este posible uso.

* El espesamiento y deshidratación aparte de restar humedad, remue - ve el nitrógeno soluble, por lo tanto se debe considerar durante el diseño del sistema de aplicación de lodos a suelos, dependien - do de los objetivos del programa de aplicación.

c).- Relleno Sanitario.

El relleno sanitario es un método de disposición de lodos, el -- cual . consiste en la disposición de los mismos en un área selec - cionada, solos o mezclados con basura y cubiertos por una capa -- de suelo.

En el relleno sanitario para lodos se siguen los mismos princi - pios empleados en relleno sanitarios para basura donde la princi - pal diferencia es la alta húmedad de los lodos, lo que exige un mayor control de los lixiviados.

Los lodos dispuestos en un relleno deben estar deshidratados si

se van a disponer solos y preferiblemente se debe estabilizar, aunque no sea en forma total.

d).- La Incineración.

La incineración no es un método de uso o disposición del lodo, sino un tratamiento en el que se destruye la materia volátil del lodo por medio de calor en presencia de oxígeno, obteniendo como residuo las cenizas, las cuales deben ser dispuestas o usadas de alguna forma.

Debido a que el contenido de agua en el lodo es uno de los factores más importantes al determinar costos de incineración, la deshidratación es una parte básica de los sistemas de incineración moderna.

e).- Disposición en el Océano.

La disposición en el océano exige la selección y estudio cuidadoso del sitio apropiado para la disposición, debido a la contaminación del medio marino y el desequilibrio del ecosistema.

La porción flotante de los lodos debe eliminarse antes de la disposición en el océano y con respecto al espesamiento y deshidratación, debe considerarse cuando las descargas se hacen por medio de tuberías, a distancias mayores de 160 km., siempre considerando que el incremento en la concentración de sólidos puede cambiar los patrones de dispersión del lodo.

Las normas tienen a ser más rigurosas cada vez con respecto a la disposición en el océano.

EFFECTO DE LOS PROCESOS DE TRATAMIENTO DE LODOS SOBRE EL MISMO Y OPCIONES DE USO O DISPOSICION

PROCESO DE TRATAMIENTO Y DEFINICION	EFECTO SOBRE EL LODO	EFECTO SOBRE LAS OPCIONES DE USO Y DISPOSICION
<u>ESPESAMIENTO</u> SEPARACION DE AGUA Y SOLIDOS POR GRAVEDAD O FLOTACION.	AUMENTO EN LA CONCENTRACION DE SOLIDOS POR REMOCION DE AGUA, DISMINUCION DEL VOLUMEN DE LODOS A TRATAR	MENORES COSTOS DE TRANSPORTE DEL LODO PARA TODAS LAS OPCIONES O USOS.
<u>DIGESTION-AEROBIA O ANAEROBIA:</u> ESTABILIZACION BIOLOGICA DEL LODO ATRAVES DE CONVERSION DE PARTE DE LA MATERIA ORGANICA A AGUA, CO ₂ , Y METANO.	REDUCE EL CONTENIDO ORGANICO VOLATIL Y BIODEGRADABLE DEL LODO POR CONVERSION A MATERIAL SOLUBLE Y GAS, REDUCEN NIVELES PATOGENOS Y CONTROLA LA PUTRESIBILIDAD DEL LODO.	REDUCE LA CANTIDAD DE LODO, METODO DE ESTABILIZACION PREFERIDO ANTES DE UN RELLENO Y APLICACION AL TERRENO, REDUCE VALOR CALORIFICO PARA INCINERACION, PERO LA DIGESTION ANAEROBIA PRODUCE METANO RECUPERABLE.
<u>ESTABILIZACION CON CAL</u> ESTABILIZACION DEL LODO POR MEDIO DE LA ADICION DE CAL .	ELEVA EL PH DEL LODO, DISMINUYE TEMPORALMENTE LA ACTIVIDAD BIOLOGICA, REDUCE LOS NIVELES PATOGENOS Y CONTROLA LA PUTRESIBILIDAD, INCREMENTA LA MASA DE SOLIDOS SECOS DEL LODO.	PUEDE SER USADO ANTES DE LA APLICACION AL TERRENO Y RELLENO, EL ALTO PH DEL LODO ESTABILIZADO POR CAL TIENDE A INMOVILIZAR LOS METALES PESADOS EN EL LODO TANTO COMO EL ALTO NIVEL DEL PH SE MANTENGA.
<u>DESHIDRATACION</u> , SEPARACION DE AGUA Y SOLIDOS.	AUMENTA LA CONCENTRACION DEL LODO POR REMOCION DEL AGUA, TAMBIEN DISMINUYE EL VOLUMEN DEL LODO, ALGUNOS MATERIALES NITROGENADOS Y OTROS MATERIALES SOLUBLES SON REMOVIDOS CON EL AGUA.	REDUCE COSTOS DE COMBUSTIBLE PARA INCINERACION, REDUCE NECESIDADES DE SUELO PARA RELLENO, BAJOS COSTOS DE TRANSPORTE DEL LODO PARA TODAS LAS OPCIONES, EL DESHIDRATADO PUEDE SER INCONVENIENTE DURANTE LA APLICACION EN TERRENOS EN REGIONES DONDE EL AGUA ES UNA FUENTE ESCASA PARA LA AGRICULTURA, LA REDUCCION DE NIVELES DE NITROGENO PUEDE SER O NO UNA VENTAJA
<u>COMPOSTEO</u> , PROCESO AEROBICO INVOLUCRANDO LA ESTABILIZACION BIOLOGICA DEL LODO EN UNA HILERA, EN UNA PILA ESTATICA AERADA O EN UN SISTEMA MECANICO	ACTIVIDAD BIOLOGICA MAS BAJA, PUEDE DESTRUIR TODOS LOS PATOGENOS, LODOS DEGRADADOS A UN MATERIAL PARECIDO AL HUMUS, AUMENTA LA MASA DE LODO DEBIDO A LA ADICION DE AGENTE DE VOLUMEN.	UTIL ANTES DE LA APLICACION AL SUELO Y DISTRIBUCION Y MERCADEO, NO ES APROPIADO PARA OTROS USOS, DEBIDO AL COSTO.
<u>SECADO CON CALOR</u> , APLICACION DE CALOR PARA DESTRUIR ORG. PATOGENOS Y ELIMINAR LA MAYORIA DEL CONTENIDO DE AGUA.	LODO DESINFECTADO, MENORES POTENCIALES DE OLOR Y MENOR ACTIVIDAD BIOLOGICA	GENERALMENTE USADO ANTES DE LA DISTRIBUCION Y MERCADEO.

4.- DIGESTION ANAEROBIA Y DIGESTION AEROBIA DE LODOS.

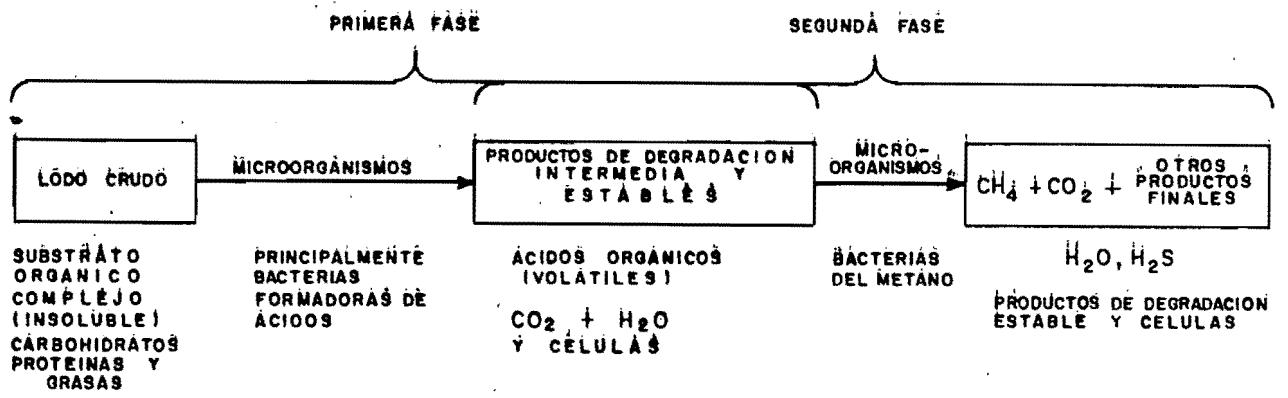
4.1.- Introducción.

En este capítulo se tratan en forma más profunda los dos métodos convencionales de digestión de lodos, como base de comparación con la digestión aerobia con fuente adicional de carbón, la cual se desarrollará en el capítulo siguiente.

4.2.- Digestión Anaerobia.

4.2.1.- Fundamento.

La digestión anaerobia es la degradación biológica de sustancias orgánicas complejas en ausencia de oxígeno. Durante las reacciones se libera energía y mucha de la materia orgánica se convierte



SINTESIS DEL PROCESO DE DIGESTION ANAEROBIO

CUADRO No. 3

en metano, dióxido de carbono y agua. (Ver cuadro No. 3).

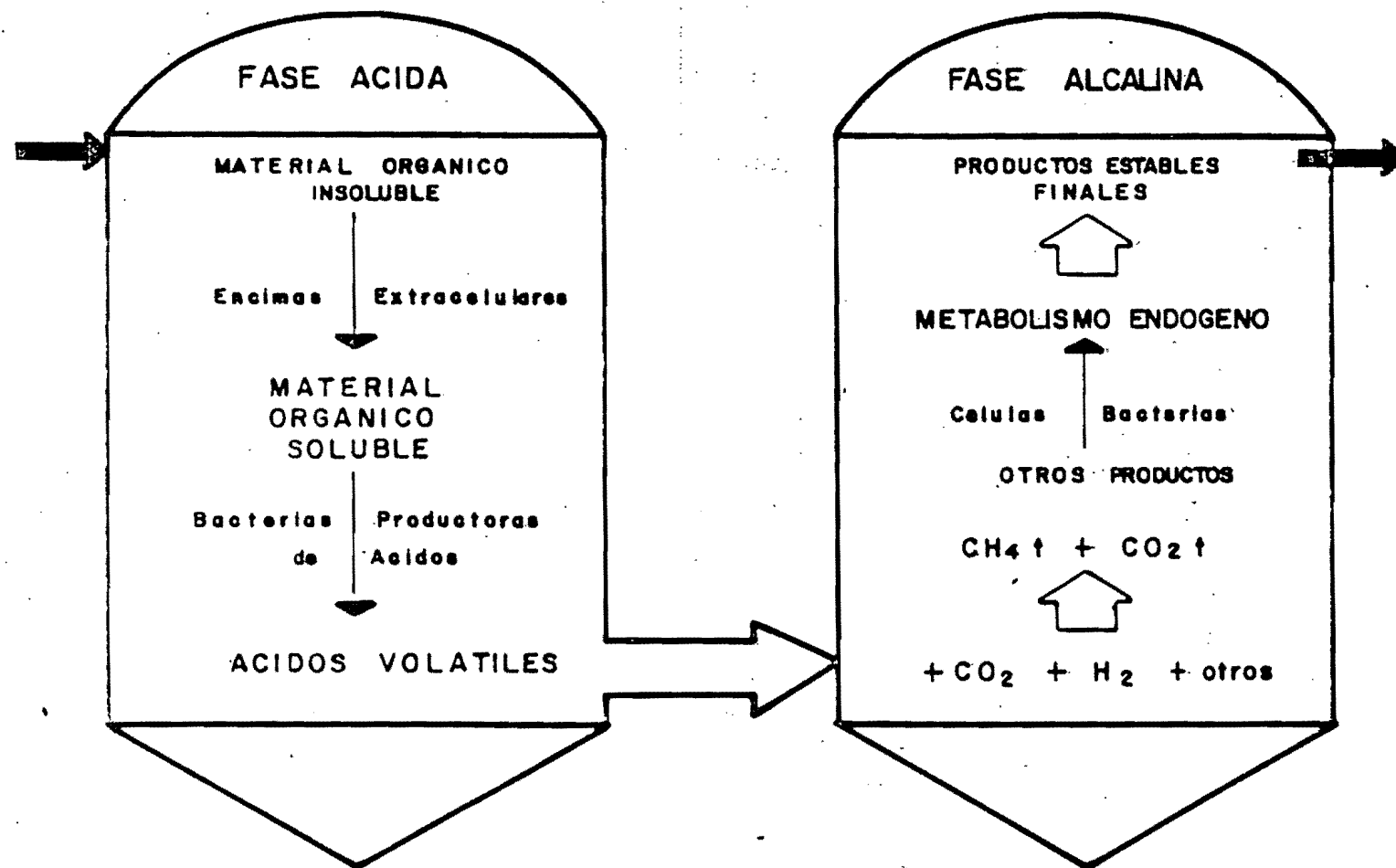
4.2.2.- Descripción del Proceso.

En forma simplificada, se muestran las reacciones involucradas en la digestión anaeróbia en sus dos fases: Formación de Acidos y -- Producción de Metano. (Ver cuadro No. 3).

En la primera fase el substrato orgánico complejo es hidrolizado por enzimas extracelulares producidas por los microorganismos --- propios del proceso. El material orgánico soluble, formado durante la hidrólisis, es metabolizado por las bacterias anaeróbias -- y facultativas, responsables de la fermentación ácida, formando ácidos orgánicos de cadena corta; principalmente acético, propiónico y láctico.

En la segunda fase, las bacterias anaeróbias y facultativas, con -- vierten los ácidos volátiles a metano (CH_4), dióxido de carbono - (CO_2) y otras trazas de gases.

El proceso anaeróbio es controlado principalmente por las bacte -- rias del metano, debido a su menor tasa de crecimiento y a su --- sensibilidad a cambios ambientales. Por lo anterior todas las -- consideraciones de diseño deben basarse en las características de estos microorganismos. (Ver figura No. 4).



MECANISMO DE LA DIGESTION ANAEROBIA

FIGURA No. 4

4.2.3.- Métodos de Digestión Anaerobia.

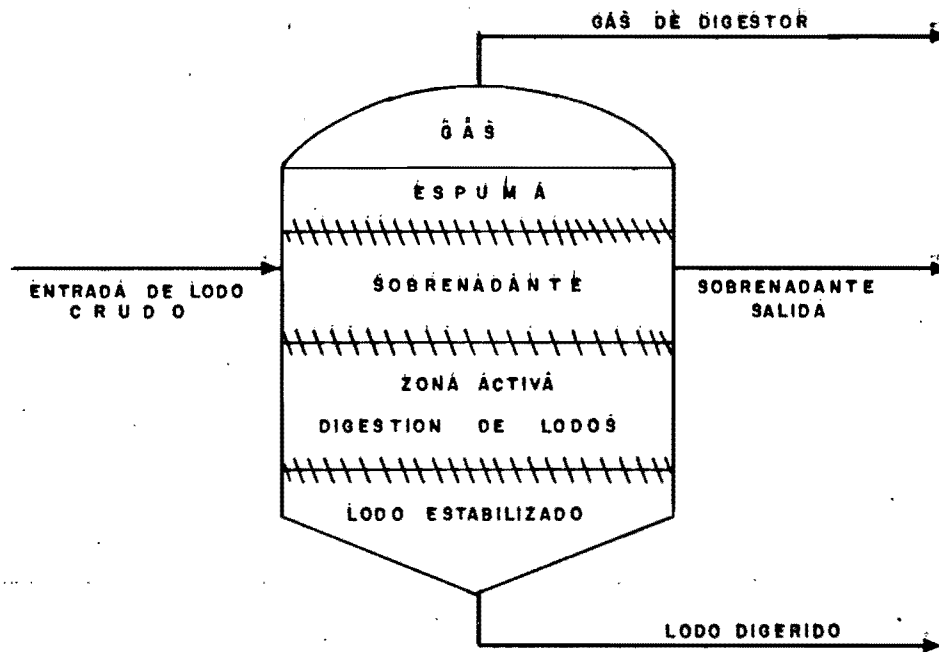
a).- Digestión a baja tasa (Sistema Convencional).

Un digestor a baja tasa es básicamente un tanque de almacenamiento, al cual se le puede adicionar calor para acelerar el proceso. La mezcla en los lodos se debe únicamente a las burbujas de gas que ascienden y como resultado de esto el contenido del tanque se estratifica, formando tres zonas diferentes: una capa de flotación de espumas, una capa intermedia donde se acumula el sobrenadante, y una zona inferior de digestión de lodos.

Los lodos estabilizados que se acumulan y espesan en el fondo del tanque, son drenados en forma periódica del centro del piso del tanque. El sobrenadante se remueve y se recircula a la planta de tratamiento y el gas se recolecta a través de la cubierta superior.

b1).- Digestión a Alta Tasa (Estado Simple).

Se consideran cuatro características básicas en el desarrollo de este método: calentamiento, mezcla, espesamiento del lodo crudo y alimentación uniforme; características que permitan mantener un medio más estable y uniforme, mejorando las condiciones del proceso biológico. La principal ventaja que se obtiene por medio de este método es una disminución en el volumen del tanque y una mayor estabilidad en el proceso. (Ver figura No. 6).



- ALIMENTACION Y DESCARGA INTERMITENTE .
- NO NECESITA CALENTAMIENTO NI MEZCLA .
- TIEMPO DE RETENCION 30-60 DIAS
- RAZON DE CARGA (0.4 - 1.6 kg SSV/m³/día

SISTEMA DE DIGESTION ANAEROBIO (BAJA TASA)

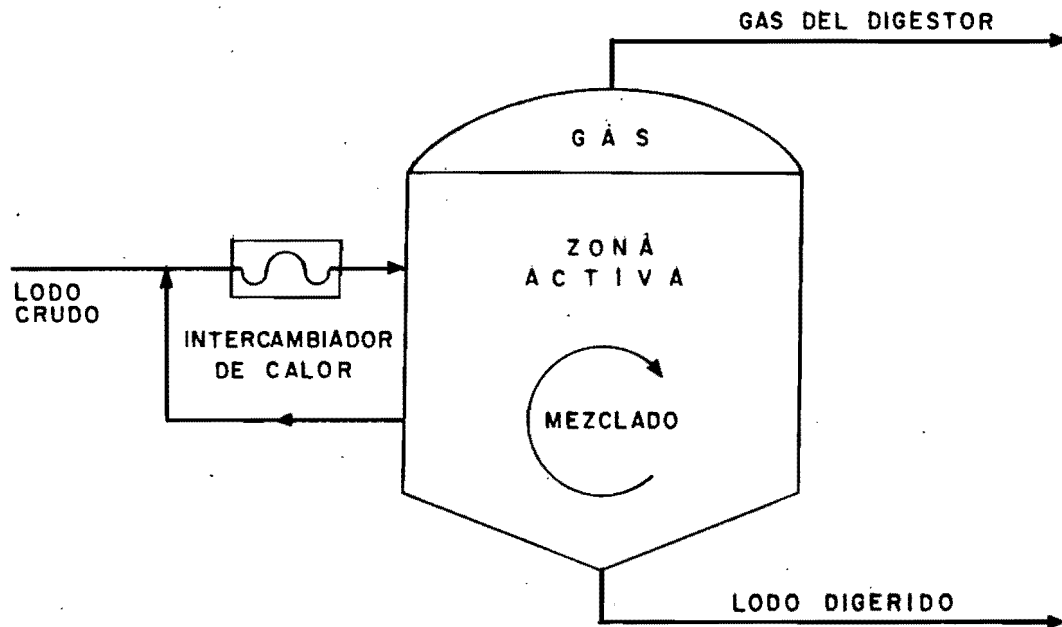
FIGURA No. 5

El calentamiento tiene como objetivo aumentar la tasa de crecimiento microbiana y por consiguiente la tasa de digestión. Los organismos anaeróbicos, principalmente metanogénicos son inhibidos por pequeños cambios en la temperatura, por lo tanto se busca mantener condiciones de calentamiento constante (variaciones de $\pm 0.6^{\circ}\text{C}$), para lograr un balance microbial dentro del proceso de digestión. (1)

La producción de metano se puede dar en rangos de 0 a 60°C , pero los digestores de alta tasa operan entre 30 y 38°C (organismos mesofílicos). Se ha encontrado que la digestión anaerobia por medio de organismos termofílicos, aumentan las tasas de digestión, lo que permite menores tiempos de retención, mejora -- miento en la deshidratación del lodo digerido e incremento en la destrucción de organismos patógenos. (Temperatura $50-60^{\circ}\text{C}$).

Las desventajas de la digestión termofílica son: una mayor cantidad de energía para calentamiento, menor calidad del sobrenadante (contiene mayor cantidad de material disuelto), además es un proceso poco estable con pequeñas variaciones en temperatura. (1)

La mezcla continua crea un medio homogéneo donde el lodo crudo entra en contacto con los microorganismos.



- CALENTAMIENTO A TEMPERATURA CONSTANTE
- MEZCLADO
- ALIMENTACION Y DESCARGA CONTINUA
- TIEMPO DE RETENCION 10-15 DIAS MINIMO
- RAZON DE CARGA (1.6-8.0 Kg SSV/m³/día)

SISTEMA DE DIGESTION ANAEROBIO ALTA TASA (ESTADO SIMPLE)

FIGURA No. 6

El pre-espesado puede ser conveniente , ya que se obtiene un menor volumen de lodos a estabilizar, uno de los inconvenientes es que la concentración de sólidos en el digestor afecta la viscosidad y por lo tanto se hace difícil la mezcla para concentraciones mayores al 6 por ciento. La concentración de sustancias químicas pueden llegar a niveles que inhiban la actividad microbial.

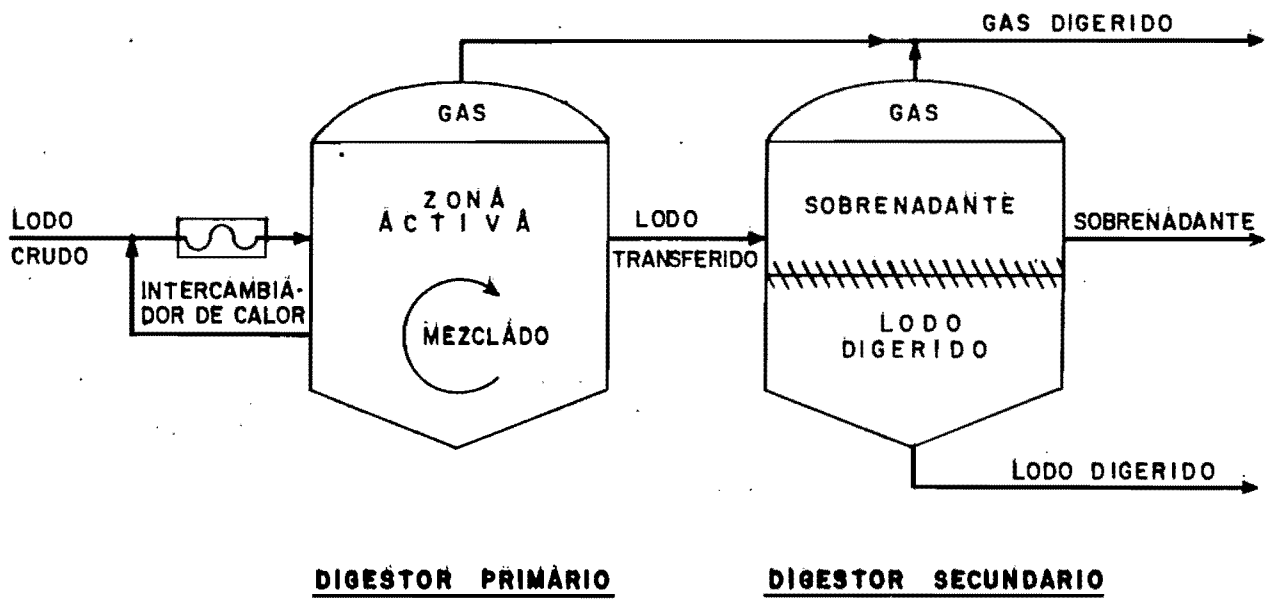
b2).- Digestión en Dos Pasos.

Un gran número de plantas de tratamiento funcionan con dos digestores en serie, el primero usado para mezclado, calentamiento y fermentación y el segundo usado para la separación del gas y de los lodos estabilizados y del líquido sobrenadante. (Ver fig. 7).

El lodo digerido en forma anaerobia no sedimenta rápidamente --- debido a la flotación de sólidos, causada por la generación de gas en el digestor primario, pequeñas burbujas en el paso al digestor secundario y a la alta proporción de partículas de tamaño fino ocasionadas por la mezcla y la descomposición biológica.

c).- Separación de Fases.

En el proceso de digestión de lodos en dos fases, estas se encuentran completamente diferenciadas; la formación de ácidos y la producción de metano. El digestor ácido tiene un corto período de retención (0.47 a 1.2 días), bajo pH (5.66 a 5.8), y produ



DIGESTOR PRIMARIO **DIGESTOR SECUNDARIO**
SISTEMA DE DIGESTION ANAEROBIA ALTA TASA . (ESTADO DOBLE)

FIGURA No. 7

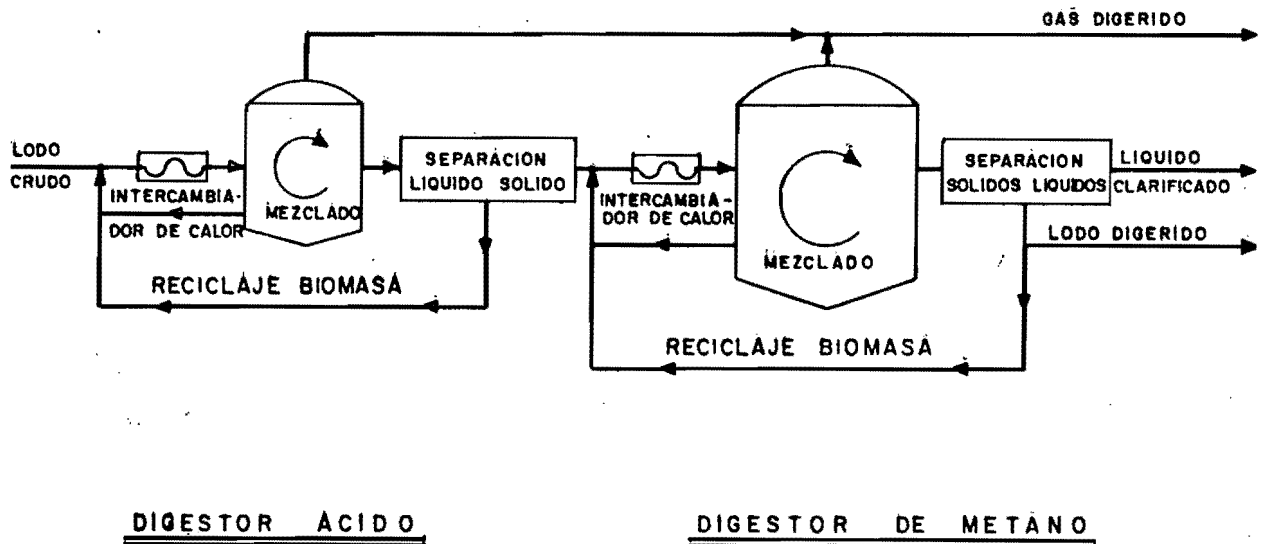
ce una cantidad despreciable de metano (Ver tabla No. 1).

Las condiciones en el digester de metano son semejantes a las de un digester convencional o alta tasa, el cual se opera para mantener un medio adecuado para las bacterias metanogénicas. El tiempo de retención para el digester de metano es menor que en un digester convencional de alta tasa. (Ver figura No. 8).

4.2.4.- Consideraciones de Diseño.

El diseño de un digester anaerobio puede basarse sobre experiencias con lodos similares o estudios de plantas piloto para condiciones específicas, donde se determinan las relaciones cinéticas, la producción de gas y la necesidad de calentamiento. Se tiene como un punto crítico en el diseño de un sistema de digestión anaerobio la determinación del volumen del tanque de digestión, ya que se deben controlar diferentes condiciones: acumulación de ácidos volátiles, espumas, fallas en la producción de metano así como una estabilización adecuada de lodo.

Tradicionalmente el volumen del digester se había determinado de criterios de carga empíricos; ahora se usa un criterio de carga más directo como es la tasa de carga de sólidos volátiles (Ver tabla No. 2).



PROCESO DE DIGESTIÓN ANAEROBIA EN DOS FASES

FIGURA No. 8

Otro parámetro muy importante en el cálculo del volumen del digester es el tiempo de retención de sólidos; para su determinación es necesario conocer la tasa de crecimiento bacterial.

El tiempo crítico de retención de sólidos (TRS), (el cual es afectado por la temperatura, fue de 4.2 días a 35°C para la digestión de un lodo primario en un digester a escala piloto, de 7.0 días a 25°C y de 10.1 días a 10°C (1).

Debido a las condiciones ideales que se manejan en ensayos a escala piloto, se recomienda utilizar un factor de seguridad de 2.5 como mínimo (7).

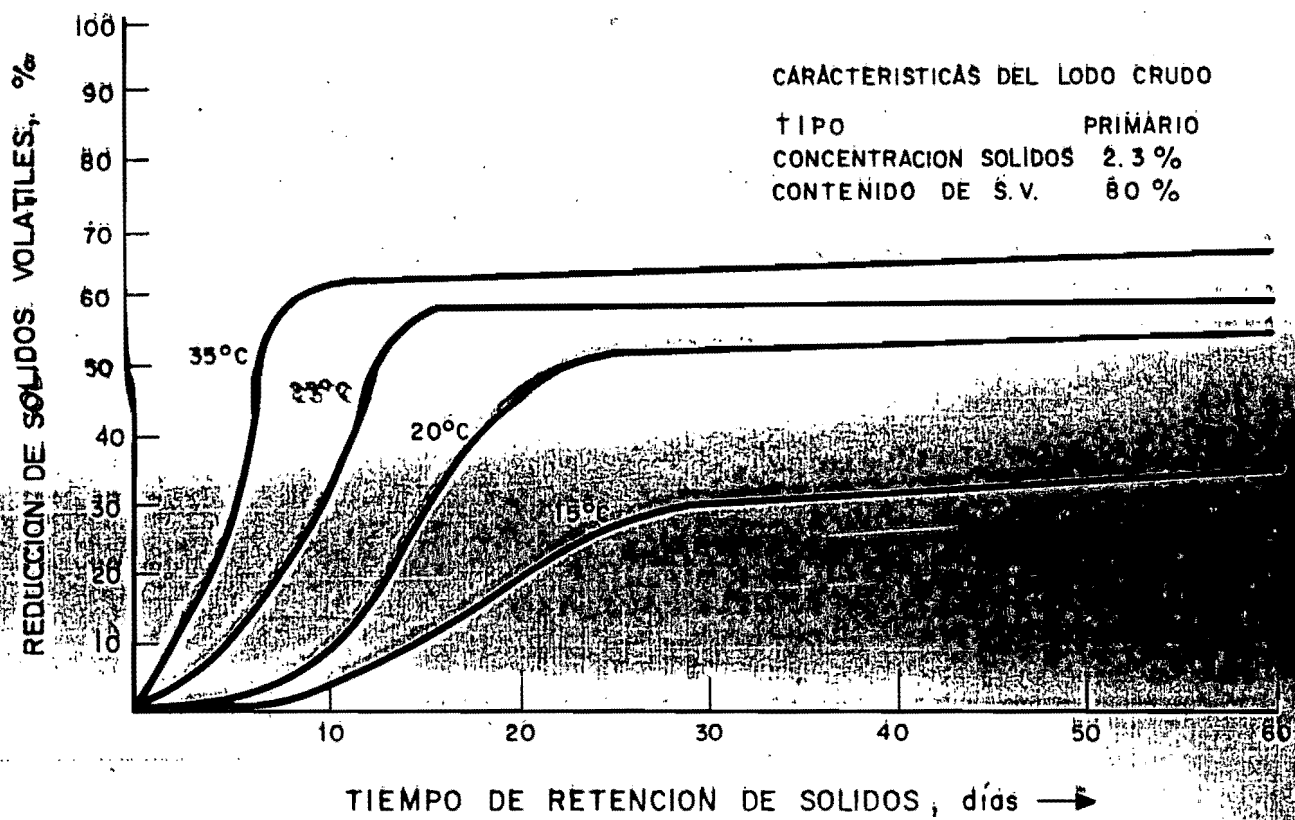
Se sugiere un periodo de 10 días como un tiempo de retención mínimo para digestores a alta tasa operando con temperaturas cercanas a 35°C. (Ver tabla No. 3).

4.2.5.- Funcionamiento del Proceso.

Reducción de Sólidos Volátiles.

Una forma de evaluar el funcionamiento del digester es por medio de la reducción de S.V., en digestores anaeróbios, la cual se encuentra en un rango de 35 a 60 %. (Ver tabla No. 4).

Los parámetros operativos más importantes que afectan la reducción de sólidos volátiles son: el tiempo de retención de sólidos



EFFECTO DEL TIEMPO DE RETENCION DE SOLIDOS Y DE LA TEMPERATURA SOBRE LA REDUCCION DE SOLIDOS VOLATILES EN UN DIGESTOR ANAEROBICO A ESCALA PILOTO (1)

FIGURA No. 9

y la temperatura en el digestor. (Ver figura No. 9).

Producción de gas.

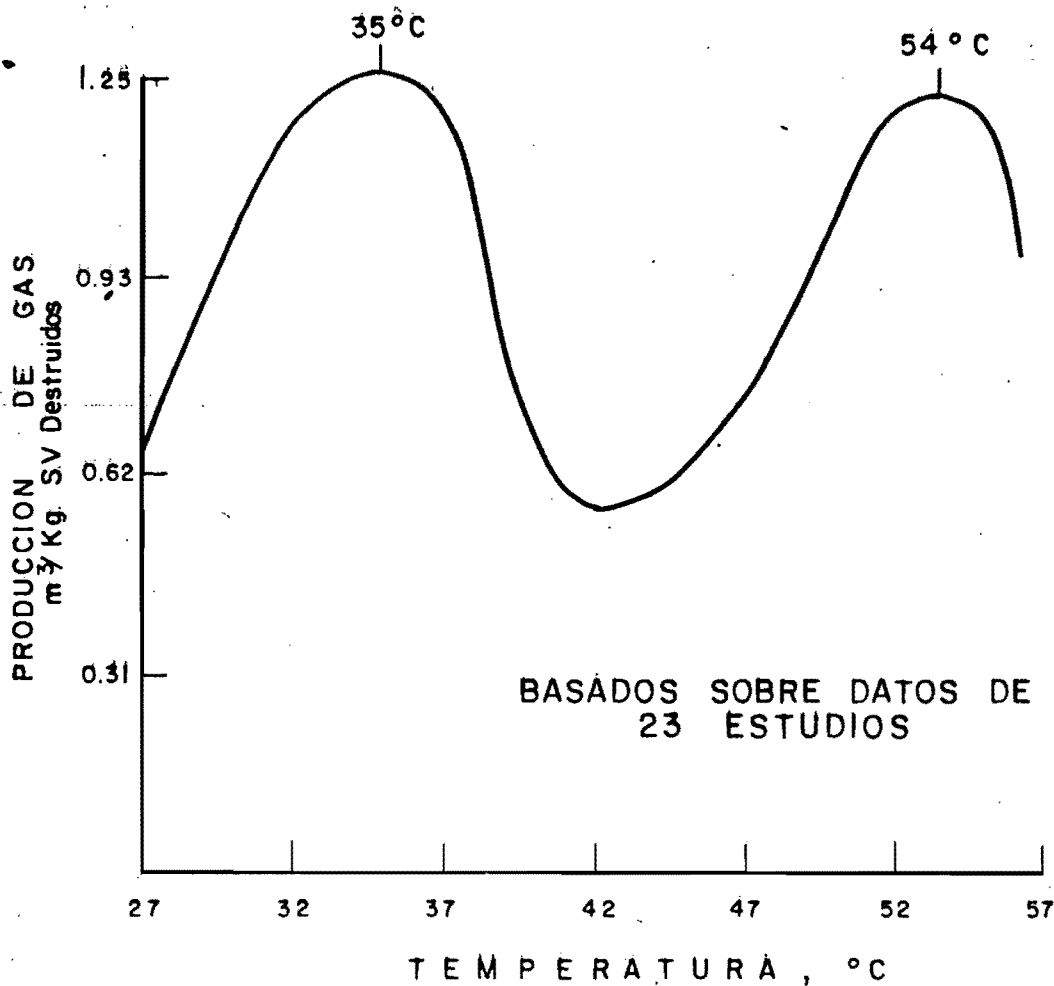
Una ventaja particular de la digestión anaerobia sobre otros métodos de estabilización de lodos, es la producción de gas como un medio de energía. El gas del digestor puede quemarse para proporcionar calor y generar electricidad para la planta de tratamiento.

La generación de gas del digestor es un resultado directo de la destrucción de sólidos. La producción específica de gas por los lodos municipales digeridos anaerobiamente, se encuentra en un rango de 0.75 a 1.1 m³/Kg de S.V. destruidos.

La conversión de S.V. es más eficiente a temperaturas de 35° y 54° C. (Ver figura No. 10).

La tasa de producción de gas puede tener grandes variaciones, por cambios en la tasa de alimentación de lodos, por la composición de estos y por la actividad bacteriana. Estas variaciones deben considerarse en el dimensionamiento de tuberías y en las instalaciones de almacenamiento.

Las características del gas obtenido en digestores anaerobios contiene de 65 a 70% de metano, 30 a 35 % de dióxido de carbono,



E F E C T O D E L A T E M P E R A T U R A S O B R E L A P R O D U C C I O N
D E G A S

FIGURA N^o. 10

y muy bajos niveles de nitrógeno, hidrógeno y sulfuro de hidrógeno (H_2S) . Se ha encontrado que la concentración de CO_2 en el gas del digester aumenta con la tasa de carga.

Calidad del sobrenadante.

El sobrenadante de un sistema de digestión anaeróbica, contiene altas concentraciones de material orgánico, sólidos suspendidos y disueltos, nitrógeno, fósforo y otros compuestos, que al regresarlos a la planta, pueden significar una carga adicional sobre el proceso empleado ocasionando mala calidad del efluente.

Es muy difícil generalizar acerca de la calidad del sobrenadante, ya que esta puede tener grandes variaciones. Los sólidos suspendidos, demanda bioquímica de oxígeno, fósforo soluble, fenoles y amoníaco en el sobrenadante, pueden causar problemas en la planta de tratamiento. Si el sobrenadante debe ser recirculado a la planta de tratamiento, debe hacerse continuamente para repartir la carga orgánica.

Los sólidos suspendidos en el sobrenadante se deben a la mala sedimentación de lodos digeridos anaerobiamente y esto puede causar degradación de la calidad del efluente por la sobrecarga.

Demanda Bioquímica de Oxígeno.

La necesidad de aeración en una planta de tratamiento biológico aerobio, se aumenta al recircular el sobrenadante proveniente del digester con una alta DBO.

La recirculación de los fenoles presentes en el sobrenadante pueden aumentar los problemas de olores y reducir la actividad metabólica normal de las bacterias.

Los fenoles son muy tóxicos y son usados comercialmente como un antiséptico.

Amoniaco.

Se encuentran altos niveles de amoniaco en el sobrenadante del digester. La transformación del amoniaco a nitratos, aumenta los costos debido a la mayor cantidad de oxígeno necesario en la planta de tratamiento.

Fósforo Soluble.

El retorno del fósforo contenido en el sobrenadante, a la planta puede reducir la eficiencia de remoción de fósforo y/o aumentar la cantidad de reactivos químicos necesarios durante el proceso de tratamiento.

La cantidad de fósforo soluble encontrada en el sobrenadante obtenido del digester anaerobio es mínima. (Ver tabla No. 5).

4.2.6.- Diseño de los Componentes del Sistema.

Tanque Digestor.

El tanque es la base del sistema. Los más comunes son cilíndricos, rectangulares u ovoides, de concreto reforzado. El diámetro recomendado varía en un rango de 6 a 38 m., con una profundidad de --- 6 a 12 m., sin considerar la parte cónica de los mismos. Cuando - el mezclado se hace por medio de burbujas de gas que ascienden, es ta es más eficiente cuando la relación diámetro a profundidad del tanque se encuentra entre 0.7 a 2.0.

El piso de un digestor cilíndrico es regularmente cónico con una - pendiente mínima de 1:6. El tanque de digestión rectangular pre - senta como ventajas con respecto a los otros dos tipos, la facili- dad en la construcción y la eficiencia en la utilización del área - disponible en la planta, en estos el mezclado uniforme se hace más difícil por que tiende a formar en las esquinas puntos muertos.

Calentamiento.

El equipo de calentamiento, debe proporcionar suficiente calor pa- - ra elevar la temperatura del lodo que entra al nivel de operación, además de suplir las pérdidas de calor a través de las paredes, -- piso y cubierta de digestor.

Para minimizar el endurecimiento del lodo sobre la espiral el ----

agua debe circular a través de la espiral con una temperatura entre 49 y 55°C.

El coeficiente de transferencia de calor para el diseño de un intercambio de calor externo, se encuentra entre el rango de 740 a 1350 Kg-cal/hr/m²/°C, dependiendo de la construcción del intercambiador de calor y de la turbulencia del fluido.

La concentración de sólidos en el lodo crudo tiene un impacto directo sobre la necesidad de calentamiento, a mayor concentración menor energía.

El lodo crudo frío no se debe adicionar directamente al digestor debido a que se produce un choque térmico, que es muy desfavorable para las bacterias anaerobias, además se forman zonas aisladas de lodos fríos, por lo que deben ser precalentados o mezclados con los lodos recirculados calientes antes de ser alimentados al digestor.

Necesidad de calor para los lodos crudos.

$$Q_s = \left(\frac{\text{Volumen de lodo}}{\text{hora}} \right) \left(\frac{\text{Densidad del lodo}}{\text{hora}} \right) (C_p) (T_2 - T_1)$$

Q_s = Calor necesario para elevar la corriente de lodo de la temperatura T_1 a T_2 , Kg/cal/hr.

C_p = Calor específico del lodo(Aproximadamente $1.008 \frac{\text{Kg} - \text{cal}}{\text{Kg} - ^\circ\text{C}}$)

T_1 = Temperatura de la corriente de lodo crudo, $^\circ\text{C}$.

T_o = Temperatura deseada dentro del tanque digestor, $^\circ\text{C}$.

Las pérdidas de calor en el digestor, debido al aire y suelo que lo rodea, depende de la forma, materiales de construcción y de la diferencia entre la temperatura interna y externa. (Ver tabla No.6).

La expresión general para flujo de calor (pérdidas) a través de las estructuras componentes es:

$$Q = (U) (A) (t_2 - t_3)$$

donde:

Q = La tasa de pérdidas (calor Kg/cal/hr.).

A = Area normal de material a la dirección del flujo de calor - m^2 .

t_2 = Temperatura en el tanque digestor, $^\circ\text{C}$.

t_3 = Temperatura afuera del tanque digestor $^\circ\text{C}$.

U = Coeficiente de transferencia de calor $\text{Kg-cal/hr/m}^2/^\circ\text{C}$, el cual es afectado directamente por el coeficiente de la capa de la superficie interior del tanque.

Las pérdidas pueden reducirse aislando la cubierta, paredes y piso del digestor se tienen como materiales aislantes comunes: fibra de vidrio, madera, poliuretano, concreto ligero y espacios de aire, etc.

Mezclado.

Las ventajas del mezclado en los digestores anaerobios son:

- Se logra un mayor contacto entre la biomasa activa y el lodo alimentado.
- Se crea uniformidad física, química y biológica, a través del digester.
- Dispersa rápidamente los productos metabólicos finales, producidos durante la digestión y cualquier material tóxico que entre al sistema, minimizando los efectos que inhiben la actividad microbiana.
- Previene la formación de una capa de espuma superficial y el depósito de material suspendido sobre el fondo del tanque.

La espuma y arena acumulada, afecta directamente el funcionamiento del digester por consumo de volumen activo del tanque.

En un digester anaerobio se produce mezclado natural, debido al ascenso de burbujas de gas en el lodo y a las corrientes de convección térmica formadas por la adición del lodo caliente. El mezclado natural no alcanza los beneficios de un mezclado mecánico y no asegura el funcionamiento estable del proceso de digestión.

Los métodos usados para mezclado incluyen la recirculación de lo-

dos por medio de bombeo, el mezclado mecánico y el mezclado por medio de gas.

Bases para dimensionar los mezclados de gas ascendente.

Existen tres criterios básicos para determinar el tamaño del sistema de mezclado.

- unidad de energía (energía por unidad de volumen).
- Gradiente de Velocidad (Valor G).
- Unidad de flujo de gas (flujo de gas por unidad de volumen).

La recirculación de lodos por medio de bombeo, proporciona energía suficiente (5 a 8 w/m³), se necesitan grandes tasas de flujo para el mezclado de digestores a alta tasa. Se requiere energía adicional en el sistema de bombeo si existen pérdidas considerables debidas a tuberías.

Para un mezclado mecánico intenso se requiere de 6.6 w/m³ de reactor aproximadamente (5). La inyección de burbujas de gas en el fondo del digestor por medio de tuberías de 30 cm. de diámetro, proporciona la mezcla necesaria y una agitación superficial periódica.

Bases para diseño.

El sobrediseño del sistema de mezclado no solo resulta en equipo adicional y costos de operación excesivos, sino que también puede ocasionar problemas de operación aumentando la cantidad de espuma durante el proceso.

Unidad de energía.

Generalmente el mezclado intenso se puede realizar con 5 a 8 ----
W/m³ de volumen de digestor.

Gradiente de Velocidad.

G medida de intensidad de mezclado expresada matemáticamente.

$$G = \frac{W}{V} \quad G = \text{Gradiente (seg.}^{-1}\text{)}$$

W = Energía disipada por unidad de volumen.

$$W = \frac{E}{V}$$

donde:

E = Tasa de trabajo sobre transferencia de energía (energía) Kw

V = Volumen del reactor, m³.

U = Viscosidad absoluta del líquido $\frac{\text{(gr - masa)}}{\text{(cm-seg)}}$

El gradiente de velocidad es el criterio más adecuado para el di
seño del mezclador, ya que toma en cuenta la energía transferida
al líquido (E) y la viscosidad del líquido.

Si se desprecia la presión del vapor del líquido y la energía --
cinética del gas, la transferencia de energía del gas al líquido
puede ser expresada como :

$$E = 2.40 P_1 (Q) \left(\ln \left(\frac{P_2}{P_1} \right) \right)$$

E = Tasa de trabajo o transferencia de energía (energía).

Q = Flujo de gas.

P1 = Presión absoluta en el superficie del líquido, psi (atmosferas) .

P2 = Presión absoluta a la profundidad de inyección de gas, psi (atmosferas).

El valor de G debe estar entre 50 y 80 seg^{-1} , se recomienda un valor de G de 85 seg^{-1} (5), para un mezcladó intenso.

El mayor valor del rango se selecciona para digestores grandes -- con un solo mezclador simple o si se tienen problemas de espuma o arena. El valor más bajo se emplea cuando se tienen varios mezcladores distribuidos a través del tanque así se considera suficiente tiempo de retención que permita una más baja tasa de digestión.

Con respecto a la unidad de flujo de gas puede calcularse por medio de la ecuación E usada anteriormente. (Q).

Cubierta.

La función principal de esta es contener olores, mantener la ---

temperatura de operación e impedir la entrada de oxígeno y recolectar el gas del digestor.

El lodo crudo debe entrar al digestor en la zona de intenso mezclado.

4.2.7.- Còntrol del Preceso y Consideraciones de Manejo.

Pará un mejor funcionamiento del proceso de digestión anaerobia, es necesario conocer la tasa de crecimiento bacterial en el digestor, la cual puede determinarse por monitoreo de la tasa a la cual se reduce el sustrato y se obtienen los productos finales.

pH.

En la primera fase del proceso se reduce el pH, por la formación de ácidos, esta disminución es controlada por la reducción de los ácidos volátiles, por las bacterias metanogénicas y la subseuente formación de bicarbonatos.

El pH óptimo para las bacterias productoras del metano, se encuentra en un rango de 6.4 a 7.5 debido a que estas son muy sensitivas a cambios en el pH.

Toxicidad.

Solo se veñán generalidades de los ácidos volátiles, metales pesados, oxígeno, amoniaco y sulfuró, como elementos potencialmente tóxicos.

Acidos Volátiles.

Se encontró (1), que concentraciones de ácidos volátiles por encima de 6 000mg/l a 8 000 mg/l no son tóxicas para las bacterias del metano; si existe la forma de mantener el pH en un rango de 6.6 a 7.4 .

El control de pH, por medio de la adición de un compuesto alcalino es un procedimiento válido siempre y cuando los cationes asociados con el material alcalino no causen toxicidad. Se encontró -- que la alcalinidad debida a compuestos de sodio, potasio o amoníaco no es recomendada, al contrario de compuestos de magnesio o calcio donde si es adecuado el control de pH por medio de la adición de estos dos últimos compuestos.

Metales Pesados.

La toxicidad de los metales pesados se ha visto siempre como causa de fallas en el proceso de digestión anaerobia.

Solo la fracción disuelta de estos metales causan inhibición a -- concentraciones solubles de 3 mg/l para el Cr, 2 mg/l para Ni, 1 mg/l para Zn, y 0.5 mg/l para el Cu. (1).

Excepto para el cromo, la toxicidad de metales pesados en digestores anaerobios, se puede eliminar por precipitación con sulfuro.

El cromo hexavalente se reduce a cromo trivalente, el cual bajo condiciones normales de pH, en un digester anaerobio es relativamente insoluble y no es tóxico.

Cationes de Metales Ligeros.

El sodio, magnesio, el potasio y calcio son cationes de metales ligeros, los cuales pueden provenir de la adición de metales alcalinos para el control del pH y en concentración suficiente -- para causar toxicidad, ya que los lodos de aguas residuales domésticas tienen muy bajas concentraciones por si mismos.

La combinación entre cationes de metales ligeros puede dar una relación que contrarreste el efecto de toxicidad.

Oxígeno.

Las teorías existentes sobre la toxicidad causada por el uso -- de espesadores por flotación con aire disuelto, han sido cambiadas por medio de los estudios realizados por Fields and Agard (1), donde se demostró que no existió problema bajo condiciones normales.

Sulfuros.

Concentraciones de azufre soluble, mayores de 200 mg/l son tóxicas.

cas para sistemas de digestión anaerobia (1). La concentración de azufre soluble en el digestor es una función de: la fuente de entrada de azufre , el pH, la tasa de producción gas y la cantidad de metales pesados disponibles al actuar como precipitantes. Altos niveles de azufre soluble pueden reducirse al adicionar sales de hierro al líquido o el residuo de gas recirculado.

Amoniaco.

El amoniaco, producido durante la digestión anaerobia de urea y proteínas, puede llegar a niveles tóxicos en lodos altamente concentrados. Se tienen dos formas de amoniaco en la digestión anaerobia: ion amoniaco (NH_4^+) y gas amoniaco disuelto (NH_3).

Las formas pueden inhibir la digestión anaerobia, pero el gas amoniaco tiene un efecto más tóxico, que menores concentraciones de ion amoniaco.

Las formas de amoniaco se encuentran en equilibrio y la concentración relativa de cada uno depende del pH, como se ve en la siguiente ecuación de equilibrio.



A valores de pH bajo, el proceso caracterizado por la ecuación anterior se invierte y la toxicidad se debe al ion amoniaco, - lo que significa un mayor problema en la digestión anaerobia ; en caso contrario con un alto pH la, inhibición se da por la -- concentración obtenida del gas amoniaco.

Si la concentración de nitrogeno amoniacal total es de 1500 a 3000 mg/l y el pH se encuentra entre 7.4 y 7.6, la inhibición se debe al gas amoniaco. Esto se puede controlar por la adi - ción de suficiente HCL para mantener el pH entre 7.0 y 7.2. -- Si los niveles de nitrógeno amoniacál son meyores a 3 000 mg/l , el ion NH_4^+ , será tóxico sin importar el pH. La única solución es diluir el lodo de desecho a tratar.

4.2.8.- Ventajas y Desventajas.

La digestión anaerobia ofrece algunas ventajas sobre otros mé todos de estabilización.

- . Produce metano, una posible fuente de energía.
- . Reducción de la masa total de lodos. Se reduce de un 25 a 45% (1).

Las principales desventajas son:

- . Tiene un alto costo debido al diseño de grandes tanques cerrados, con sistemas de alimentación, calentamiento y mezclado.
- . Susceptible a pequeños cambios. Se necesita un buen -- monitoreo de funcionamiento y control del proceso cerrado.
- . Muy baja calidad del sobrenadante, la que tiene una alta demanda de oxígeno y alta concentración de nitrógeno y sólidos suspendidos. El reciclaje del flujo sobrenadante al influente de la planta, puede variar las condiciones del proceso. Cuando se necesite remover nitrógeno del agua negra, el sobrenadante causa problemas.
- . Grandes tiempos de retención a baja tasa.

4.2.9.- Calidad y Eficiencia.

La calidad de sobrenadante tiene una alta concentración - de materia orgánica, sólidos disueltos y sólidos suspendidos, nitrógeno, fósforo, y otros compuestos, que es lo -- que ocasiona una descarga adicional de tratamiento para - la planta.

Los fenoles son otro inconveniente del sobrenadante. La calidad del lodo obtenido es bastante buena con una eficiencia en la reducción de sólidos de 35 a 60% y una producción de gas metano de 65 a 70% , de CO₂ un 30 ó 35% y bajos niveles de N, H, sulfuro de Hidrógeno.

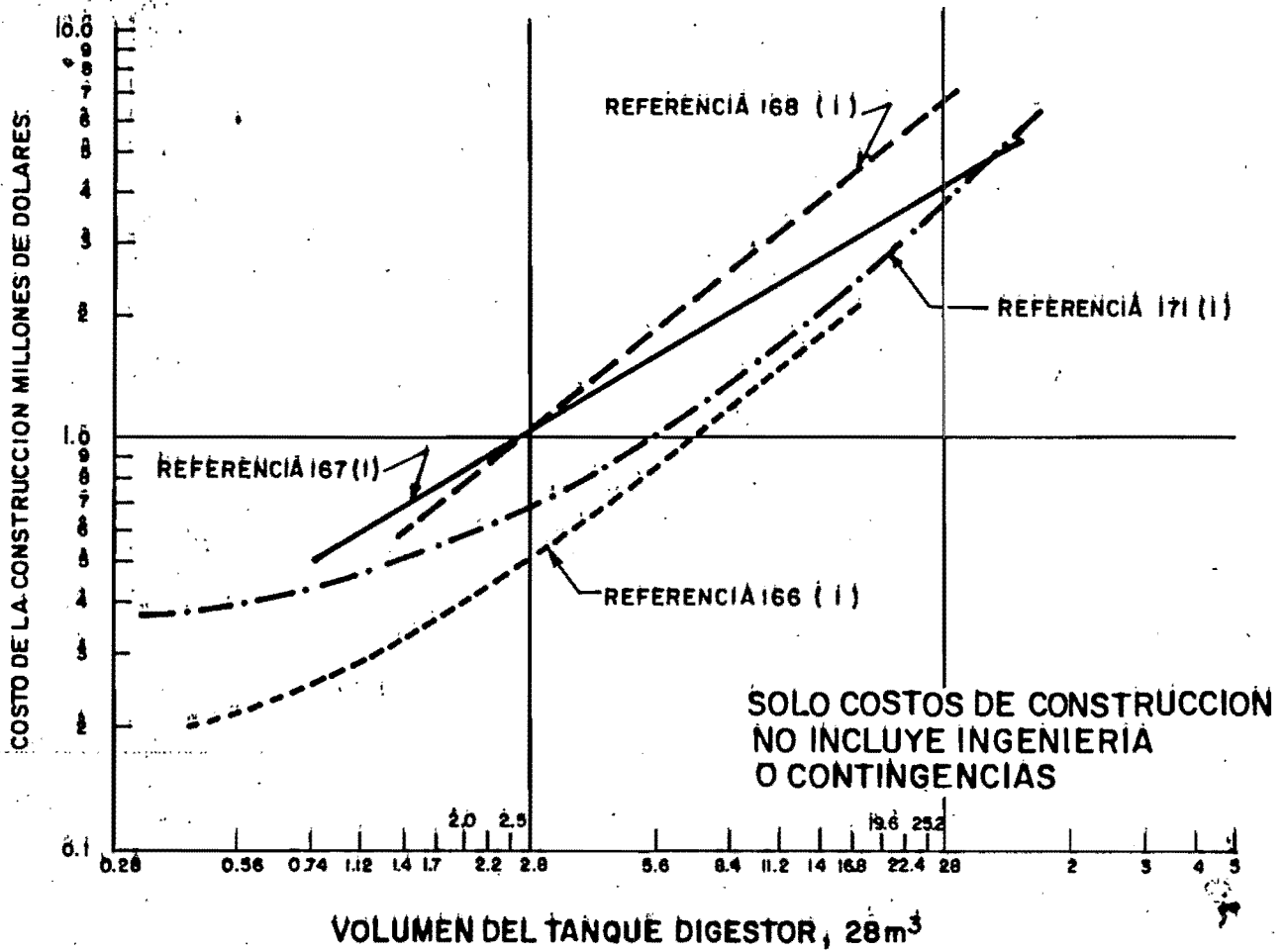
4.2.10.- Costos.

Se han desarrollado y gráficado curvas de costos, las cuales consideran costos de construcción para sistemas de digestión anaerobia, contra volumen del digestor, carga de sólidos, o flujo total de la planta de tratamiento.

Las curvas de costos son desarrolladas casi siempre con el fin de comparar alternativas equivalentes y no siempre describen costos actuales. (Ver figura No. 11 y 12).

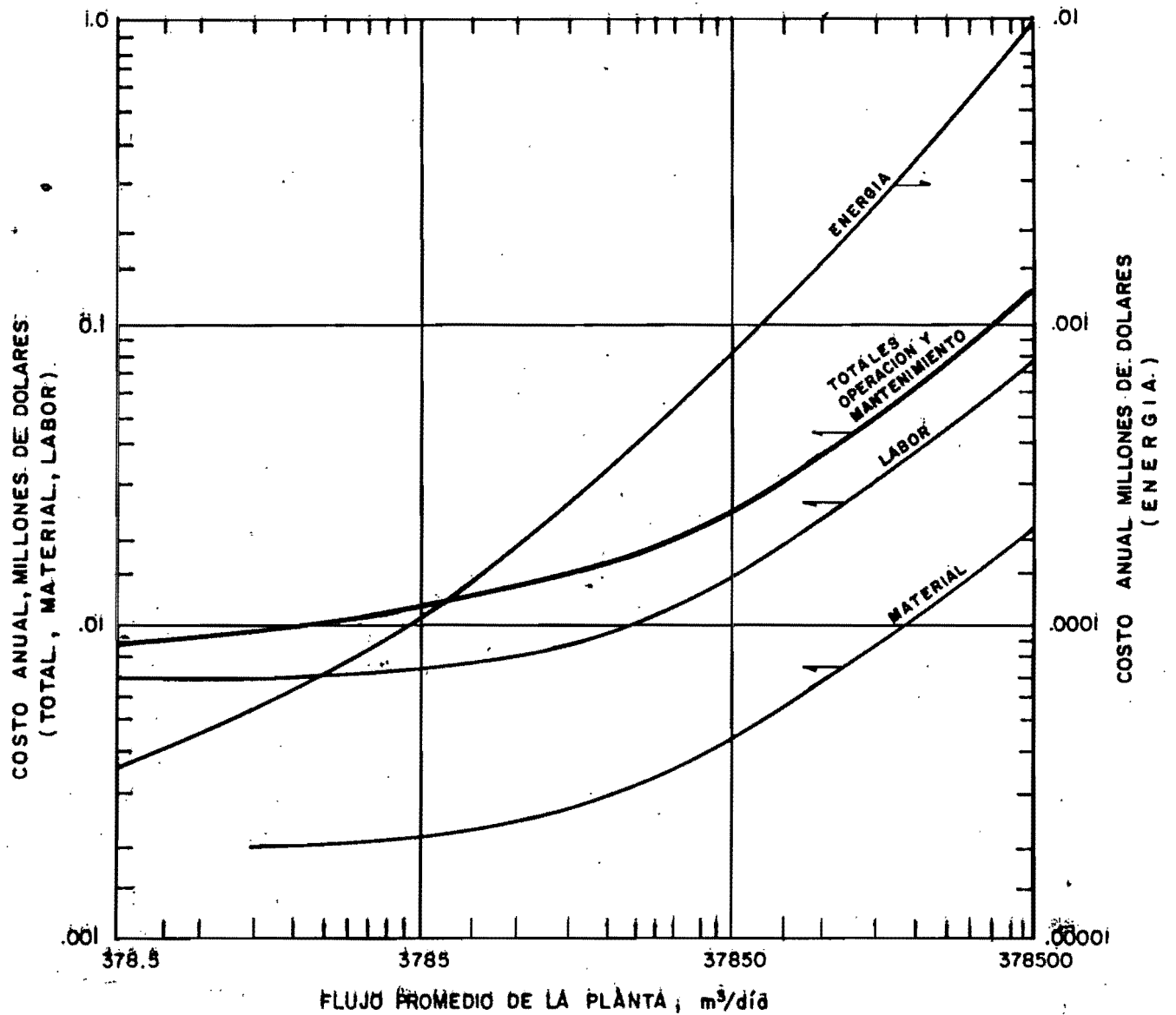
4.2.11.- Ejemplo de Diseño.

Los a^{ct}ivados de tratamiento secundario para aguas residuales municipales. Mezcla de lodos primarios y lodos activados de dese



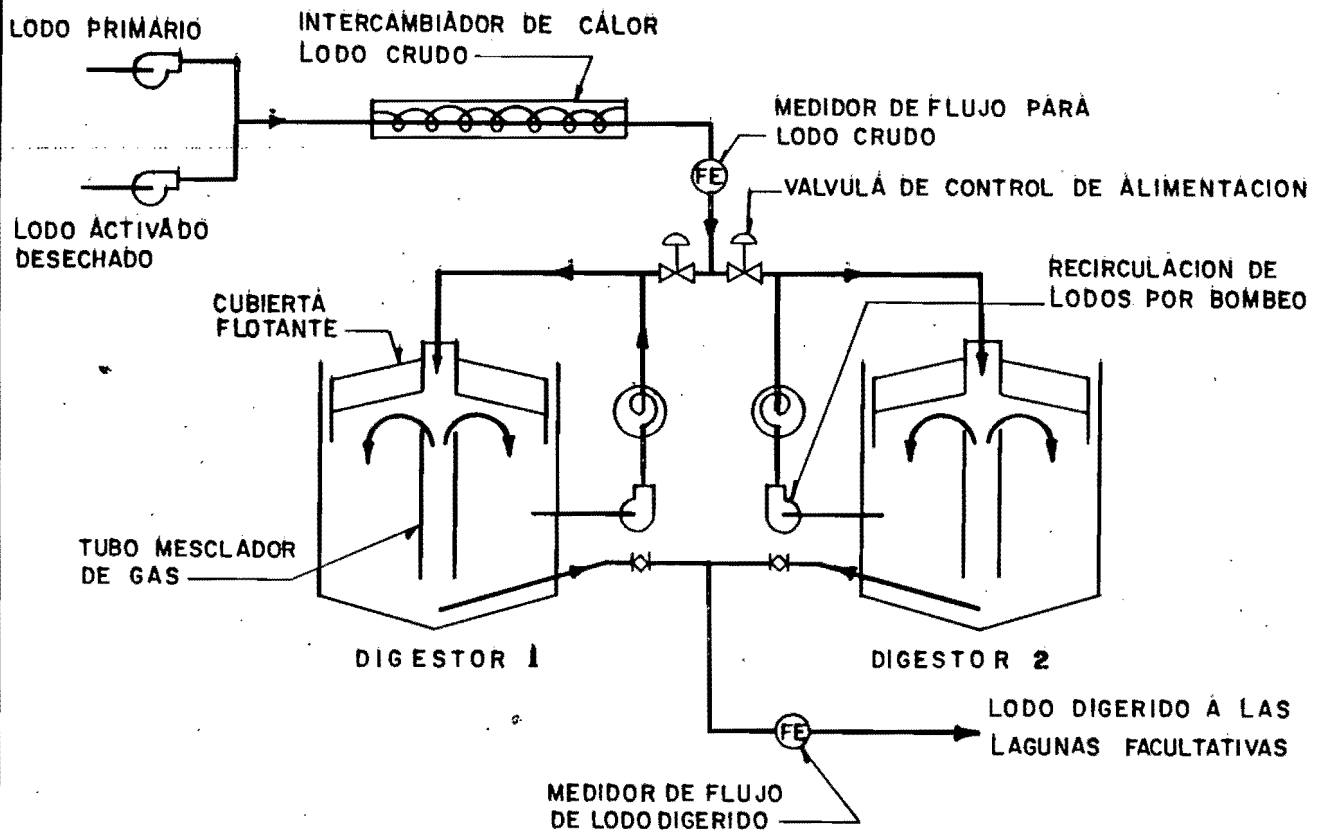
COSTOS DE CONSTRUCCION PARA SISTEMAS DE DIGESTION ANAEROBICA

FIGURA N° 11



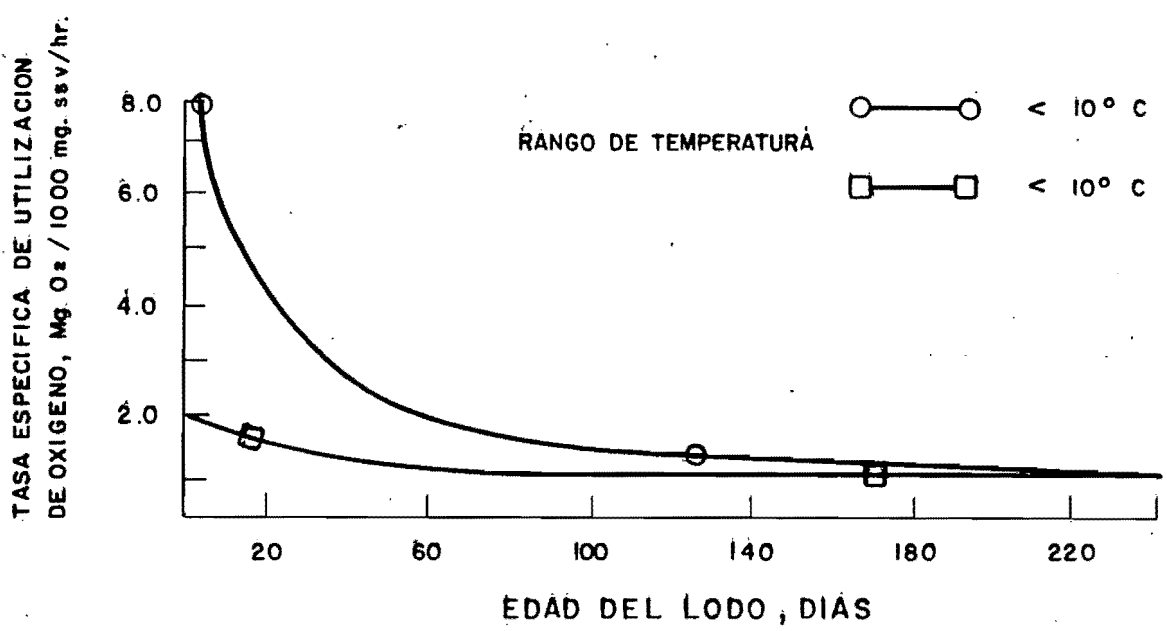
COSTOS DE OPERACION, MANTENIMIENTO Y ENERGIA PARA SISTEMAS DE DIGESTION ANAEROBIA DE LODOS. (1)

FIGURA No. 12



DISEÑO CONCEPTUAL DE UN SISTEMA DE DIGESTION DE LODOS ANAEROBIO.

FIGURA N° 13



INFLUENCIA DE LA EDAD DEL LODO Y TEMPERATURA DEL LIQUIDO SOBRE LA TASA DE UTILIZACION DE OXIGENO EN DIGESTORES AEROBIOS.

FIGURA N° 14

cho, espesados, descargados en una laguna facultativa después de la digestión y como disposición última se riegan sobre el terreno ya estabilizados.

Carga de Diseño.

Producción estimada de lodos, para flujo promedio y flujo máximo diario. Ver tabla No. 7.

La carga máxima se anota, debido a que algunos componentes deben ser dimensionados para esta condición crítica.

En el capítulo dos, se tiene el procedimiento para determinar el valor de producción de lodos. La concentración de sólidos y el volumen de lodos se encuentran en la tabla No. 7.

El sistema se compone de 2 tanques cilíndricos de digestión a alta tasa (estado simple), operando en paralelo, con calentamiento a 35°C y mezcla adicional por medio de gas. (Ver fig. 13).

El lodo crudo es mezclado con lodo recirculado, los dos tanques son operados como digestores primarios completamente mezclados sin remoción de sobrenadante y cuentan con cubierta flotante.

Tanques de Digestión.

Criterios de Dimensionamiento.

· Tiempos de retención de sólidos, mayor de 10 días para las con

diciones más críticas, considerando fallas en el sistema.

- . Reducción de sólidos volátiles mayor de 50 por ciento para las condiciones promedio, lo que minimiza olores en la laguna facultativa.

Volumen del tanque .

Flujo de lodo crudo, condiciones máximas diarias (Qp), lo cual proporciona un margen de seguridad.

$$Q_p = 170 + 97 = 267 \text{ m}^3/\text{día}$$

Volumen Activo.

$$V_a = \frac{267 \text{ m}^3/\text{día}}{2 \text{ tanques}} \times 10 \text{ días} = 1335 \text{ m}^3/\text{tanque}$$

Corrección por volumen desplazado debido a la acumulación de arena, espuma y por el nivel necesario para la cubierta flotante..

Se asume:

1.2 m. depósito de arena.

0.6 m. capa de espuma

0.6 m. máximo por debajo de la cubierta

2.40 altura total desplazada

Por lo tanto, si la profundidad del tanque es 9.0 metros sin considerar la parte conica, el volumen activo será:

$$\frac{9 - 2.4}{9} = 0.73 \text{ del volumen total del tanque.}$$

Volumen del tanque (Vt)

$$Vt = \frac{1335 \text{ m}^3}{\text{tanque}} \left(\frac{1}{0.73} \right) = 1828 \text{ m}^3/\text{tanque}$$

Se toma 1800 m³ tanque.

El tiempo de retención de sólidos considerando condiciones promedio (SRTa).

$$SRTa = \frac{1800 \text{ m}^3 / \text{tanque} (2 \text{ tanques })}{91 \text{ m}^3/\text{día} + 57 \text{ m}^3/\text{día}}$$

SRTa = 25 días, basados en el volumen total. Con este tiempo de retención de sólidos, se puede esperar más del 50 por ciento en reducción de sólidos volátiles.

Dimensiones del tanque.

Diámetro (D)

Si se le considera una altura de 9 metros sin contar el volumen de la parte cónica del fondo del tanque, se tiene :

$$D = \sqrt{\frac{4 (1800 \text{ m}^3/\text{día})}{\pi \cdot 9 \text{ mts.}}} = 16.0 \text{ m.}$$

Altura del tanque sin considerar el cono del fondo (h).

$$h = \frac{4 (1800 \text{ m}^3)}{\pi (16.0 \text{ m.})^2} = 9.0 \text{ m.}$$

Intercambiador de calor.

Capacidad del Intercambiador de calor para lodo crudo (Q s).

Se trabaja con:

- Carga de lodos (máxima diaria).
- Temperatura mínima del lodo crudo = 13°C.

$$Q_s = \left(\frac{\text{Volumen del lodo}}{\text{hora}} \right) \left(\frac{\text{Densidad del lodo}}{\text{lodo}} \right) (c_p) (t_2 - t_1).$$

$$Q_s = \left(267 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \right) \left(1001.05 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right) \left(\frac{1 \text{ día}}{24 \text{ horas}} \right) \left(1.008 \frac{\text{Kg-cal}}{\text{Kg-}^\circ\text{C}} \right) (35^\circ\text{C} - 13^\circ\text{C})$$

$$Q_s = 247,000 \frac{\text{Kg - cal}}{\text{hora}}$$

\bar{c}_p = Calor específico del lodo (aproximadamente).

$$1.008 \frac{\text{Kg - cal}}{\text{Kg - }^\circ\text{C}}$$

t_1 = Temperatura de la corriente de lodo crudo.

$$T_1^\circ\text{C} = 13^\circ\text{C}$$

t_2 = Temperatura deseada en el tanque digestor.

$$T_2^\circ\text{C} = 35^\circ\text{C}$$

Mezclado.

Criterios para el dimensionamiento

Se tiene :

.. Gradiente de velocidad (G) = 60 segundos⁻¹

. Planta localizada a nivel de mar.

$P_1 = 1 \text{ atmósfera} = 760 \text{ mm. de Hg.}$

Gas liberado a 0.65 mts. por debajo de la superficie del agua.

$P_2 = 760 \text{ mm.} + 650 \text{ mm} = 1410 \text{ mm} = 1.86 \text{ atmosfera.}$

Viscosidad del lodo digerido es la misma del agua a 35°C es -----

$0.7184 \times 10^{-2} \frac{\text{grámas masa}}{\text{cm seg.}} \quad (0.7184 \text{ centipoises })$

tasa de trasferencia de energía (E)

$E = V \mu G^2$

$E = \left(\frac{1800 \text{ m}^3}{\text{tanque}} \right) \times 7.4 \times 10^{-4} \frac{\text{Kg masa}}{\text{m seg.}} \times \left(60 \text{ seg.}^{-1} \right)^2 = \frac{4.8 \text{ Kw}}{\text{tanque.}}$

Esta es la energía necesaria para el contenido del digestor. La potencia para el motor será mucho mayor.

Flujo de Gas (Q)

$Q = \frac{E}{2.4 (P1)} \left(\text{Ln} \frac{P2}{P1} \right)$

T A B L A No. 1

CARACTERISTICAS DE OPERACION Y FUNCIONAMIENTO PARA UN DIGESTOR DE LODOS ACTIVADOS. (ANAEROBIO) EN DOS FASES (ESCALA-PILOTO)

PARAMETRO	DIGESTOR ACIDO	DIGESTOR DE METANO	SISTEMA COMBINADO DOS FASES
Temperatura, °C	37	37	37
Tiempo de retención, días.	0.47-1.20	6.46	6.86-7.66
Carga, (Kg S.V./día/m ³).	24.64-42.72	2.88	3.2
pH.	5.66-5.86	7.12	7.12
Nitrogeno Amoniacal, mg/l.	490-600	766	766
Alcalinidad Promedio ---- mg/l CaCO ₃	790	4,127	4,127
Composición del Gas (% moles).			
CH ₄	19-44	67.7	65.9
CO ₂	73-33	29.0	32.3
N ₂	8-23	1.3	1.8
Producción estandar de gas m ³ /kg S.V. reducido.	0.0125-0.056	1.1027	0.978
Producción estandar metano. m ³ /Kg S.V. reducido.	0.006-0.0187	0.74	0.67
Reducción de S.V., porcentaje.	8.5-31.1	29.3	40.2
Acidos volátiles en el efluente, mg/l HAc.	3,717	134	134

T A B L A No. 2

CRITERIOS DE DISEÑO PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE UN DIGESTOR ANAEROBIO DE LODOS (5).

PARAMETRO m ³ /hbte.	DIGESTOR BAJA TASA	DIGESTOR ALTA TASA
Lodos primarios.	0.056-0.084	0.0364
Lodos primarios+lodos de -- filtros rociadores.	0.112-0.14	0.076 -0.092
Lodos primarios + lodos an- tivados.	0.112-0.168	0.076 -0.112
Tasa de carga de sólidos -- Kg. S.S.V./día/m ³	0.64 -1.6	2.4 -6.4
Tiempo de retención de sólidos/día.	30-60	10-20

T A B L A No. 3

CRITERIOS DE DISEÑO. TIEMPO DE RETENCION DE SOLIDOS PARA
DIGESTION A ALTA TASA (1).

TEMPERATURA, OPERACION. °C	TIEMPO DE RETENCION DE SOLIDOS, DIAS	
	MINIMOS (TRSc)	SUGERIDO PARA - DISEÑO. (TSRd).
18	11	28
24	8	20
30	6	14
35	4	10
40	4	10

T A B L A No. 4

BALANCE DE MATERIA.

ENTRADAS Y SALIDAS EN UN SISTEMA DE DIGESTION ANAEROBIA DE LODOS
EN DOS ESTADOS. (a).

	C A N T I D A D E N T O N E L A D A S.					
	LODO ALIMEN.	LODO TRASNF.	SOBREN.	LODO ESTAB.	GAS 1er. ESTADO	GAS 2o. ESTADO.
SOLIDOS VOLATILES	79.9	34.1	23.4	8.5	-	-
SOLIDOS FIJOS	26.9	19.4	8.8	5.1	-	-
CARBOHIDRATOS (COMO GLUCOSA)	28.9	4.55	2.71	1.28	-	-
LIPIDOS	24.8	6.09	2.40	1.44	-	-
CARBON	46.2	20.4	11.8	4.5	22.1	2.7
NITROGENO AMONIACAL	0.64	1.61	1.64	0.28	-	-
NITROGENO ORGANICO	4.02	2.58	1.50	0.60	-	-
PROTEINAS (COMO GELATINA)	54.6	32.9	17.1	7.1	-	-
NITROGENO (COMO NH ₃)	4.66	4.2	3.25	0.89	0.47	0.04
TOTAL						

(a) PERIODO DE ANALISIS = 33 DIAS (1)

T A B L A No. 5

CARACTERISTICAS FISICAS Y QUIMICAS DE LODOS DE SISTEMAS DE DIGES
TION ANAEROBIA (DOS ESTADOS).

Componente	Concentración; mg/l. ^A			
	Lodos alimenta do.	Lodo trasferi do	sobrena dante	Lodo estabi lizado
pH	5.7	7.7	7.8	7.8
Alcalinidad	758	2,318	2,630	2,760
Acidos volátiles	1,285	172	211	185
Sólidos totales	35,600	18,200	12,100	32,800
Sólidos fijos	9,000	6,600	3,310	12,300
Carbohidratos	9,680	1,550	1,020	3,100
Lipidos	8,310	2,075	1,321	3,490
Carbón	15,450	6,950	4,440	10,910
Proteínas, como gelatina	18,280	11,200	6,580	17,200
Nitrógeno Amoniacal, como NH ₃	213	546	618	691
Nitrógeno Orgánico, como NH ₃	1,346	879	564	1,455
Nitrógeno total, como --- NH ₃	1,559	1,425	1,182	2,146

A excepto p.H.

NOTA: El digester primario fue calentado a 34°C, mezclado.

Se alimentó lodos primarios + lodos activados de desecho tiempo de retención en cada 39 días.

El segundo tanque de servicio como separador por gravedad.

En el primer estado un 57% de S.V. y se convierten a líquido y gases.

En el segundo estado solo el 2.8% de S.V. se redujo.

T A B L A No. 6

COEFICIENTES DE TRANSFERENCIA DE CALOR PARA DIFERENTES MATERIALES EN TANQUES DE DIGESTION ANAEROBIA.

MATERIAL	COEFICIENTE DE TRASFERENCIA DE CALOR (U) Kg-cal/hr/m ² /°C
Cubierta fija de acero (Lámina 1/4")	4.46
Cubierta fija de concreto (Espesor 9")	2.84
Cubierta flotante (Tipo desmontable con techo de madera)	1.62
Paredes de concreto (Espesor 12") expuesta al aire.	4.22
Paredes de concreto (espesor 12"), 1" espacio aire y 4" la- drillo.	1.32
Paredes o piso de concreto --- (espesor 12") expuesta a sue- lo humedo (espesor 10 pies) Altura de área expuesta.	0.54
Paredes de piso de concreto -- (espesor 12") expuesta a sue- lo seco (espesor 10 pies). Altura de área expuesta.	0.29

T A B L A No. 7

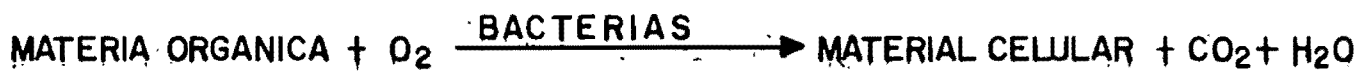
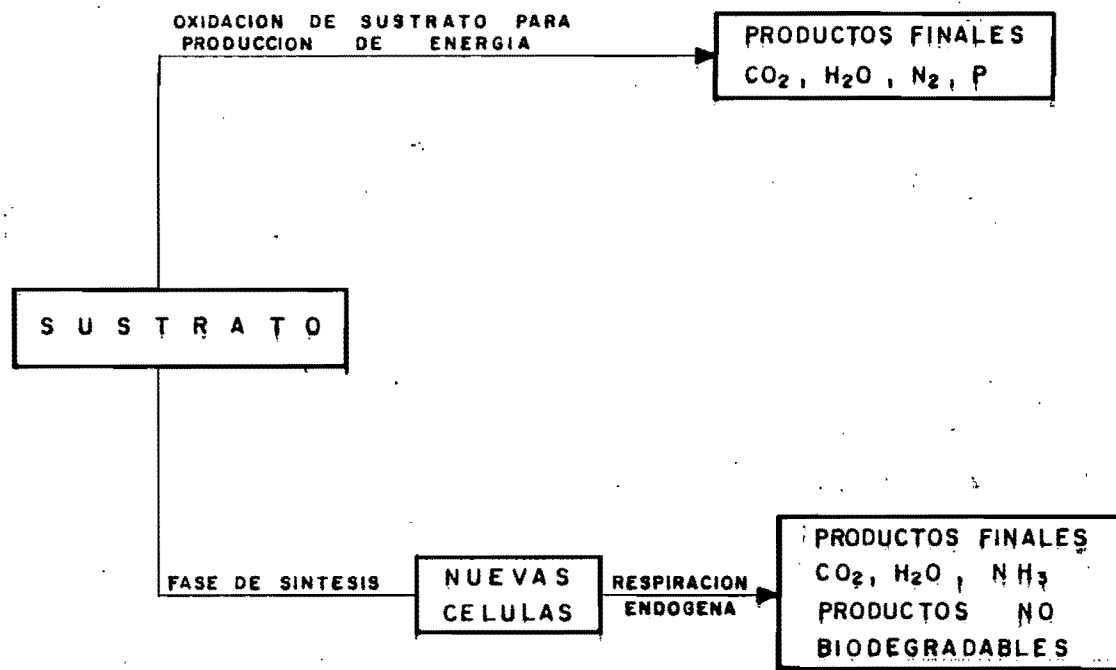
CRITERIOS DE DISEÑO

DIGESTION ANAEROBIA

PARAMETRO	CONDICIONES DE FLUJO	
	PROMEDIO	MAXIMO DIARIO
Producción de lodos, Kg secos de sólidos/día.		
Lodos Primarios	4540	6 810
Lodos Activados de desecho.	2270	3 405
Concentración de sólidos, por - centaje:		
Lodos Primarios	5.0	4.0
Lodos activados de desecho.	4.0	3.5
Volumen de lodos , m3/día		
Lodos Primarios	91	170
Lodos Activados de desecho.	57	97

Densidad del lodo = $1001.046 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$ (ref. 1)

Volumen del lodo = $\frac{\text{Producción de lodo}}{(\text{Concentración Sólidos}) (\text{densidad del lodo})}$



DESCRIPCION DEL PROCESO DE DIGESTION AEROBIA Y MECANISMO DE DEGRADACION BIOLOGICA.

$$Q = \frac{4.8 \text{ Kw / tanque}}{2.4 (1 \text{ atm}) \left(\ln \frac{1.86 \text{ atm}}{1 \text{ atm}} \right)}$$

$$Q = 0.145 \frac{\text{m}^3}{\text{segundo-tanque}}$$

4.3.- DIGESTION AEROBIA DE LODOS.

4.3.1.-Fundamento.

La digestión aerobia de lodos biológicos, no es más que la continuación del proceso de lodos activados. La digestión aerobia es la estabilización bioquímica del lodo, en tanques abiertos o cerrados.

4.3.2.- Descripción del Proceso.

En un medio que contiene una fuente de materia orgánica, los microorganismos utilizan la mayoría de esta materia removiéndola.

Una fracción de la materia orgánica removida se utiliza en la función de síntesis, lo que da como resultado un aumento en la biomasa. Si la fuente externa de materia orgánica se consume, los microorganismos entran en respiración endógena, donde el material celular es oxidado para satisfacer la energía de mantenimiento. Se busca que el proceso entre en la fase de respiración endógena ya que si esta condición se mantiene por un período de

tiempo largo, la cantidad total de biomasa, se reduce y además, la porción que queda se encuentra en un estado más bajo de energía, que se puede considerar biológicamente estable y más fácil de disponer en el medio ambiente. Cuando se dirigen solo lodos activados, el tiempo de retención es menor debido a la cantidad de biomasa existente en los mismos. (Ver cuadro No. 4).

4.3.3. Métodos de Digestión Aerobia.

a).- Operación Semi-Batch convencional.

Los lodos son bombeados directamente de los clarificadores y los tanques de sedimentación primaria a los digestores aerobios. El tiempo requerido para llenar los digestores depende del volumen útil del tanque, el volumen de los lodos de desecho, la precipitación y la evaporación. Durante la operación de llenado, el lodo que se encuentra en el tanque es continuamente aerado; cuando el tanque esta lleno, la aeración continúa por 2 ó 3 semanas; esto asegura que los sólidos estén estabilizados. Se interrumpe la aeración, los sólidos estabilizados sedimentan y son removidos en concentraciones de 2 a 4%. Cuando el lodo estabilizado y el sobrenadante se remueven, se repite el ciclo. El lodo que se deja en el digestor sirve para mantener una población microbiana necesaria para el proceso.

b).- Operación Continua-Convencional.

Equivalente al proceso anterior, los sólidos son bombeados directamente de los clarificadores y del sedimentador primario, la única diferencia es que el sistema se opera en forma continua.

c).- Auto Calentamiento.

En el proceso de digestión aerobia de auto calentamiento termofílico, los lodos de los clarificadores son espesados para obtener una concentración de sólidos mayor de 4% antes de alimentarlos al digestor. El calor generado en la degradación biológica de los sólidos orgánicos es suficiente para elevar la temperatura del líquido en el digestor alrededor de 60°C.

Las ventajas son: mayores tasas de destrucción de materia orgánica por lo tanto el volumen necesario es menor, producción de un lodo con menos organismos patógenos, destrucción de todas las semillas de maleza, 30 ó 40% menor cantidad de oxígeno necesario para el proceso mesofílico, ya que casi ninguna bacteria nitrificante existe en este rango de temperatura y mejora la separación de las fases líquido-sólido, debido a que disminuye la viscosidad. Las ventajas son: debe incorporar una operación de espesado, las necesidades de mezclado son mayores ya que el contenido de sólidos es más alto y se debe contar con tanques con aislamiento.

4.3.4.- Consideraciones de Diseño.

Generalmente la mayoría de los digestores aerobios son unidades de aeración completamente mezcladas, operadas a flujo continuo y diseñadas bajo la base de reducción de sólidos suspendidos volátiles.

Temperatura.

La mayoría de los digestores aerobios son tanques abiertos, donde la temperatura del líquido en el digestor, depende de las condiciones del tiempo y puede variar en un amplio rango. En los sistemas biológicos las menores temperaturas retardan el proceso y viceversa. El diseño debe minimizar pérdidas de calor al usar tanques de concreto ó acero, etc.

Reducción de Sólidos.

El cambio en los sólidos volátiles biodegradables pueden ser representados por una ecuación bioquímica de primer orden.

$$\frac{dM}{dt} = -KdM$$

en donde:

$\frac{dM}{dt}$ = Tasa de cambio de sólidos volátiles biodegradables por unidad de tiempo (Δ masa/tiempo).

K_d = Constante, tasa de reacción (tiempo⁻¹).

M = Concentración de S.V. biodegradables que permanecen al tiempo t en el digester aerobio (masa).

El tiempo t en la ecuación es la edad de los lodos ó el tiempo de residencia en el digester aerobio.

Dependiendo de la forma en que es operado el digester aerobio, el tiempo t puede ser igual o mayor que el tiempo de residencia hidráulico teórico.

La tasa de reacción K_d , va en función del tipo del lodo, la temperatura, y la concentración de sólidos, K_d disminuye con un aumento en la concentración de sólidos.

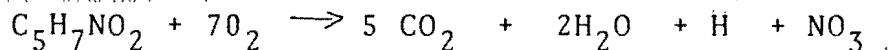
Se ha encontrado que aproximadamente el 77% de una célula biológica es degradable, por lo tanto las ecuaciones no describen la situación real, sino una aproximación.

Oxígeno Necesario.

La biomasa de lodos activados se representa por medio de la fórmula empírica $C_5H_7NO_2$.

Material celular + $O_2 \longrightarrow$ Lodos digeridos + CO_2 + H_2O .

Puede ser escrita:



Esta ecuación indica que 0.898 Kg de oxígeno son necesarios para oxidar, 0.45 Kg de masa celular.

En estudio piloto se encontró que un rango de 0.789 a 0.939 Kg. de oxígeno, son necesarios para degradar 1.0 Kg de S.V. Para -- sistemas mesofílicos, se recomienda un valor de diseño de 2 Kg - aproximadamente.

Para sistemas auto-térmicos , los cuales funcionan a temperatu - ras superiores a 45°C no ocurre nitrificación y se recomiendan - valores de 0.75 Kg. de oxígeno para degradar 1 Kg. de S.V.

La tasa de utilización de oxígeno, Kg de O₂ /1000 Kg. de S.V./ho - ra, se encuentra en función de la edad del lodo y de la tempera - tura del líquido.

Un valor mínimo de 1.0 mg. de oxígeno por litro de lodos en el - digestor, mantiene las condiciones aerobias. (Ver figura Nõ.14).

Necesidad de Mezclado.

Es necesario un buen mezclado para mentener los sólidos en sus -- pensión y lograr una eficiencia de transferencia de oxígeno ade - cuada. Es normal expresar las necesidades de mezclado en térmi - nos de niveles de energía, lo cual se define como energía neces^{aria} - ria por unidad de volumen.

De acuerdo con la bibliografía existe un rango de 13 a 106 Kw/-1000 m³ de volumen de tanque que son necesarios (1). 25-40 Kw/1000 m³ de volumen de tanque, para aeración mecánica (3) y de 25 a -40 m³ de aire/minuto/m³ de volumen de tanque, para aeración por difusores (7).

Reducción de pH.

La disminución en el pH es causada por la formación de ácido -- que ocurre durante la nitrificación. El pH bajo, se considera -- ba que inhibe el proceso, pero se ha determinado que el siste -- ma se aclimata y funciona bien a bajos valores de pH.

A temperaturas bajas de líquido y un tiempo de edad de lodo --- corto o en operación termofílica, el pH bajará menos debido a -- que las bacterias nitrificantes son muy sensitivas al calor y -- no sobreviven a temperaturas por encima de 45°C (Ver figura: -- No. 16).

Deshidratación.

Las propiedades de deshidratación de lodos digeridos aerobica -- mente se reducen con el aumento en la edad de los lodos y la -- deshidratación mecánica es muy difícil.

4.3.5.- Consideraciones de Manejo y Funcionamiento del Proceso.

Reducción de Sólidos Volátiles Totales.

La reducción de sólidos en el lodo, es una función directa de la temperatura del líquido en el tanque y del tiempo durante el cual el lodo permanece en el digestor. Los estudios que se han desarrollado, muestran que bajo condiciones de aeración normal la reducción de sólidos volátiles se encuentra en un rango de 40 a 50% (Ver figura No. 17).

Los principales factores que se deben tener en cuenta en el diseño de un digestor aeróbico de lodos son: tiempo de retención hidráulico, carga orgánica, oxígeno necesario, energía necesaria para mezclado, condiciones ambientales.

En la tabla No. 8 se resumen los criterios de diseño para digestores aeróbicos.

4.3.6.- Ventajas y Desventajas.

Algunas de las ventajas y desventajas de la digestión aerobia -- comparada con la digestión anaerobia son :

Ventajas.

. Costos de capital más bajos en plantas con capacidad menor de 220 lts.

- . Más fáciles de operar comparados con los sistemas anaerobios.
- . No generan olores desagradables.
- . Producen un sobrenadante bajo en DBO_5 , S.S. y nitrógeno amoniacal.
- . Reduce la cantidad de grasa en la masa de lodos.
- . Reduce el número de organismos patógenos a un nivel más bajo que el obtenido por digestión anaerobia.
- . Reducción de sólidos volátiles aproximada a la obtenida por vía -- anaerobia.

Desventajas:

- . Produce un lodo digerido con muy pocas características de deshidratación mecánica.
- . La temperatura, localización y el tipo de material del tanque tienen una gran influencia en el buen funcionamiento del proceso.
- . En las plantas muy pequeñas, los costos de energía para aerar los lodos son muy altos.

4.3.7.- Calidad y Eficiencia.

Un buen diseño que considere la configuración del tanque en coordinación con el equipo de aeración, disminuye los costos hasta un 50% en cuanto a consumos de energía. El equipo para el control de suministro de oxígeno es muy importante al tratar de minimizar los costos, dados los cambios de temperatura en verano e invierno donde las necesidades de oxígeno pueden variar hasta un 20 o 30%, se debe diseñar siempre con las condiciones más desfavorable.

El lodo producido por el proceso aerobio durante los cinco primeros días de aeración aumenta su índice volumétrico de lodos y el drenaje de estos lodos es muy difícil, después de diez días de aeración la condición anterior mejora.

4.3.8.- Costos.

Costos de capital.

Los costos de capital pueden ser calculados en forma aproximada por medio de la ecuación.

$$C = 1.47 \times 10^5 Q^{1.14}$$

donde:

C = Costos de capital del proceso en Dolares.

Q = Flujo de diseño de la planta en millones de galones de aguas negras por día. (1 mgd 3,785 m³/d).

Los costos asociados incluyen excavación, proceso de bombeo, equipo, concreto y acero. Los costos de administración e ingeniería son iguales a $0.2264 \times C$.

Costos de operación y Mantenimiento.

Los principales costos involucrados en el sistema son: debidos al personal necesario y a la energía requerida..

Se tiene como otro factor de costo el mantenimiento de los aeradores, a los cuales se les debe cambiar aceite 2 veces al año. Dependiendo de la potencia, puede ser necesario 19-152 l/unidad/cambio.

4.3.9.- Ejemplo de Diseño.

En una planta de estabilización por contacto de 22 l/s se producen las siguientes cantidades de lodos (capítulo 2).

Generación diaria de sólidos totales.	572 Kg.
Cantidad debida a lodos químicos.	0
Cantidad de sólidos volátiles.	447 Kg.
Cantidad de sólidos no volátiles.	125 Kg.

Se cuenta con la siguiente información:

. Temperatura mínima del líquido en el digestor 10°C (invierno) , (Verano) 25°C.

- . El sistema debe conseguir una reducción de sólidos volátiles mayor de 40% durante el invierno.
- . Un mínimo de dos tanques operando continuamente son necesarios. Esto se requiere para plantas con un flujo menores de 44 l/s.
- . Se espera que la concentración de sólidos en los lodos que en - tran al digestor sea de 8,000 mg/l.

La concentración de sólidos esperada en los lodos estabilizados es 3% (30,000 mg/l).

Edad del Lodo Necesaria.

La figura No 17 , permite calcular el número de días necesarios para conseguir la reducción del 40% de sólidos volátiles

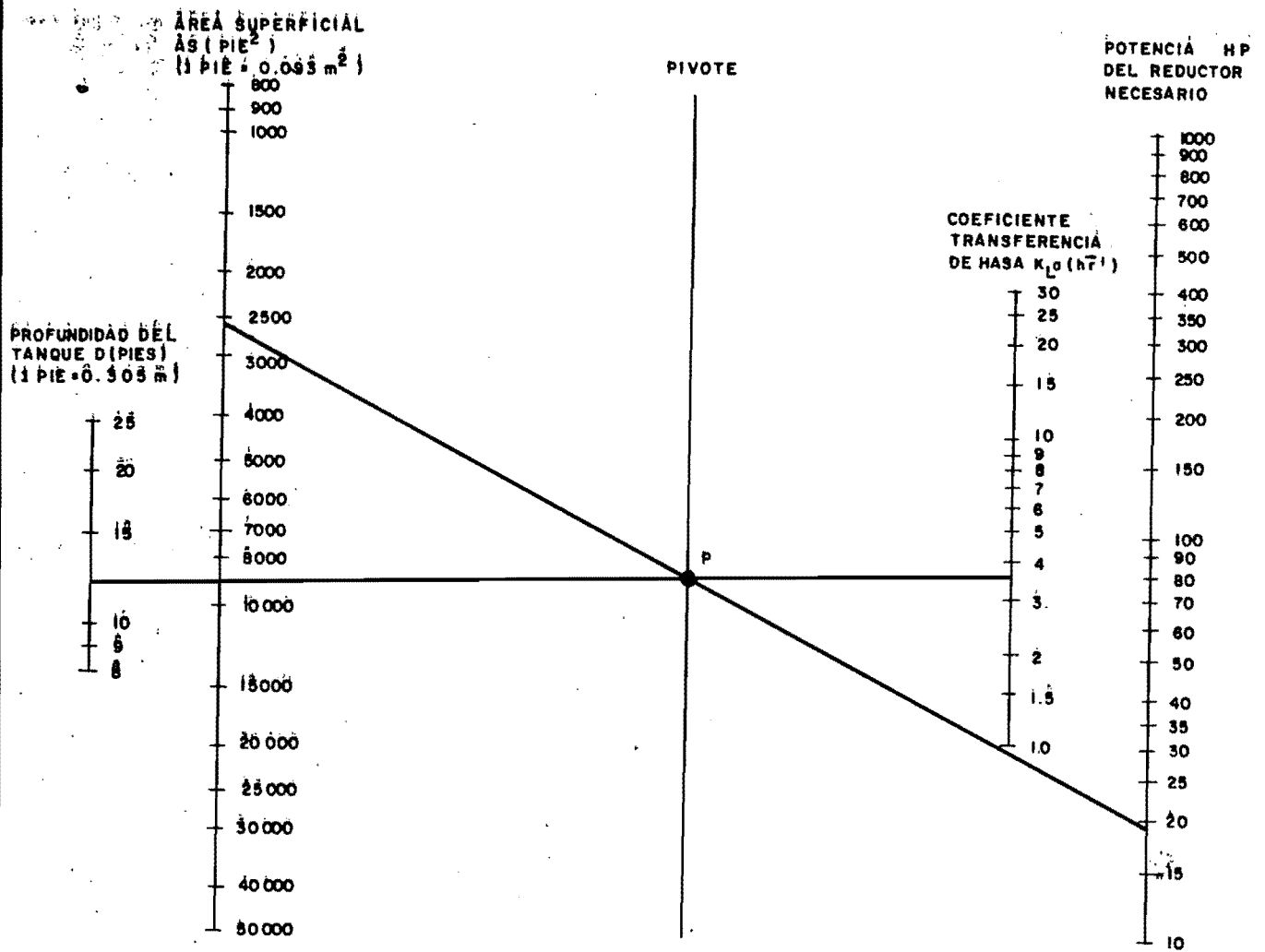
El resultado es 475 grados-día , para una temperatura de 10°C -- se tiene:

$$\frac{475 \text{ grados-día}}{10 \text{ grados.}} = 47.5 \text{ días.}$$

El volumen del digestor aerobio debe proporcionar 47.5 días como edad de los lodos para que se tenga una reducción de sólidos volátiles mínima durante el invierno.

Durante el verano, la temperatura promedio será de 25°C.

$$25^{\circ}\text{C} \times 47.5 \text{ edad de los lodos días} = 1,175 \text{ grados-días.}$$



CARTAS DE DISEÑO PARA AERADORES MECANICOS (BAJA TASA) EN
 TANQUES DE AERACION NO CIRCULARES PARA CALCULAR
 ENERGIA NECESARIA PARA OXIGENO DE MEZCLADO.

FIGURA N° 15

De la figura No. 17 para 1,175 grados- días, la reducción de sólidos volátiles será aproximadamente de 49%.

Reducción de Sólidos Volátiles.

Para las condiciones de invierno, la reducción de sólidos volátiles (SV) será de 40%, los Kg de sólidos reducidos son:

$$\frac{447 \text{ KgSV}}{\text{día}} \times 0.4 = 179 \frac{\text{Kg SV reducidos}}{\text{día}}$$

Para las condiciones de verano, la reducción de sólidos volátiles será de un 49%.

$$\frac{447 \text{ KgSV}}{\text{día}} \times 0.49 = \frac{219 \text{ Kg. S.V. reducidos}}{\text{día}}$$

Oxígeno Necesario.

Si se tiene nitrificación, se debe considerar un suplemento para suplir 2 Kg de oxígeno por Kg de sólidos volátiles destruido.

$$\text{Condiciones de invierno : } 179 \frac{\text{Kg SV dest.}}{\text{día}} \times \frac{2.0 \text{ Kg O}_2}{\text{Kg SV dest.}}$$

$$\text{Oxígeno necesario} = 358 \frac{\text{Kg O}_2}{\text{día}}$$

$$\text{Condiciones de verano } \frac{219 \text{ Kg SV dest}}{\text{día}} \times \frac{2.0 \text{ Kg O}_2}{\text{Kg SV dest.}}$$

Oxígeno necesario = 438 Kg/día.

Durante las condiciones de verano, un mínimo de 1.0 mg/l de oxígeno residual se debe proporcionar.

Cálculo del volumen del Tanque.

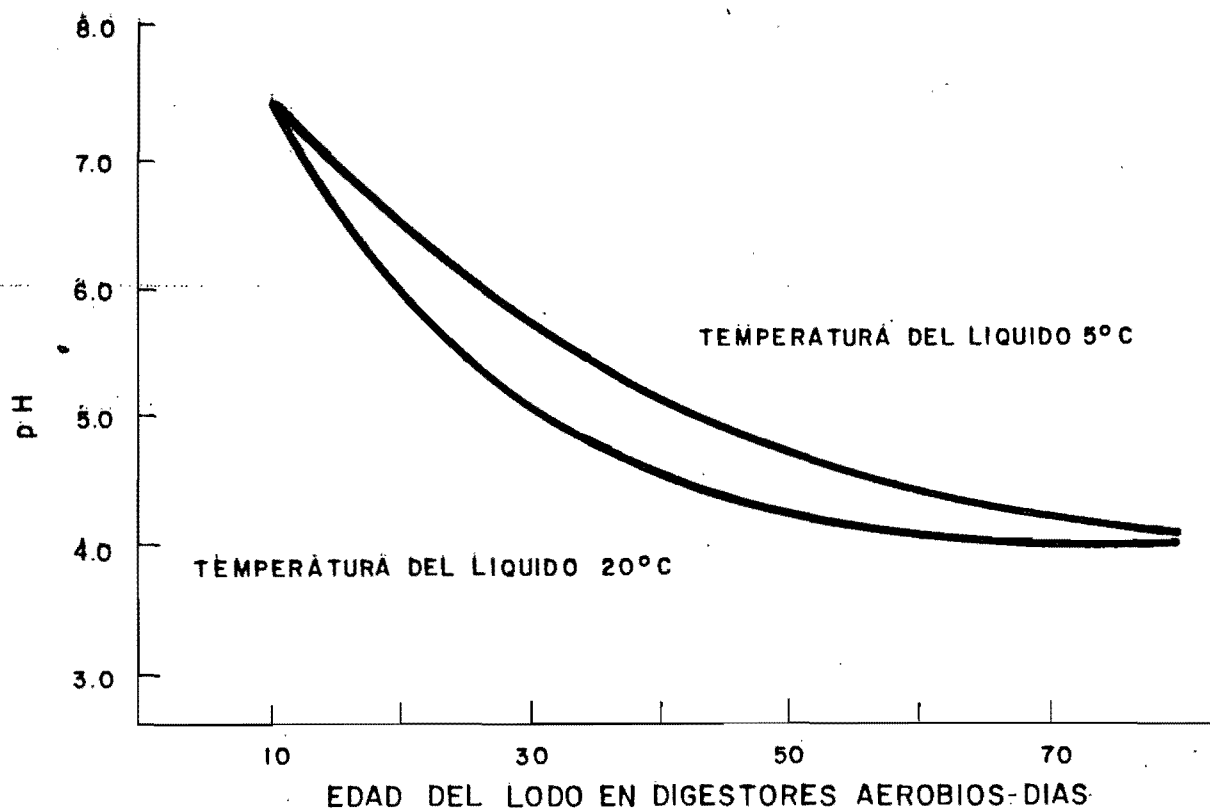
La edad del lodo en un digestor aerobio se define:

$$\text{Edad del lodo} = \frac{\text{Kg totales de SS en el digestor aerobio}}{\text{Kg totales de SS perdidas por día en el digestor aeróbico.}}$$

La concentración de sólidos suspendidos en el digestor se encuentra en un rango comprendido entre el valor de la concentración de sólidos suspendidos en el influente 8,000 mg/l y el valor máximo de la concentración de sólidos estabilizados y espesados -- que es de 30,000 mg/l. El promedio de la concentración de sólidos suspendidos en el digestor es igual a 70% de la concentración de sólidos espesados, o 21,000 mg/l.

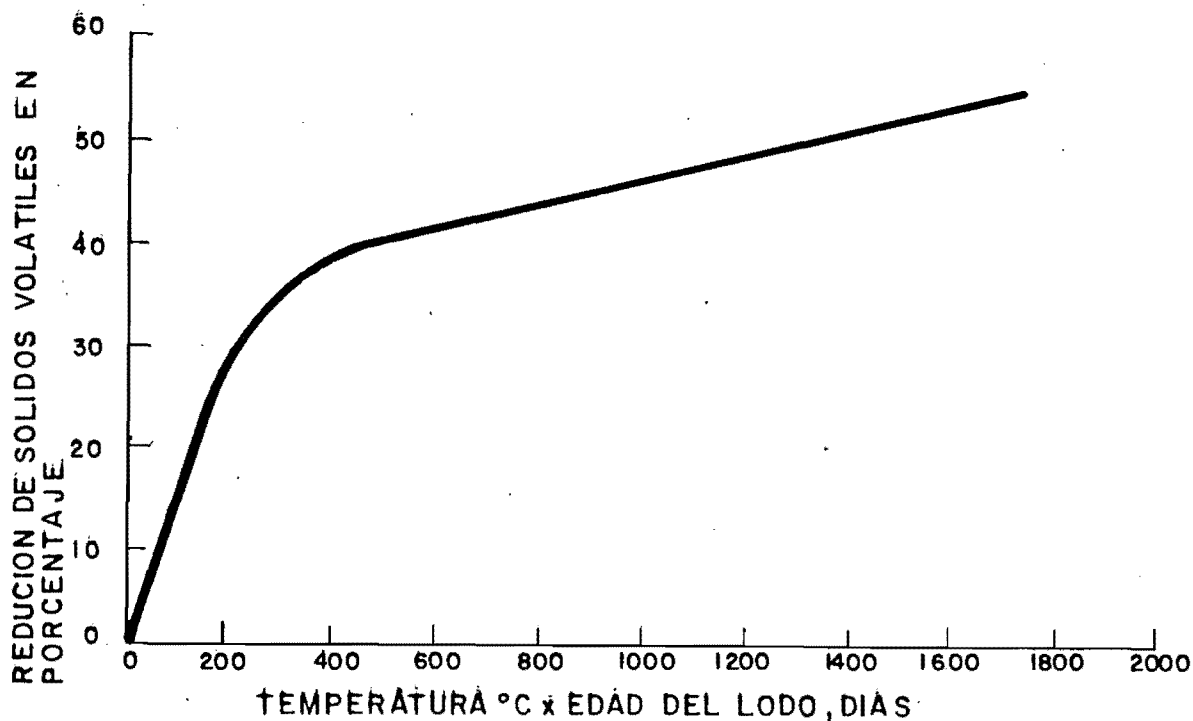
Un promedio de sólidos suspendidos en el sobrenadante puede ser aproximado por la siguiente ecuación.

(concentración de SS en el sobrenadante) $(1-f)$ (8.34) (Flujo en el influente). Donde f es la fracción de flujo en el influente retenido en el digestor aerobio, y $1-f$ es la fracción que sale como sobrenadante. El término f puede calcularse por medio de la siguiente ecuación en forma aproximada.



EFFECTO DE LA EDAD DEL LODO SOBRE EL PH DURANTE LA DIGESTION AEROBIA.

FIGURA N° 16



REDUCCION DE SOLIDOS VOLATILES COMO UNA FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA DE LIQUIDO EN EL DIGESTOR Y LA EDAD DEL LODO.

FIGURA N° 17

$$f = \frac{\text{Concentración de SS en el influente}}{\text{Concentración de SS espesados.}} \times \text{fracción de sólidos no destruidos.}$$

Las condiciones para invierno, la fracción de sólidos no destruidos es:

$$\frac{572 \text{ Kg sólidos totales} - 179 \text{ Kg de sólidos reducidos}}{572 \text{ Kg de sólidos totales.}} = 0.69$$

El término f para este ejemplo es:

$$\frac{8.000 \text{ mg/l}}{30.000 \text{ mg/l}} \times 0.69 = 0.18$$

Por lo tanto, 18 por ciento del flujo influente será retenido en el digester aeróbico, y 82% sale como sobrenadante.

Para un separador líquido-sólido diseñado apropiadamente, con una tasa de flujo 8.16 m³/día/m², la concentración de sólidos suspendidos será aproximadamente de 300 mg/l.

El flujo influente puede ser calculado dividiendo la carga de sólidos en el influente (572 Kg/día por la concentración de sólidos en el influente 8.000 mg/l.

El resultado es 71.5 m³/día.

Los Kg de sólidos suspendidos desechados por día del sistema de digestión aerobia pueden calcularse en forma aproximada por medio de la siguiente expresión.

(Concentraciones de SS en el lodo espesado)(f)(8.34)(flujo influente)

En este ejemplo, las condiciones de invierno, gobiernan el proceso y se definió una edad de lodos de 47.5 días mínimo necesario.

$$47.5 \text{ días} \frac{(121.000 \text{ mg/l}) \cdot (8.34) \cdot (\text{volumen del tanque m}^3)}{(300 \text{ mg/l}) \cdot (1-0.18) + (30.000)(0.18)(8.34)(71.5 \text{ m}^3/\text{día})}$$

Volumen de tanque = 881m³.

Tiempo de retención hidráulica (Teórico).

$$\frac{881\text{m}^3}{71.5 \text{ m}^3/\text{día}} = 12.3 \text{ días.}$$

Este es el volumen mínimo, al cual se debe adicionar capacidad -- para almacenamiento los fines de semana y para precipitación. Para este diseño, los dos tanques tendrán un volumen de 881m³ cada uno (100 % de acuerdo a la capacidad como a las necesidades de estado). (Ver graficas No. 31 y 32).

Las dimensiones de los tanques dependen del equipo de aeración --- utilizado.

Energía Necesaria.

Se usan aeradores mecánicos a baja tasa para mezclado y transferencia de oxígeno en el digester aeróbico.

Del cálculo desarrollado anteriormente se determinó que el oxígeno máximo necesario es de 438 Kg. de oxígeno por día.

Después de hacer correcciones por elevación de la planta, factores alfa y beta, temperatura del agua y necesidades mínimas de oxígeno residual, se calcula un coeficiente de transferencia de masa $K_L a$ de 3.53 hr^{-1} . De este valor y de la figura No. 15 se calcula la energía necesaria.

Se asume una profundidad de 3.65 m., cada tanque tiene un valor de 881 m³, el área superficial con una profundidad del líquido de 3.65 m. será de 241 m². En la figura No. 15, se localiza un punto P y se traza una línea recta que cruce las escalas D y $K_L a$, utilizando el punto P se une en línea la escala As, área superficial de tanque, hasta la escala de potencia necesaria para el reductor.

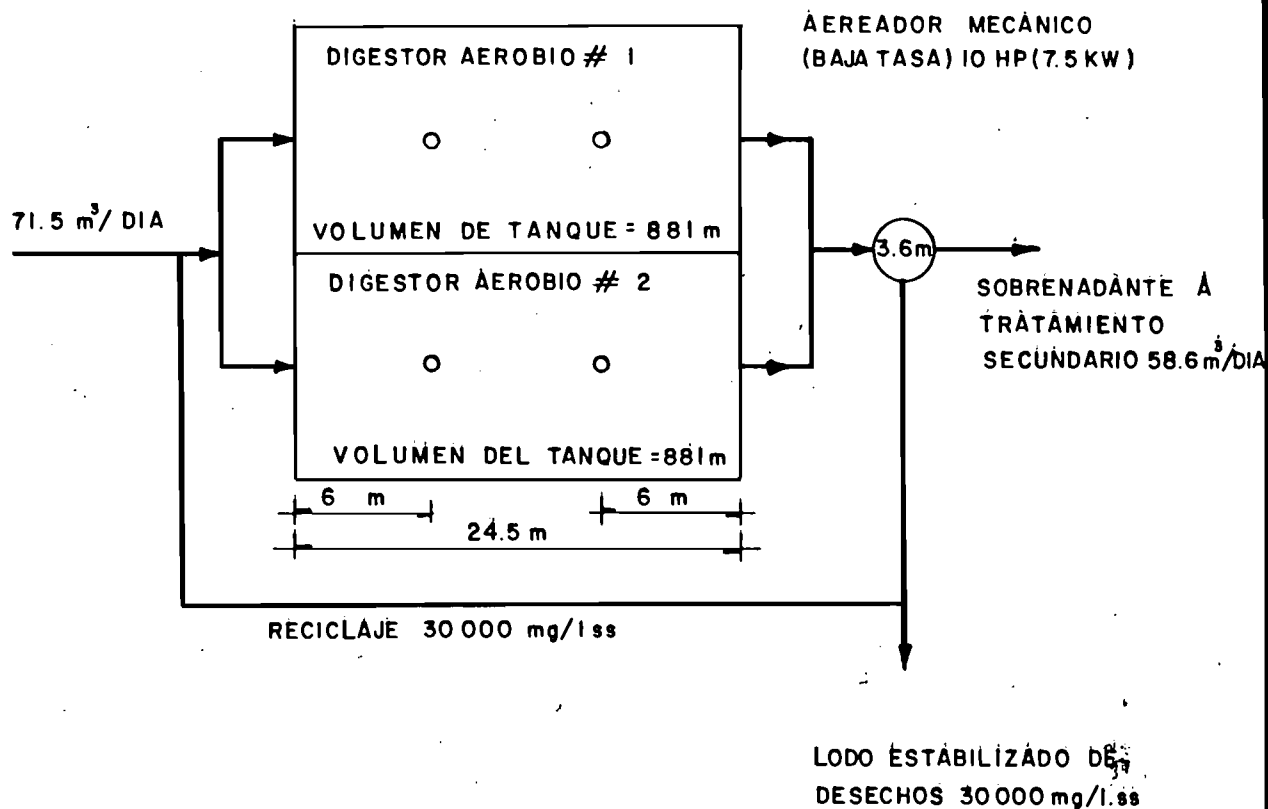
La potencia requerida para un tanque será de 19 Hp (14.1 Kw), si se tiene una eficiencia de 92%, la potencia total del motor será igual a $19/0.92$, ó 20.6 Hp (15.4 Kw). El fabricante recomienda una potencia mínima de 10 Hp (7.5 Kw) para mezclado con una profundidad de 3.65 m.

Cada unidad de 10 Hp (7.5 Kw) podría mezclar un área de 12.1 m. por 12.1 m. Se pueden usar dos unidades de 10 Hp (7.5 Kw) en cada tanque de 10.9 de ancho por 24.5 m. de largo y con una profundidad total de 4.2 m., considerando 0.60 m. de borde libre. En la figura No. 18 se muestra una vista de la planta propuesta.

CONDICIONES DE VERANO : 219 Kg.S.V.REDUCIDOS/DIA - 438 Kg O₂ / DIA

CONDICIONES DE INVIERNO: 179 Kg.S.V.REDUCIDOS/DIA - 358 Kg O₂ / DIA

CADA TANQUE: 24.5m. DE LARGO POR 10.9 m DE ANCHO POR 3.6 m DE PROFUNDIDAD DEL LIQUIDO Y UN BORDE LIBRE DE 0.6 m.



RESUMEN DE RESULTADOS PARA EL EJEMPLO DE DISEÑO DE LA DIGESTION AEROBIA.

FIGURA N° 18

Area superficial del clarificador.

El área superficial se determinó con base en una tasa de flujo de 8.16 m³/día/m². Para un flujo de entrada de 71.5 m³/día, el área superficial necesaria es 8.8 m². Se selecciona un clarificador - de 3.7 m. de diámetro.

Flujo de sobrenadante.

Se determinó que 82% del influente que llega al digestor aerobio puede salir como sobrenadante, si se tiene un influente de 71.5 --- m³/día, el flujo de sobrenadante será de 58.6 m³/día además de la precipitación.

T A B L A No. 8

RESUMEN DE CRITERIOS DE DISEÑO PARA DIGESTORES AEROBIOS.

	DIAS	TEMPERATURA DEL LIQUIDO
Tiempo de residencia de sólidos necesario para conseguir una - reducción de sólidos volátiles 40 por ciento.	108	4.5°C
	31	15.5°C
	18	27 °C
Reducción de sólidos volátiles - 55%.	386	4.5°C
	109	15.5°C
	64	27 °C
Oxígeno Necesario.		2.0 Kg. de oxígeno por Kg. - de sólidos volátiles destru- idos, cuando la temperatura del líquido es de 45°C o me- nos.
		1.45 Kg. de oxígeno por Kg. de sólidos volátiles destru- idos cuando la temperatura del líquido es mayor de 45°C
Oxígeno Residual.		1.0 mg/l de oxígeno en condi- ciones de diseño (valor míni- mo).
Concentración de sólidos máxima esperada lograda por medio de decantación.		2.5 a 3.5% de sólidos cuando se cuenta con un lodo sin -- arenas o uno en el cual no - se adicionarón químicos.
Potencia de mezclado.		Función de la geometría del - tanque y tipo de equipo de - aeración utilizado. Se debe consultar catalogos de equipo. Se manejan de 13.3-106.4 Kw/ 1.000 m3.

5.- DIGESTION AEROBIA DE LODOS CON FUENTE ADICIONAL DE CARBON.

5.1.- Fundamento.

La digestión aerobia de lodos con fuente adicional de carbón considera la descomposición biológica de la materia orgánica contenida en la mezcla (lodos-fuente de carbón), bajo condiciones ---- aerobias desarrollando temperaturas termofílicas capaces de destruir los organismos patógenos contenidos en los lodos y obteniendo un producto final de más fácil y seguro manejo, almacenamiento y aplicación al suelo sin efectos ambientales adversos.

5.2.- Descripción del Proceso.

En el cuadro No. 5 se presenta un esquema general del proceso, el

cual se puede aplicar a los diferentes sistemas de composteo. Este sistema de tratamiento considera cuatro etapas básicas que son: mazclado, digestión, curado, almacenamiento y secado (en caso de ser necesario) .

El primer paso dentro del proceso de digestión, es obtener una mezcla lo más homogénea posible entre el lodo y la fuente de carbón; después de obtener esta mezcla, el proceso necesita de 3 a 4 semanas para lograr una estabilidad primaria, durante este período de tiempo la mezcla es aerada y la descomposición biológica debe generar temperaturas en el rango de 55°C a 65°C, para asegurar la destrucción de organismos patógenos y además, como una forma de secar los lodos por evaporación.

Después del proceso primario de estabilización se deja la mezcla durante 30 días (tiempo de curado); para lograr una mayor estabilización de los lodos y si no se logra obtener el contenido de humedad deseado se puede adicionar aire para secar aún más el lodo antes de la disposición en el suelo.

Dentro del proceso se tienen aspectos de mucha importancia como son: el tipo de lodo y la volatilidad del mismo, así como el contenido de humedad, la concentración de oxígeno, la tasa de carbón a nitrógeno (C/N), la temperatura y el pH.

El principal aspecto manejado durante el presente trabajo, es la

presencia de la fuente de carbón, la cual puede ser: aserrín, -- cáscara de arroz, bagazo de caña de azúcar, etc., que en su gran mayoría en el medio de los países latinos se consideran residuos. El fin de adicionar al lodo la fuente de carbón, es obtener una mezcla capaz de mantener la estabilidad estructural necesaria du rante la descomposición, la cual se logra al eliminar humedad -- del lodo y adicionar porosidad para que la aeración se lleve a -- cabo. Por otra parte la fuente de carbón influye en la tasa C/N, -- como elemento de control, donde actua como material orgánico de- gradable en la mezcla.

5.3.- Clasificación de los Sistemas de Composteo.

Las técnicas de composteo de residuos sólidos han sido modifica- das para el composteo de lodos.

Estas pueden ser clasificadas como :

- . Procesos abiertos (sistemas de no reactor).
- . Hileras.
- . Pilas estáticas aeradas.
- . Pila individual aerada.
- . Pila extendida aerada.
- . Procesos cerrados (sistemas de reactor) mecánicos.

La diferencia básica que se hace en ingeniería, es cuando el mate- rial de composteo se coloca en un reactor y cuando no se emplea -

un reactor para procesar el material . Los dos sistemas pueden - emplear equipo mecánico y pueden o no , estar bajo un techo pro - tector.

5.3.1.- Procesos Abiertos.

a).- Hileras Extendidas.

En este proceso la mezcla es amontonada a todo lo largo en filas paralelas. La sección transversal de las hileras puede ser trapezoidal, triangular o rectangular, dependiendo de las características del equipo usado para mezclado o movimiento de la pila y del material de composteo que es lo que le da forma.

Este proceso es normalmente operado en áreas abiertas, pero debe tenerse en cuenta que en zonas lluviosas es conveniente la protección de un techo para un mejor control en la operación. Por medio de la fuente de carbón o de lodos recirculados, se ajusta el contenido de sólidos a un 40 o 50%. En sistemas grandes, las pilas -- son movidas los primeros 5 días, dos o tres veces/día y posteriormente una vez por día durante 30 días aproximadamente. Se emplea para esto, equipo mecánico especializado, el cual mantiene condici - ciones aerobias por ventilación natural; este es un proceso relátivamente bajo en costos, por el rendimiento del equipo mecánico empleado, pero hay que analizar los costos de terreno, dependiendo de la zona y el uso del suelo.

La adición de la fuente de carbón al lodo se hace con el propósito de ajustar las condiciones para composteo del lodo y no con el propósito de compostar el material adicionado.

La técnica de composteo en hileras es el sistema más antiguo para composteo de lodos. El tiempo de composteo se encuentra en el rango de 20 a 40 días y del 60 a 70% de la materia orgánica se dirige durante el proceso (5).

La reacción aerobia proporciona el calor necesario para elevar la temperatura de las hileras, haciendo que el aire suba, produciendo un efecto de chimenea natural. La tasa de intercambio de aire puede ser regulado por medio del control de la porosidad en la mezcla y del tamaño de la hilera. Por medio del movimiento de las hileras se proporciona el oxígeno necesario para los microorganismos, pero hay que tener en cuenta que una alta concentración de oxígeno puede reducir la temperatura en las hileras y puede resultar inconveniente para el proceso.

Los tiempos para composteo por este sistema son de 3 a 4 semanas durante las diferentes estaciones del año, lo que equivale a incrementar la superficie para este proceso, hasta en un 25% con respecto a los métodos que se explican posteriormente, por el mayor tiempo necesario para llevar a cabo en forma adecuada la estabilización.

Las dimensiones de las pilas depende del patrón de alimentación

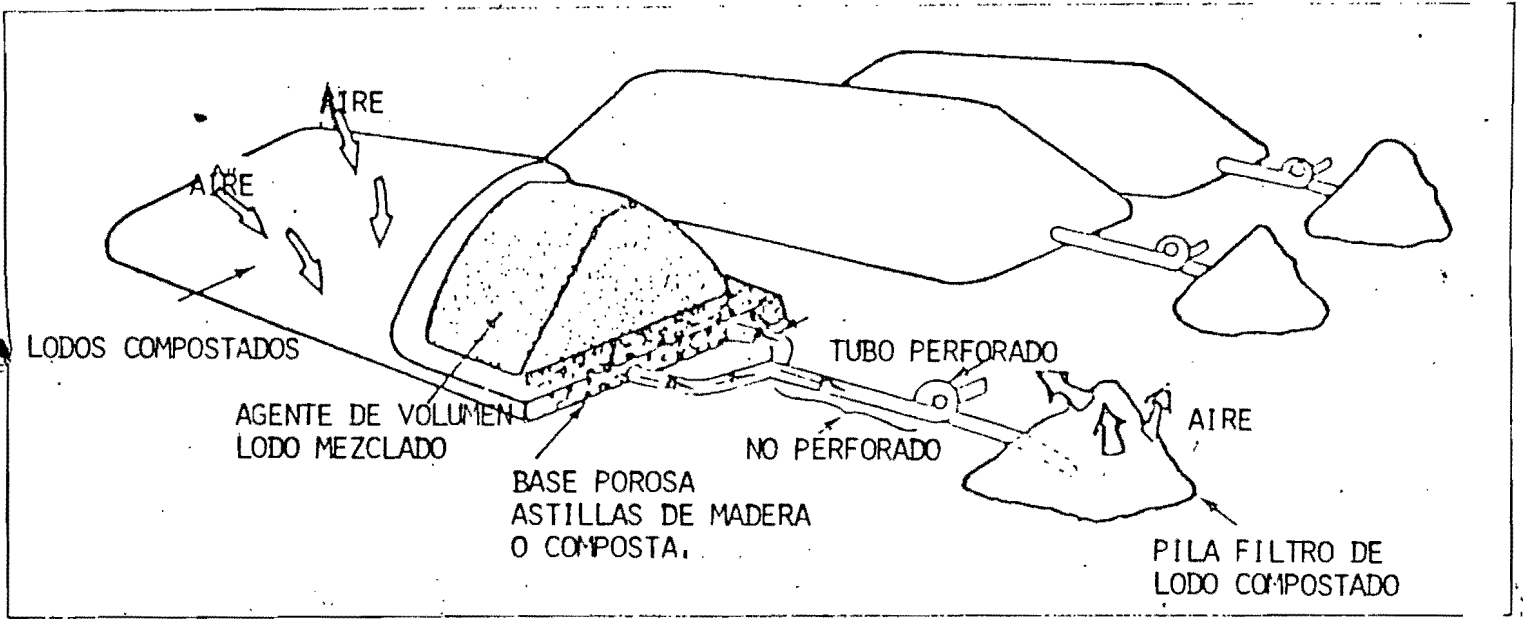
y la máquina usada en el movimiento de la mezcla. Un ancho típico es de 4.5 m. y una altura de 1 a 2 m. . Como un resultado del -- proceso de digestión biológica, las temperaturas en la parte central en la hilera llegan hasta 65°C, con temperatura de operación de aproximadamente 60°C, mantenidas en la porción central de la - hilera por un tiempo hasta de 10 días. La temperatura en la capa externa es más baja y puede ser semejante a la atmosférica.

Durante períodos húmedos y condiciones de invierno, la temperatura máxima es de 55 a 60°C . Es importante que se mantenga una --- temperatura alta a través de la pila, por un período de tiempo -- que logre la destrucción de los organismos patógenos. Se considera que se ha llegado a un nivel de estabilización satisfactorio - cuando hay reducción en la temperatura alrededor de 45 a 50°C.(5)

b).- Pila Estática Aerada.

Se desarrolló con el fin de eliminar las extensas áreas de terreno y otros problemas asociados con el proceso de composteo en hilera. Ha sido evaluado extensamente por el departamento de Agricultura de U.S. (USDA) por la estación experimental del servicio de investigaciones agrícolas en Beltsville, Md.

El método de aeración forzada difiere del proceso de hilera, en -- que no se mueve el material; las condiciones aerobias se producen por medio de aeración forzada en las pilas, lo que le proporciona



COMPOSTEO EN PILAS ESTÁTICA AERADA:

mayor flexibilidad durante la operación, un mayor control en el oxígeno y en las condiciones de temperatura en la pila, que por el método de hilera. Así, los tiempos de composteo tienden a ser menores y se pueden prevenir condiciones anaerobias, además el riesgo de olor se reduce.

Se han desarrollado dos métodos de pila estática aerada, pila aerada individual y pila aerada extendida.

b1 .- Pila aerada Individual.



DEPFI

Para evitar las inclemencias del tiempo, se hace una estructura con techo, sobre un piso de concreto con lo cual se logran disminuir problemas de operación. Otra diferencia es que el material compostado no es reciclado, como puede hacerse en el sistema de hilera. El lodo deshidratado es mezclado con un agente de volumen, como astillas de madera que actúan absorbiendo humedad y proporcionando porosidad al material.

Un tubo plástico perforado, de 10 a 15 cm. de diámetro, colocado sobre la base, orientado longitudinalmente y centrado con respecto a las partes altas de las pilas, es la parte básica del sistema de aeración sobre este tubo y el área que formará la pila, se colocan capas de 15 a 20 cm., de agente de volumen, donde esta base porosa facilita el movimiento y la distribución de aire

durante el composteo y absorbe humedad excesiva que de otro modo se puede condensar y drenar de la pila.

Con el fin de evitar cortos circuitos de aire, el tubo perforado se encuentra a 2 ó 3 metros dentro de la pila. Un tubo cerrado se extiende más allá de la base de la pila y se usa para conectar la extensión del tubo perforado al equipo de aeración. La pila se cubre completamente con una capa de material curado de 0.3 m. de composta tamizada ó 0.4 m. de composta no tamizada, que previene el escape de olores y proporciona aislamiento. El tamaño y la calidad de la fuente de carbón, deben ser controlados para mantener la porosidad y aeración a través de la pila y en la parte más alta de la misma. Una buena mezcla evita también los cortos circuitos.

El tiempo de retención en la pila aerada es aproximadamente de 21 días, después de los cuales la pila es desmantelada. El material seco permite que se separe el agente de volumen, siempre que sea necesario. Trozos de material degradable, usados como fuente de carbón pueden perderse por descomposición física o degradación, pasando por el separador con los lodos descompuestos, por lo tanto, es necesario un balance en la cantidad de material adicionado.

El lodo no estabilizado, puede generar olores durante la descar-

ga y construcción inicial de la pila. El acondicionamiento con cal durante la deshidratación reduce estos problemas de olor. El tubo no perforado es conectado a un aparato y de aëración que mediante un controlador de tiempo, se mantiene 5 minutos prendido y 15 apagado con un soplador que proporcione 158 Lts. de aire/s, lo cual se logra con una potencia de 1/3 H.p. para una pila de 17 m. de largo y que contiene 73 toneladas de lodo húmedo. (1)

El efluente de aire de la pila de composta, se pasa a una pila filtro de composta en forma de cono de 1.2 m. de alto y 2.5 m. de diámetro, donde se absorben gases malolientes (3). Si el contenido de humedad es mayor de 50%, la capacidad de retención de olor se inhibe. La pila filtro de olor debe contener 0.76 m³. de composta tamizada por cada 36 toneladas secas de lodo, en la pila de composta. Se hacen de unos 10 cm., de capa base de astillas de madera para prevenir alturas de contra presión sobre el equipo de aire.

Las necesidades de área son estimadas en 1.0 Ha/6.7 - 11.2 toneladas secas de lodos tratado (3)

La proporción necesaria de lodos y fuente de carbón se encuentra en un rango de 1:2 a 1:3 sobre base volumétrica.

b2.- Pilas Aeradas Extendidas.

Para hacer más efectivo el uso del espacio disponible, se ha desa

rrollado otra configuración de pila estática aerada. Una pila --- inicial se construye con una sección transversal triangular, utilizando una producción de lodos diarios. Solo un lado de la pila -- queda descubierto; la parte superior de esta pila es cubierta con material curado o composta tamizada, el lado que queda descubier_ to se cubre con 0.5 cm. de composta en la noche para control de -- olor.

Las necesidades de área de un sistema de pila extendida son aproxi_ madamente 50% menos que para pilas aeradas individuales. Se colo_ ca aproximadamente 0.5 cm. de composta para un control de olor en el lado que queda descubierto en la noche y al otro día se coloca un tubo de aeración adicional. El lecho de la pila es extendido - para cubrir el tubo con más mezcla para formar una pila extendida_ continúa, este proceso es repetido diariamente por 28 días.

La primera sección es removida después de 21 días. Después 7 ---- secciones son removidas en secuencia, si hay suficiente espacio -- para operación de equipo una nueva pila extendida puede ser comen_ zada.

La cantidad de agentes de volumen reciclado, necesario para cubrir la pila y el agente de volumen usado en la construcción de la base es también reducido en un 50% aproximadamente. La mayoría de los sistemas de composteo se desarrollan con base en la técnica de pi_ la aerada.

Las técnicas de pila aerada exponen el lodo a una temperatura más uniforme. Los costos de inversión son menores, pero los costos de operación tienden a ser mayores, esto se evita si la fuente de carbón es un residuo.

Cuando las astillas de madera se mezclan con lodos no estabilizados resulta una volatilidad promedio de $\approx 75\%$, se aceptan valores mayores de 40 a 50%. (1)

El contenido de volatilidad no es un factor limitante en composteo de pilas aeradas como lo puede ser en el sistema de hilera. El sistema de pila aerada es conveniente bajo condiciones climáticas difíciles, para un mejor control de olor.

5.3.2.- Procesos Mecánicos o Cerrados de Composteo.

El proceso mecánico es un término generalmente usado para describir el desarrollo del composteo en la unidad encerrada (mecánica), que proporciona mejor control de los factores ambientales. Algunos de estos sistemas mecánicos están disponibles en el mercado.

Los principios básicos de esta variación del sistema son similares a los demás. La mayor diferencia en los sistemas mecánicos son los métodos de control del proceso mecánico de aeración. En

algunos sistemas, un volteo o movimiento constante se usa para -- proporcionar la aeración.

Si la acción de movimiento es más frecuente que en la técnica de hileras, la necesidad de un material poroso puede disminuir un - poco. A menudo es necesario el uso de paletas mezcladoras y --- aeración forzada constante para mantener las condiciones aero -- bias. Cuando hay reciclaje de composta el contenido de humedad_ se controla mejor, así como las tasas de incremento en la reac - ción.

Són diseñados también, para minimizar olores y tiempos en el pro - ceso por el mismo control de las condiciones ambientales, tales como flujo de aire , temperatura y concentración de oxígeno. El movimiento de la composta en un cilindro rotatorio es otro sis - tema de aeración . En algunos sistemas se pueden introducir -- calor a la masa de composta , para sostener la reacción conti - nua a la tasa óptima durante un tiempo más corto.

Aunque se tienen tiempos de retención más cortos, específicos - para el equipo manufacturado para composteo mecánico, no se con - sigue una estabilización adecuada del lodo, lo que exige 2 a 3 meses de maduración para reducir la materia volátil remanente.

5.4. Criterios de Diseño.

Los principales criterios a considerar en el diseño de cualquiera de los sistemas de composteo, dependen de las características --- iniciales, tanto del lodo como de la fuente de carbón, como son: la porosidad, el contenido de materia orgánica degradable por --- composteo y la humedad, de la cual depende la estabilidad estruc--- tural de la mezcla, lo que permite que las reacciones de oxidación de la materia orgánica se lleven a cabo y se eleve la temperatura, la cual destruye organismos patógenos y proporciona el secado necesario del producto compostado.

a).- Còntrol de humedad.

Mantener un balance apropiado de la humedad en el lodo, es un fac--- tor crítico en el diseño de cualquiera de los sistemas de compos--- teo, la fuente adicional de carbón que actua como un cuerpo poro--- so que absorbe humedad, contribuye consecuentemente a reducir los altos costos de deshidratación de los lodos biológicos.

La fuente de carbón se puede usar con reciclaje del producto ---- compostado y sin él, donde la fuente de carbón ideal debe estar --- seca, para un mejor control de la humedad.

El menor contenido de humedad al cual la actividad bacteriana toma

lugar, se encuentra en el rango de 12 a 15%; es normal que una humedad menor del 40% pueda limitar la tasa de descomposición, así como una humedad mayor de 60% hace perder la estabilidad estructural necesaria. El contenido de humedad óptimo se encuentra en el rango de 50 a 60%. (5)

b).- Temperatura.

El contenido de humedad, las tasas de aeración, el tamaño, forma y tipo de composteo, así como las condiciones atmosféricas y la presencia de nutrientes afectan la distribución de temperatura en el proceso.

Un bajo contenido de humedad disminuye la tasa de actividad microbial y por lo tanto, no se obtienen las temperaturas necesarias para la inactivación de organismos patógenos en la mezcla lodo-fuente de carbón.

Para una mayor eficiencia en la operación se recomienda un rango de 55 a 65°C pero nunca superior a 80°C

c).- pH.

El pH varía en los diferentes puntos de la pila, así como durante el tiempo de operación. El rango óptimo de pH, para el crecimiento de la mayoría de bacterias se encuentra entre 6 y 7.5

y para los hongos entre 5.5 y 8.0 .

Un pH alto en el lodo a compostar, resulta del uso de calempleada en la deshidratación y ocasiona que el nitrógeno se solubilice y de esta forma contribuya a la pérdida de nitrógeno por volatilización del amoniaco.

Es difícil cambiar el pH en la pila buscando un mayor crecimiento biológico, además no se ha encontrado que sea un control de operación efectivo.

d).- Suministro de Oxígeno.

La concentración de oxígeno óptima, se debe mantener entre 5 y 15% (1), (5), esto se consigue con una tasa de aeración aproximada de 1.56 m³/hr/ton. de lodo seco (1), más de 15% disminuye la temperatura necesaria para el proceso. En general un mínimo de 5% de oxígeno se necesita para mantener condiciones aerobias en el sistema.

Cuando el sistema de aeración se encuentra apagado se da el efecto natural de chimenea del aire, el cual causa calentamiento -- destruyendo organismos patógenos más efectivamente.

Cuando se acumula suficiente condensado de la pila, puede drenarse por medio de una trampa de agua en el tubo de aeración, cuando

se usa el sistema de composteo en pilas estáticas aeradas.

Este condensado debe ser colectado y tratado junto con la precipitación contaminada del sitio, ya que puede ser una fuente de olor, si se acumula en charcos alrededor de las pilas.

La cantidad de líquidos condensado de la pila puede variar de 22 - a 75 l/día por pila con un contenido de 38 m³ de lodos, esto durante el tiempo seco.

Para tener mayor seguridad de que el proceso de composteo está funcionando adecuadamente, se debe monitorear constantemente la temperatura y el contenido de oxígeno en la pila, cuatro puntos de monitoreo en la operación de las pilas, se presentan en la fig. No. 33.

e).- Relación C/N Carbón Nitrógeno.

La degradación de la mezcla se puede controlar por medio de la adición de materiales, que contienen alta concentración de compuestos orgánicos como es la fuente de carbón.

Otra relación que se puede controlar con la adición de una fuente de carbón, es la tasa de carbón a nitrógeno (C/N), la cual es muy importante como tasa limitante ya que ayuda a optimizar el proceso.

Los microorganismos usan 30 partes por peso de carbón (C), por cada parte de nitrógeno (N), por lo que esta es la tasa más apropiada para optimizar el proceso y tasas C/N entre 25 y 35 proporcionan las mejores condiciones en los sistemas de composteo.

El carbón y el nitrógeno son necesarios como fuentes de energía para el crecimiento de organismos.

Menores tasas de C/N, aumentan la pérdida de N, ya que se volatiliza como amoníaco.

El carbón considerado en esta razón C/N es carbón biodegradable. A menores razones de C/N aumenta la pérdida de nitrógeno por volatilización como amoníaco y mayores valores de esta razón C/N conducen a un proceso, con tiempos progresivamente mayores dado que el nitrógeno viene a limitar la tasa de crecimiento.

No se ha encontrado que otros micro-nutrientes o nutrientes traza sean limitantes en el proceso.

Lodos con altos contenidos de nitrógeno, son mejores para procesos de digestión que adicionan fuente de carbón. La humedad necesaria no se consigue ordinariamente con equipo de deshidratación convencional.

5.5.- Investigaciones Realizadas en Estados Unidos y Europa.

Investigaciones Realizadas en Estados Unidos.

Los 4 casos estudiados envuelven el Distrito Sanitario del condado de los Angeles, California; Beltsville, Maryland; Bangor, Maine y Durham, New Hampshire.

El sistema de los Angeles maneja de 73 a 109 toneladas secas por día, Beltsville composta aproximadamente 12.6 toneladas secas por día, Bangor aproximadamente 1.8 toneladas secas por día y Durham 2.7 toneladas secas por día aproximadamente.

a).- Planta de Control de Contaminación de Agua Joint, Carson, -- California.

En California fué establecido un sistema de composteo en hilera a gran escala en 1974. Esa planta composta de 364 a 545 toneladas húmedas por día, de lodos primarios, acondicionados con polímeros, deshidratados por centrifugación y digeridos anaeróbicamente, con un 25% de contenido de sólidos. Estos lodos deshidratados se cargan en máquinas de 13.5 toneladas, adicionándoles 11 m³ de composta tratada; se mezclan posteriormente para ser arreglados en hileras, las cuales son formadas con 8 ó 10 cargas de material.

Las hileras tienen 0.9 m. de alto, 3.0 m. de ancho y 451 metros de longitud y son colocadas sobre 14.6 m. 16.5 m. del centro, dejando un claro para el movimiento de la máquina. Las hileras, --

inicialmente se mueve 2 veces por día para mezclar los lodos húmedos con la composta seca. Después se mueven una vez por día para mantener la porosidad necesaria y para que el aire pase en forma natural, lo cual ayuda a secar la mezcla. En la primera parte del ciclo se pueden producir olores y se pueden generar partículas bajo condiciones de vientos moderados. Con un tiempo de composteo de 3 semanas, se necesitan 10 horas de máquina para mover las pilas diariamente, durante 7 días a la semana y empleando 20 personas entre operadores y mecánicos.

La composta como acondicionador orgánico de suelo es una buena alternativa manejada a gran escala.

b).- Beltsville , Maryland.

En esta planta las hileras se formaron combinando lodos primarios y secundarios deshidratados y colocando sobre las mismas una capa de 0.03 m. de material tamizado o composta final.

Cada pila contiene 54 toneladas de lodos húmedos y astillas de madera, con una altura de 2.5 m. aproximadamente, 3.6 m. de ancho y 23 m. de largo.

El material compostado se remueve de la pila después de 21 días y la composta curada todavía húmeda, para tamizar se coloca en hileras y se remueve tan frecuente como sea posible por 2 ó 3 días y -

esto le da el secado suficiente.

El método de pila aerada individual fue desarrollado por los investigadores en Beltsville, para eliminar problemas de olores asociados con el proceso de hilera. Los programas de investigación de - mostrarón que tanto los lodos digeridos como los no digeridos pueden ser compostados en pilas aeradas; la destrucción de organismos patógenos fué mayor por este método que con el de hilera. El método de pila aerada extendida fue también desarrollado en Beltsville para minimizar necesidades de terreno. El proceso de pila estática aerada extendida; es usado en forma continua operando 5 días -- por semana para compostar, 60 a 120 toneladas húmedas por día, de lodos no estabilizados, deshidratados (aproximadamente 20 a 22% -- de sólidos). El lodo es acondicionado con cal y cloruro férrico , es manejado en la noche en cargadores de 20 toneladas, dependiendo del material a compostar, 3 a 6 máquinas lo transportan en la mañana.

En las pilas extendidas el lodo es descargado de una vez, lo que - facilita la construcción, sobre una base de concreto de aproximadamente 30 m. de extensión y 122 m. de largo, es colocado sobre las astillas de madera y mezclado en una proporción volúmetrica de --- 2.5:1 (lodo-fuente de carbón).

Se prepara el sistema de aeración sobre la base de concreto y se cubre con 0.3 m. de capas de astilla de madera, la mezcla se api-

la a 2.5 m. y el final es una capa de 0.5 m. de composta no tamizada y 0.03 m. de material tamizado o composta.

Se estan haciendo nuevas investigaciones sobre el método con pilas altas con aeración extendida que reducen el área de terreno -- por aumento de la altura de la pila a 5.5 m.

Los tubos de aeración se instalan en 3 elevaciones en la pila, -- uno en la base otro a 2 m. y otro a 4 m. de la base. Los que se encuentran en la base y a 4 m. de altura operan a presión negativa y el tubo a 2 m. de nivel opera a presión positiva.

Los ensayos buscan determinar la altura máxima a la que la pila puede construirse y tener una aeración efectiva, con tubos colocados sobre la base.

El material compostado es usado por USDA, centro de investigación agrícola para diferentes programas de ensayo.

c).- Bangor, Maine.

Las operaciones de composteo empezaron en agosto de 1975.

Los lodos se obtienen de una planta que trata un flujo promedio de aguas negras de 307 l/s que recibe solo tratamiento primario.

La planta produce 2268 ton. húmedas por año de lodos acondicionados con cal, deshidratados con filtros al vacío, con un contenido de sólidos promedio de 20%. El lugar de la planta de composteo está a 4.8 Km. de la planta de tratamiento de aguas.

Inicialmente el lodo se coloca sobre un lecho de corteza de madera, la mezcla es colocada directamente sobre el piso y los tubos de aeración. Generalmente una pila de composta se contruye por semana y consiste de 30 a 46 m³ de lodos primarios y secundarios, mezclados en una proporción de 1:2.5 con aproximadamente 91 a 137 m³ de fuente de carbón (cascara de madera con menos de 50% de contenido de humedad).

El área total de composteo para 2280 m³/año de lodos deshidratados con un 20% de sólidos es 0.7 ha. La precipitación, aguas residuales y condensados de la operación de composteo son canalizados al drenaje sanitario. Se ha usado también composta no tamizada como agente de volumen en las pilas. Esto ha reducido las necesidades de material de volumen, (fuente de carbón).

Las pilas de composta son construidas tan altas como el cargador sea capaz con 0.3 a 0.6 m. de composta no tamizada al final.

Durante el invierno el calor se trata de conservar para elevar la temperatura en la pila, suministrando menor cantidad de oxígeno.

Las pilas son compostadas por un período mínimo de 21 días. Las temperaturas y los niveles de oxígeno son monitoreados cada 2 a 5 días durante el ciclo de composteo. El ciclo de la operación de ventilación es ajustada de acuerdo al funcionamiento de la pila.

d).- Durham, New Hampshire.

Proporciona tratamiento primario a 44 L/s de aguas negras y esto representa 13.6 toneladas húmedas de lodos primarios deshidratados, no estabilizados, (20% de sólidos) por semana.

El composteo y las operaciones externas se hacen sobre una base de concreto que se limpia fácilmente. La base inclinada permite la recolección de aguas de las pilas de composteo. El agua de desecho es reciclada a la planta de tratamiento para proporcionar protección a los terrenos y corrientes del contorno. La base es de 76 x 46 m. y es lo suficientemente espaciosa para una buena operación de tamizado.

Los tubos de aeración son colocados en canales triangulares a 15-cm. de profundidad que son construidos por debajo de la base de la superficie y cubiertos con una rejilla de aluminio emparejada con el piso, colocando el tubo se rellena los espacios con astillas de madera. Estas astillas de madera serán cambiadas cuando

sea necesario, pero el tubo se usará por un largo período de tiempo. La mezcla de astillas de madera y lodos se coloca directamente sobre el concreto base o sea las rejillas sin ninguna base de astillas de madera.

A 4 pies a los largo de la orilla se construirá un tabique de retención con respecto al área de composteo. Este tabique se construye para proteger los ventiladores que se localizan sobre el lugar fuera de la operación de compostado y para proporcionar una valla para operaciones de cargado en el frente.

La construcción del proceso de la planta de tratamiento secundario será colocado adyacente a la base de composteo. Se mezclan los lodos primarios y lodos activados antes de la deshidratación por filtración al vacío para proporcionar mayor consistencia de operación.

La composta se deposita sobre un tanque para almacenamiento y curado. Este tendrá suficiente capacidad para almacenamiento de toda la producción durante los meses de invierno cuando no se esta distribuyendo. El tanque será descargado después de que el lodo es curado por un tiempo aproximado de 4 semanas.

Investigaciones Realizadas en Europa.

Los 7 países de Europa que estudian los sistemas de composteo de

lodos de aguas negras son: Alemania Occidental el más importante centro de investigaciones con más de 30 plantas operando, Suecia sigue con 20 las cuales están en operación y algunas en planeación y diseño ó construcción, Suiza tiene 9, Francia 5, el Reino Unido tiene 1, Italia y los países bajos no tienen ninguna. Estos sistemas se localizan en las plantas de tratamiento de aguas negras y los lodos se mezclan con residuos sólidos municipales (basura). Los sistemas de composteo diseñados para lodos solos son pocos.

Las experiencias en Europa han sido básicamente con sistemas mecánicos, principalmente con el fin de tratar de minimizar las necesidades de área. Numerosos ensayos se han desarrollado de 1930 hasta el presente y dados los problemas de olores se han descartado los demás sistemas.

En los últimos 3 a 5 años, en la República Federal de Alemania las 30 plantas en operación manejan el lodo de una población de 800.000 habitantes, esto sirve de punto de comparación con la operación por medio de hileras en los Angeles y las pilas estáticas de aerados en Washington que tienen una capacidad igual o mayor que para 800.000 habitantes.

Un programa de investigación se esta desarrollando por la Umweltbundesamt de Alemania para determinar si estos procesos

realmente producen un producto libre de parásitos patógenos. En algunas muestras se han encontrado organismos patógenos.

5.6.- Ecuaciones Básicas de Ingeniería de Composteo.

Control de humedad.

La cantidad de material compostado que se debe reciclar o la adición de fuente de carbón que entra en un proceso de composteo, se determina del balance de masa visto en el cuadro No. 5 .

Los sólidos secos producidos por día son: $S_c X_c$ y los sólidos se -
cos reciclados en el producto de composta son: $S_r X_r$

Un balance de masa de la producción de sólidos húmedos totales, -
sin fuente adicional de carbón.

$$X_c + X_r = X_m \quad (1)$$

$$X_c + X_a = X_m$$

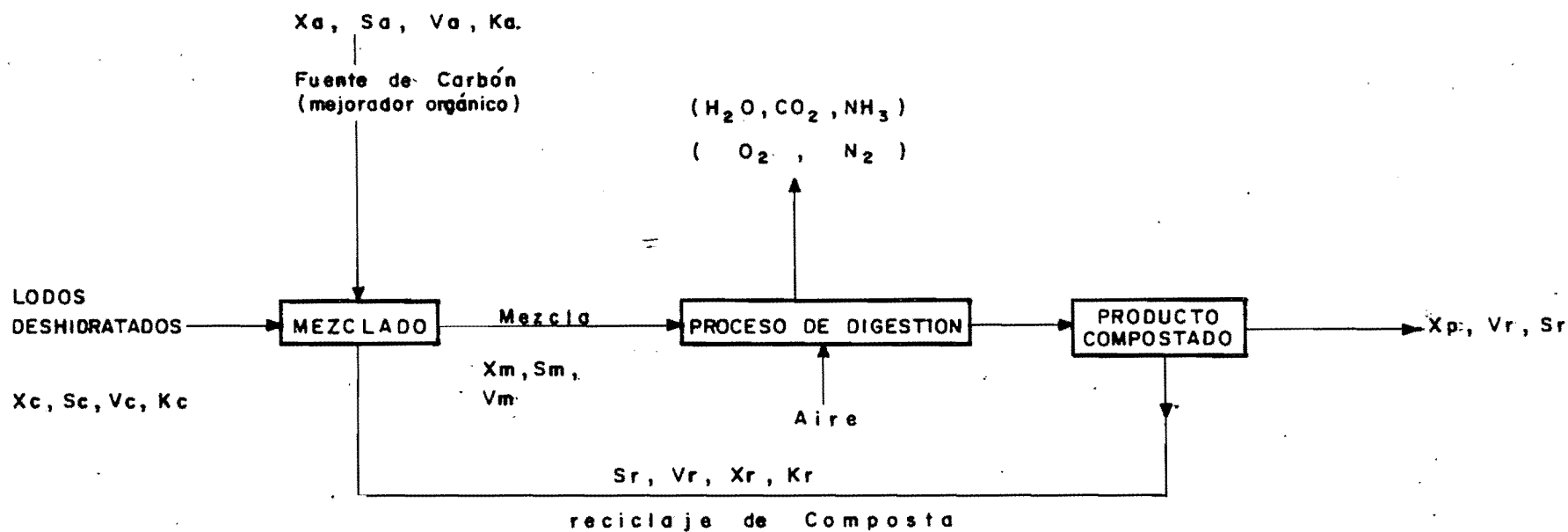
En forma similar, el balance de masa de la producción de sólidos se -
secos totales.

$$S_c X_c + S_r X_r = S_m X_m \quad (2)$$

Sustituyendo 1 en 2

$$S_c X_c + S_r X_r = S_m (X_c + X_r) \quad (3)$$

ESQUEMA GENERALIZADO DEL PROCESO DE DIGESTION DE LODOS CON FUENTE ADICIONAL DE CARBON



LA FUENTE DE CARBON IDEAL DEBE ESTAR SECA, Y TENER UN PESO VOLUMETRICO BAJO.

Diagrama del Balance de Masa (10)

CUADRO No. 5

La nomenclatura usada en la figura de balance de masa, es la siguiente: (Ver cuadro No. 5).

- Xc = Peso húmedo total de lodos deshidratados/día.
- Xp = Peso húmedo total de composta/día.
- Xr = Peso húmedo total de composta reciclada por día.
- Xa = Peso húmedo total de material orgánico (fuente de carbón), adicionada a la mezcla por día.
- Xm = Peso húmedo total del material mezclado/por día.
- Sc = Fracción del contenido de sólidos en los lodos deshidratados.
- Sr = Fracción del contenido de sólidos en la composta reciclada. (0.6 a 0.75)
- Sa = Fracción del contenido de sólidos en la fuente de carbón (0.5 a 0.95)
- Sm = Fracción del contenido de sólidos en la mezcla (0.4 a 0.5)
- Vc = Contenido de sólidos volátiles en los lodos deshidratados fracción de sólidos seco. (0.4 a 0.6 digeridos) (0.6 a 0.8 crudos).
- Va = Contenido de sólidos volátiles en la fuente de carbón; -- fracción de sólidos secos (0.8 a 0.95).
- Vm = Contenido de sólidos volátiles en la mezcla, fracción, de sólidos secos (0.4 a 0.8).
- Vr = Contenido de sólidos volátiles en la composta reciclada , fracción de sólidos secos (0.0 a 0.9).
- Kc = Fracción de sólidos volátiles degradables bajo condiciones de composteo.
- Ka = Fracción de sólidos volátiles la fuente de carbón degradables bajo condiciones de composteo (0.4 a 0.6).
- Kr = Fracción de sólidos volátiles en el reciclaje bajo condiciones de composteo (0 a 0.20).
- Km = Fracción de sólidos volátiles en la mezcla bajo condiciones de composteo (0.2 a 0.6).

Rw = Tasa de reciclaje basado en el peso humedo total de composta-reciclada, a peso humedo total de lodos deshidratados.

$$Rw = \frac{Xr}{Xc} \quad (4)$$

Sustituyendo en la ecuación 3 y reárréglando la producción.

$$Rw = \frac{Sm - Sc}{Sr - Sm} \quad (5)$$

Rd es la tasa de reciclaje basada en el peso seco de composta reciclada a peso seco de lodos deshidratados.

$$Rd = \frac{SrXr}{ScXc} \quad (6)$$

Sustituyendo la expresión para Rd en la ecuación 3 y reárréglando -- la producción.

$$Rd = \frac{\frac{Sm}{Sc} - 1}{-1 \frac{Sm}{Sr}} \quad (7)$$

Las ecuaciones 5 y 7 limitadas a sólidos deshidratados a una concentración aproximada de 10%, pueden ser usadas para calcular la tasa de reciclaje necesaria sobre una base en peso total ó seco -- como una función de (Sc) , (Sr), (Sm).

Se asumió un Sm = 0.4 (Fracción del contenido de sólidos en la mezcla (Ver figura N°s. 20 y 21).

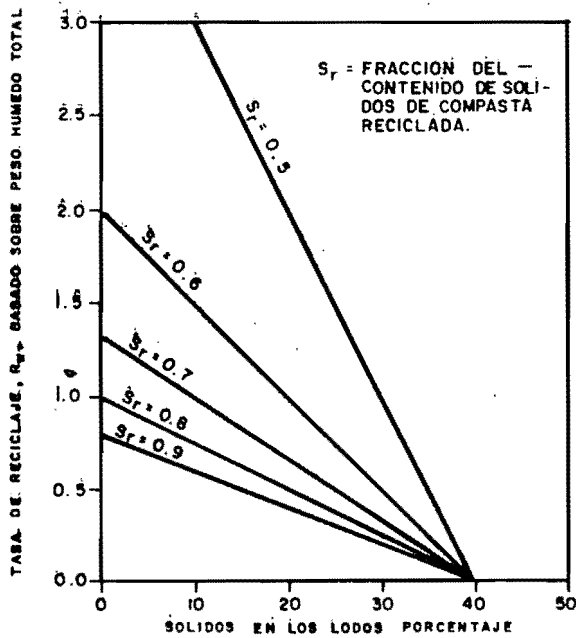


FIGURA No. 20. - EFECTO DEL CONTENIDO DE SOLIDOS EN LOS LODOS DESHIDRATADOS SOBRE LA TASA DE RECICLAJE (PESO-HUMEDO) NECESARIO PARA LOGRAR UN CONTENIDO DE SOLIDO EN LA MEZCLA DE 40 %

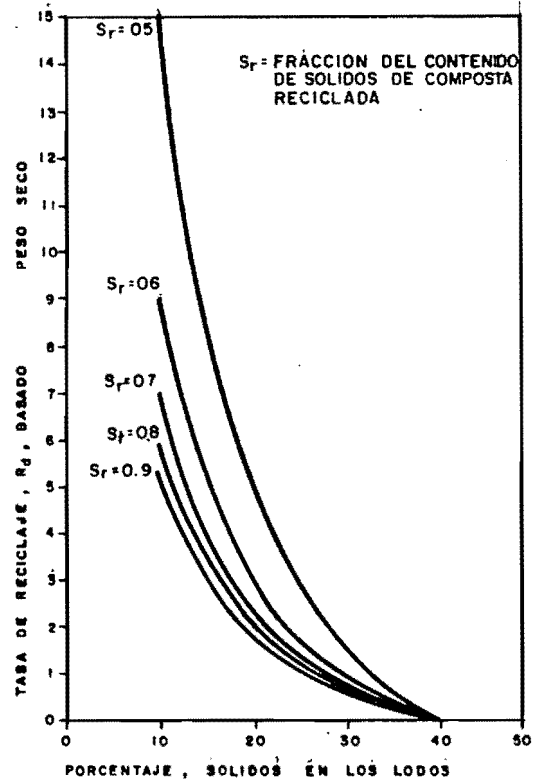


FIGURA No. 21. - EFECTO DEL CONTENIDO DE SOLIDOS EN LOS LODOS DESHIDRATADOS, SOBRE LA TASA DE RECICLAJE (PESO-SECO) NECESARIO PARA LOGRAR UN CONTENIDO DE SOLIDOS EN LA MEZCLA DE 40 %

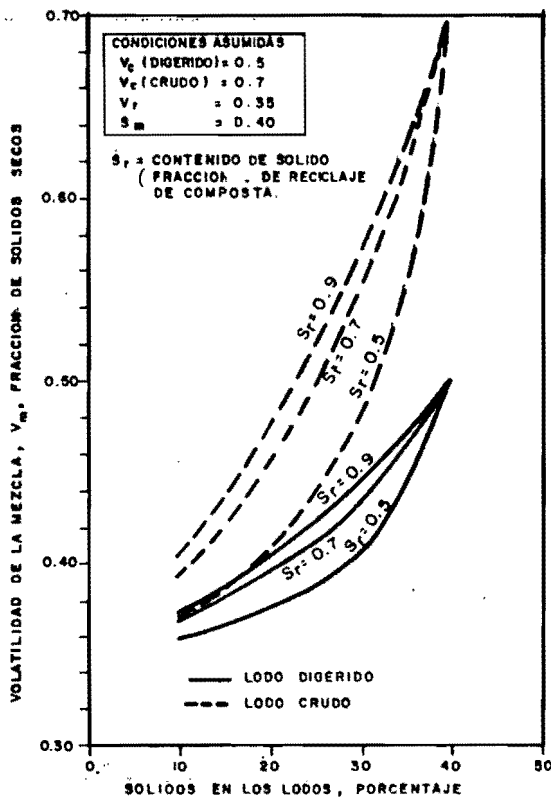


FIGURA No. 22. - EFECTO DEL CONTENIDO DE SOLIDOS EN LOS LODOS, SOBRE VOLATILIDAD DE LA MEZCLA DE LODOS Y COMPOSTA RECICLADA.

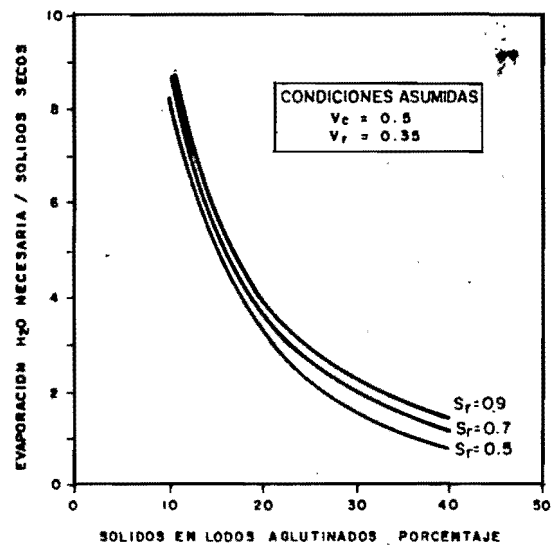


FIGURA No. 23. - EFECTO DE LOS SOLIDOS EN LOS LODOS Y LOS SOLIDOS EN LA COMPOSTA, SOBRE LA EVAPORACION DE HUMEDAD NECESARIA.

Control de Sólidos Volátiles.

Sólidos volátiles en el lodo deshidratado.

$$V_c S_c X_c + V_r S_r X_r = V_m S_m X_m$$

Substituyendo 1 y 5 y resolviendo para V_m se obtiene:

$$V_m = \frac{V_c S_c + V_r S_r R_w}{S_m (1 + R_w)} \quad (8)$$

En forma similar, la ecuación desarrollada con base en la tasa de peso seco, R_d .

$$V_m = \frac{V_c + V_r R_d}{1 + R_d} \quad (9)$$

(Ver figura No. 22).

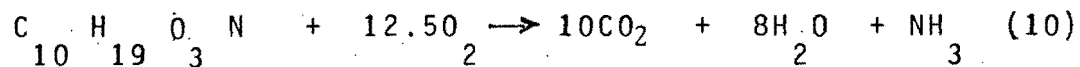
Aeración y Secado.

Este quiometría (Oxígeno necesario).

La fracción de la materia orgánica que se degrada durante el composteo debe ser determinada en laboratorio (medidas de campo).

La composición aproximada de la materia orgánica en el lodo es -

$C_{10} H_{19} O_3 N$ y el oxígeno estequiométrico necesario es:



2.0 g. de O_2 se necesitan por gr. de material orgánico oxidado.

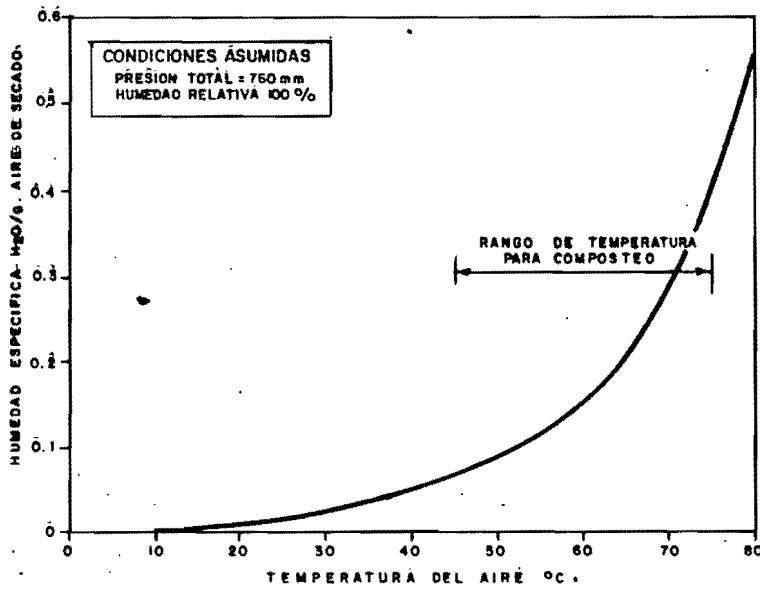


FIG. Nº 24 EFECTO DE LA TEMPERATURA DEL AIRE SOBRE LA HUMEDAD ESPECIFICA A 100% DE HUMEDAD RELATIVA Y A UNA PRESION TOTAL DE 760 mmHg

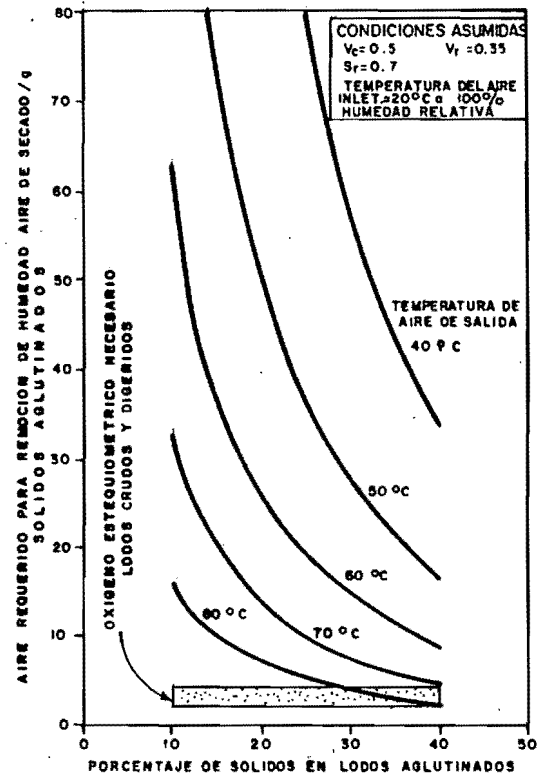


FIG. Nº 25 EFECTO DE LOS SOLIDOS EN LOS LODOS Y LA TEMPERATURA DEL AIRE DE SALIDA, SOBRE LA NECESIDAD DE AIRE PARA REMOCION DE HUMEDAD, PARA UN CONTENIDO DE SOLIDOS EN LA COMPOSTA DE 70%

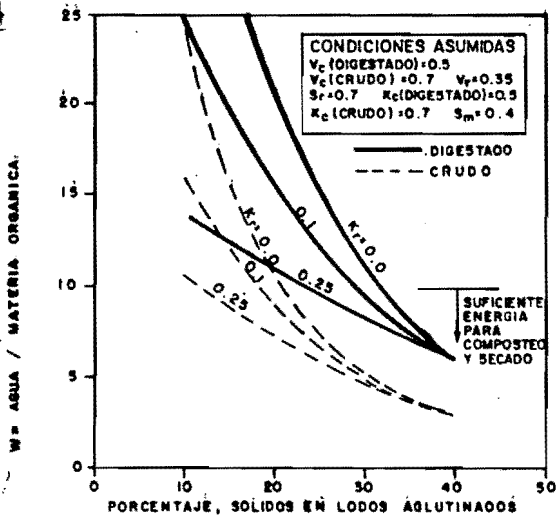


FIG. Nº 26 EFECTO DEL CONTENIDO DE SOLIDOS SOBRE LA TASA DE AGUA A MATERIA ORGANICA

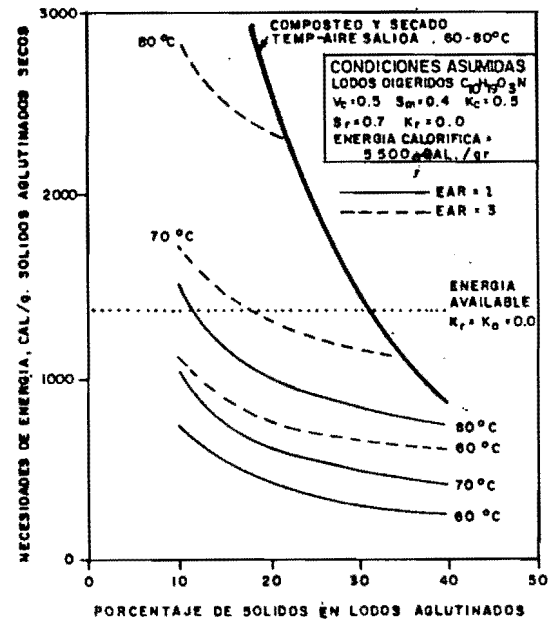


FIG. Nº 27 EFECTO DEL CONTENIDO DE SOLIDOS SOBRE LA ENERGIA NECESARIA PARA LODO CRUDO BAJO VARIAS CONDICIONES DE TEMPERATURA DE AIRE DE SALIDA Y DE PARTES AIREAS

El rango puede variar entre 1.0 y 3.0 g. O₂ / gr de material orgánico (celulosa-hidrocarbónos saturados).

Debido a las altas temperaturas y pH arriba de 7, el amoniaco -- se volatiza y no es necesario considerar un suplemento de oxígeno debido a la nitrificación.

Aire de Secado.

Balance de masa sin una fuente adicional de carbón.

Cantidad de agua evaporada diariamente.

$$H_2O = (X_c - S_c X_c) - (X_p - S_r X_p) \quad (11)$$

Balance de masa sobre la fracción inorgánica.

$$(1 - V_c) S_c X_c = (1 - V_r) S_r X_p \quad (12)$$

Resolviendo la ecuación 12, para X_p y sustituyendo en la ecuación 11 rearreglando se obtiene:

$$\frac{\Delta H_2O}{S_c X_c} = \left(\frac{1 - S_c}{S_c} \right) - \left(\frac{1 - V_c}{1 - V_r} \right) \left(\frac{1 - S_r}{S_r} \right) \quad (13)$$

Ver figura No. 23.

La cantidad de vapor de agua que se elimina por medio del aire -- saturado a diferentes temperaturas se puede determinar de la figura No. 24. En la figura No. 25 se muestran los resultados de los datos contenidos en las figuras Nos. 23 y 24, así como el rango necesario de aire estequiométrico para oxidación biológica de los lodos crudos y digeridos. El aire necesario para secado es mayor si se compara con la necesidad de aire para oxidación, ----

ambos son afectados por la concentración de sólidos y la temperatura de aire de salida, si se tiene una concentración de sólidos de 30 a 40% y una temperatura del aire saliente de 70°C la necesidad de aire para secado y oxidación es aproximadamente igual; en cambio teniendo una concentración de sólidos de 20%, el aire necesario para secado, puede ser de 10 a 30 veces mayor con respecto al necesario para oxidación.

El suplemento de aire necesario para el sistema de pila aerada, se puede regular por monitoreo directo de oxígeno contenido en el interior de la pila y el aire necesario puede ser ligeramente mayor que el estequiométrico. El aire necesario se puede limitar al --- estequiométrico en los primeros días de composteo consiguiendo elevar la temperatura y una mayor destrucción de organismos patógenos aumentando posteriormente el aire para remoción de humedad.

Termodinámica del Composteo.

Peso de agua en la mezcla.

Peso del agua es:

$$(X_c - S_c X_c) + (X_r - S_r X_r) + (X_a - S_a X_a) \quad (14)$$

La cantidad de materia orgánica degradable en la mezcla es :

$$X_c V_c S_c X_c + K_r V_r S_r X_r + K_a V_a S_a X_a \quad (15)$$

K_c, K_r coeficiente de degradación.

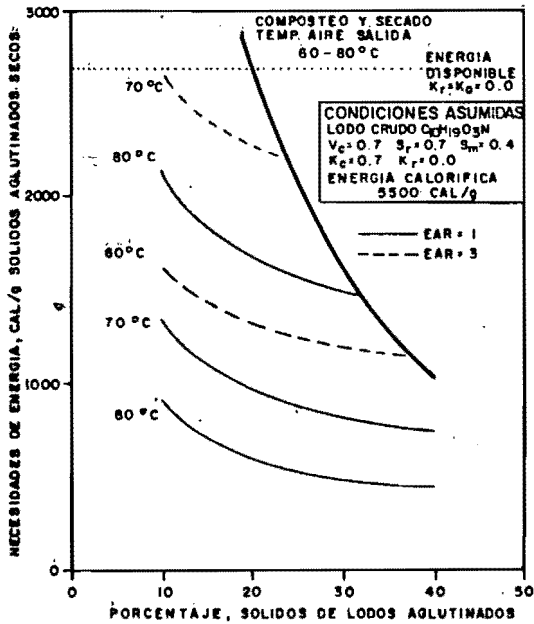


FIGURA No. 28.- EFECTO DEL CONTENIDO DE SOLIDOS SOBRE LA ENERGIA NECESARIA PARA COMPOSTEO PARA LODOS DIGERIDOS BAJO VARIAS CONDICIONES DE TEMPERATURA DEL AIRE DE SALIDA Y TASA DE EXCESO DE AIRE.

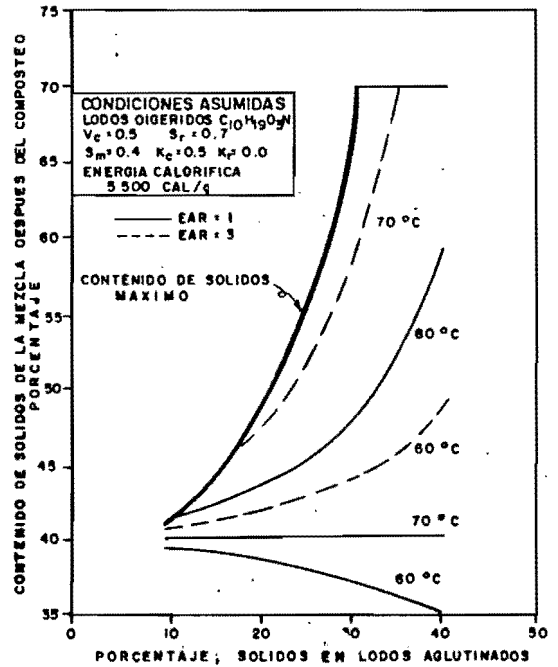


FIGURA No. 29.- EFECTO DEL CONTENIDO DE SOLIDOS SOBRE EL CONTENIDO DE SOLIDOS EN LA MEZCLA DESPUES DEL COMPOSTEO DE LODOS DIGERIDOS BAJO VARIAS CONDICIONES DE TEMPERATURA DE SALIDA DE AIRE (EAR) RECICLAJE DE COMPOSTEO FUENTE DE CARBON SE ADICIONA PARA LOGRAR UNA HUMEDAD INICIAL DE 40 %

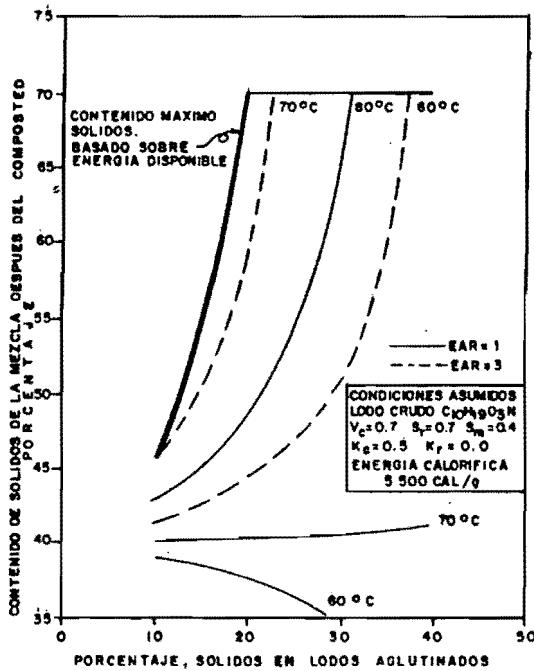


FIGURA No. 30.- EFECTO DEL CONTENIDO DE SOLIDOS SOBRE EL CONTENIDO DE SOLIDOS EN LA MEZCLA DESPUES DEL COMPOSTEO DE LODO CRUDO, BAJO DIFERENTES CONDICIONES DE TEMPERATURA DEL AIRE DE SALIDA Y LA TASA DE EXCESO DE AIRE (EAR) RECICLAJE DE COMPOSTEO FUENTE DE CARBON SE ADICIONA PARA LOGRAR UNA HUMEDAD INICIAL DE 40 %

La tasa de agua a materia orgánica es w.

$$w = \frac{\text{Peso del agua}}{\text{Peso de la materia orgánica degradable.}}$$

w se define con base en el contenido de agua y resulta lógico ya que la evaporación representa la mayor demanda de energía en el sistema de composteo (secado).

Para lograr la termodinámica necesaria durante el proceso, w debe ser aproximadamente de 10 para cualquiera de los métodos de composteo.

$$w = \frac{(K_c V_c S_c X_c) + (K_r V_r S_r X_r)}{K_c V_c S_c X_c + K_r V_r S_r X_r}$$

Si se organiza y reemplazan Rw se obtiene:

$$R_w = \frac{X_r}{X_c}$$

$$w = \frac{(1 - S_c) + R_w (1 - S_r)}{K_c V_c S_c + K_r V_r S_r R_w} \quad (16)$$

La ecuación correspondiente en peso seco:

$$w = \frac{\left(\frac{1}{S_c} - 1\right) + R_d \left(\frac{1}{S_r} - 1\right)}{K_c V_c + K_r V_r R_d} \quad (17)$$

La cantidad necesaria de fuente de carbón y de composta reciclada depende del balance de masa, (ecuaciones), Cuadro No. 5 y del método de composteo utilizado.

R E S U M E N

Se han desarrollado 2 ecuaciones generales que se pueden aplicar a todos los métodos de composteo. La primera es usada para determinar el reciclaje de composta o fuente adicional de carbón (astillas de madera, etc.) y la segunda para determinar la tasa w .

Considerando una fuente adicional de carbón

$$X_r = \frac{X_c (S_m - X_c) + X_a (S_m - S_a)}{(S_r - S_m)} \quad (18)$$

$$w = \frac{X_c (1 - S_c) + X_a (1 - S_a) + X_r (1 - S_r)}{X_c S_c V_c K_c + X_a S_a V_a K_a + X_r S_r V_r K_r} \quad (19)$$

Si la tasa w es menor de 10, la mezcla de composta tiene energía suficiente para elevar la temperatura y evapora el agua del sistema. La tasa w depende de las condiciones climáticas, pudiendo ser mayor de 10 en climas cálidos y en climas fríos puede ser igual a 7.

w puede ser ajustada, aumentando o disminuyendo la fuente de carbón, calculando nuevamente X_r y w hasta que cumpla con el valor necesario.

Si se tiene fuente de carbón en el sistema, las ecuaciones de --
cálculo son:

$$X_r = (1-f_2) f_1 X_c \quad (20)$$

$$X_a = f_1 X_c - X_r \quad (21)$$

f_1 = tasa de fuente de carbón. (reciclada y nueva) a lodo.

$$f_1 = \frac{X_r + X_a}{X_c} \quad (22)$$

f_2 = Fracción perdida de fuente de carbón por digestión durante -
el proceso o porque se quedo en el producto de composta (no -
se puede recuperar).

$$f_2 = \frac{X_a}{X_a+X_r} \quad (23)$$

Los valores para f_1 y f_2 se basan en experiencias operativas para
este tipo de sistemas. El rango de valores para f_1 es 0.75 a 1.25,
y para f_2 es 0.20 a 0.40.

5.7.-Análisis de Costos.

Comparar el costo del composteo con otras alternativas resulta muy difícil porque se tienen factores locales muy variables como son: el tiempo, la mano de obra y el equipo. Las operaciones en climas calientes y secos necesitan menor cantidad de fuente de carbón y probablemente sean más eficientes con el proceso de tamizado que la operación en lugares de climas fríos. Los costos de mano de obra y fuente de carbón representan un gran porcentaje de los costos totales de composteo y varían mucho de acuerdo al área geográfica.

Un análisis de costos de operación anual se desarrolló para un sistema de pila aerada para el procesamiento de 9 ton. secas/día de lodo de tratamiento secundario de una comunidad de 100,000 personas. El sistema opera 8 horas/día y siete días/semana. (Beltsville). (Tabla No. 11).

Los costos adicionales por transporte de lodos al sitio de composteo se deben incluir en el análisis de costos, no se presentó un análisis de costos de capital, porque estos son específicos del sitio. Los costos de reemplazo del equipo, representan un gran porcentaje de los costos de capital. Los mayores costos de capital se deben a la base empleada en el sitio de composteo.

Los costos de capital para todos los equipos y estructuras en Durham se estimaron en \$ 600,000 dólares aproximadamente. Los costos anuales en Durhams se calcularon en \$ 88 dólares/ ton. seca (capital) y \$ 66 dólares ton seca para operación.

5.8.- Ejemplo de Diseño.

Se tiene una planta de tratamiento secundario de aguas negras -- (municipales).

Gasto 0.45 m³/s.

El parámetro de diseño básico, es la tasa de fuente de carbón a lodos y la tasa de fuente de carbón reciclada y nueva.

El balance de material en este ejemplo, se basa en las siguientes consideraciones.

- . Se va a compostar 45 T/d de lodos húmedos sin digerir.
- . Se va a adicionar a los lodos húmedos, astillas de madera en -- una tasa de 2.0 m³ de astillas de madera por m³ de lodos húme -- dos.
- . Se va a recuperar tres cuartas partes de las astillas (por tami -- zado), para reusarlas .
- . El contenido de agua y el peso total de la mezcla de composta -- se reduce en un 30 a 40 % aproximadamente y el contenido de sólidos volátiles se reduce en un 15% a 20% debido a la evapora -- ción.

<u>Constituye</u>	<u>Densidad (peso volumétrico)</u>
	<u>Kg/m³</u>
Lodos Deshidratados (20% sólidos).	960

Astillas de madera nueva.	300
Astillas de madera reciclada.	360
Composta tamizada.	519
Composta no tamizada.	600

Las variantes del proceso tienen los siguientes valores:

$S_r = 0.20$	$S_a = 0.70$	$S_r = 0.70$
$V_c = 0.75$	$V_a = 0.90$	$V_r = 0.80$
$K_c = 0.45$	$K_a = 0.10$	$K_r = 0.10$

El composteo de lodo opera 5 días/semana, 8 horas por día, usando el método de pila estática aerada. El volumen a compostar diariamente es:

$$\frac{45 \text{ t. húmedas}}{\text{día}} \times \frac{7 \text{ días/semana}}{5 \text{ días trabajados}} = \frac{63.5 \text{ t.}}{\text{día trabajado.}}$$

La cantidad de material reciclado y astillas de madera (nuevas) -- pueden ser calculadas usando las ecuaciones 20 y 21 y asumiendo --

$f_1 = 0.75$ y $f_2 = 0.25$;

$$X_r = (1 - 0.25) (0.75) 63.5 = 35.7 \text{ t/día.}$$

$$X_a = (0.75) 63.5 = 35.7 = 11.9 \text{ t/día.}$$

La tasa w se calcula por medio de la ecuación 19.

$$w = \frac{63.5 (1 - 0.2) + 35.7 (1 - 0.7) + 11.9 (1 - 0.7)}{63.5 (0.2) (0.75) (0.45) + 35.7 (0.7) (0.9) (0.1) + 11.9 (0.7) (0.8) (0.1)}.$$

w = 90

Al ser w menor de 10, el proceso funcionará en forma adecuada.

El volumen diario de material compostado se calcula usando los valores antes anotados.

<u>Constituye</u>	<u>Masa</u> tons/día	<u>Volumen</u> m ³ /día
Lodo deshidratado	63.5	66.80
Astillas de madera nueva	11.9	40.00
Astillas de madera recirculadas.	35.7	100.00
T O T A L	111.1 t/día	206.8 m ³ /día

La pila tendrá 2.4 m. de altura y 15 m. de largo, diariamente, la pila se extiende 5.6 m. adicionales:

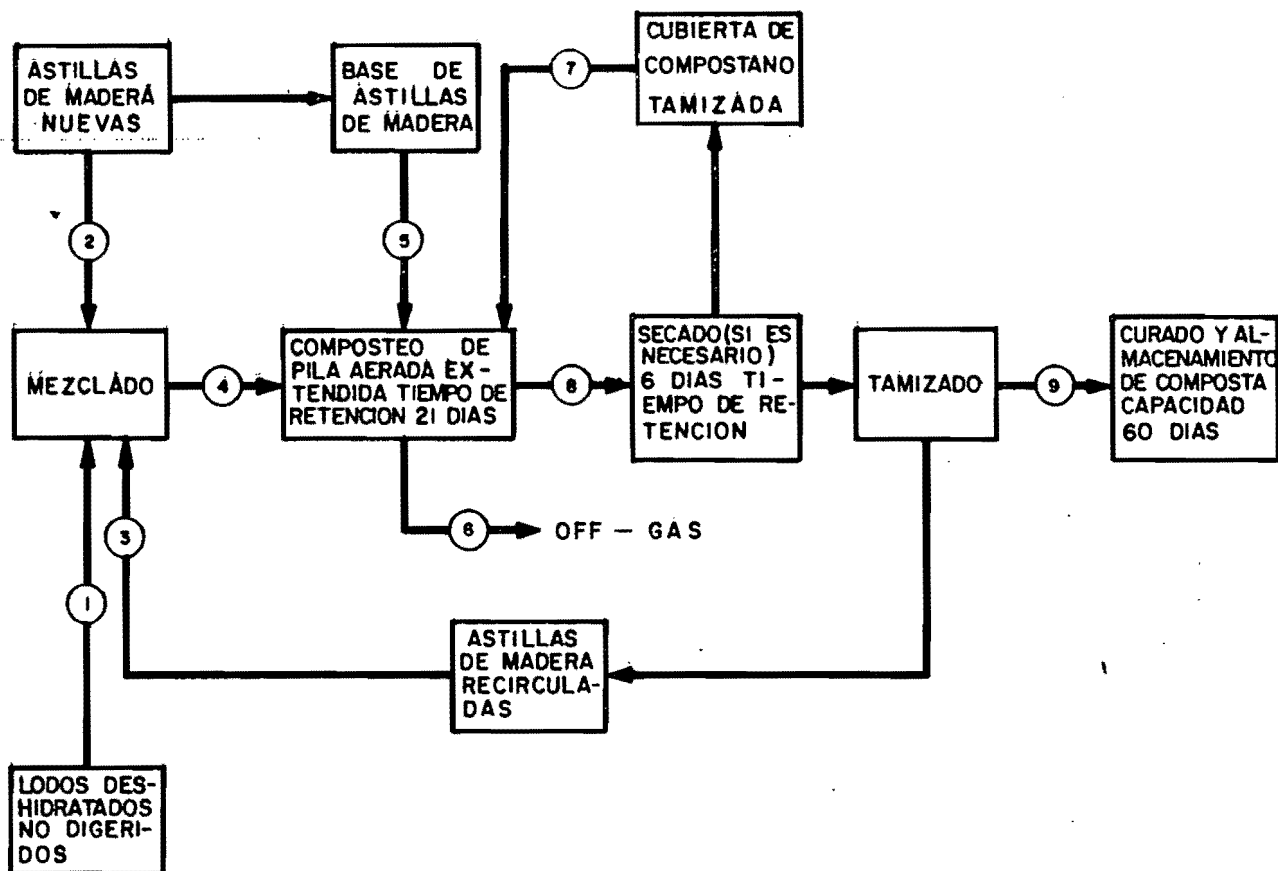
La cantidad de astillas de madera necesarias para construir la base de un espesor de 0.3 m. será :

$$(15 \text{ m}) (5.6 \text{ m}) (0.3 \text{ m}) = 25.2 \text{ m}^3/\text{día}.$$

Se necesita composta no tamizada para cubrir diariamente la pila. Esta capa será de 0.46 m. de espesor.

$$(15\text{m}) (5.6) (0.46) = 39 \text{ m}^3/\text{día}.$$

La figura No. 31 es el diagrama del flujo del proceso para el composteo, por el método de pila aerada extendida y resume el balance de materia.



OPERACION 5 DIAS POR SEMANA

LOCALIZACION	TONS. HUMEDAS	PORCENTAJE SOLIDOS	TONS. SECAS	DENSIDAD (Kg/m ³)	VOLUMEN (m ³)	PORCENTAJE SOLIDOS VOLATILES
1	63.6	20	12.7	960	66.5	75
2	11.9	70	8.3	300	39.8	90
3	35.7	70	25.0	360	99.8	60
4	111.1	41	46.1	540	206.1	80
5	7.8	70	5.4	300	3.3	90
6	54.2	-	9.3	-	-	-
7	18.9	65	10.9	435	39.1	65
8	81.6	65	53.1	435	188.7	65
9	29.0	60	17.2	985	49.1	45

DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO PARA EL SISTEMA DE COMPOSTEO DE LODO POR EL METODO DE PILA EXTENDIDA (0.45 m³/s)
PLANTA DE LODOS ACTIVADOS

Se necesitan además, 76 m. de tubería de 10 cm. de diámetro, con las perforaciones necesarias para una aeración adecuada y 15 --- m. de tubería no perforada que se une al soplador (con controlador de tiempo), para proporcionar una tasa de aeración de 158 -- l/s y con protección adecuada para la época de lluvias. Se requiere también de 3 uniones T y de trampas para el líquido lixiviado, se necesita una tasa de aeración adecuada, para proporcionar el aire necesario a la pila.

En general el soplador proporcionará un mínimo de 1.3 l/s/ton. - húmeda de lodos en la pila. El aire de salida será filtrado en una pila de composta tamizada. La pila filtro contiene 1 m3 de - material por cada 35.5 ton. de lodos en la pila; para el ejemplo se necesita 3 m3.

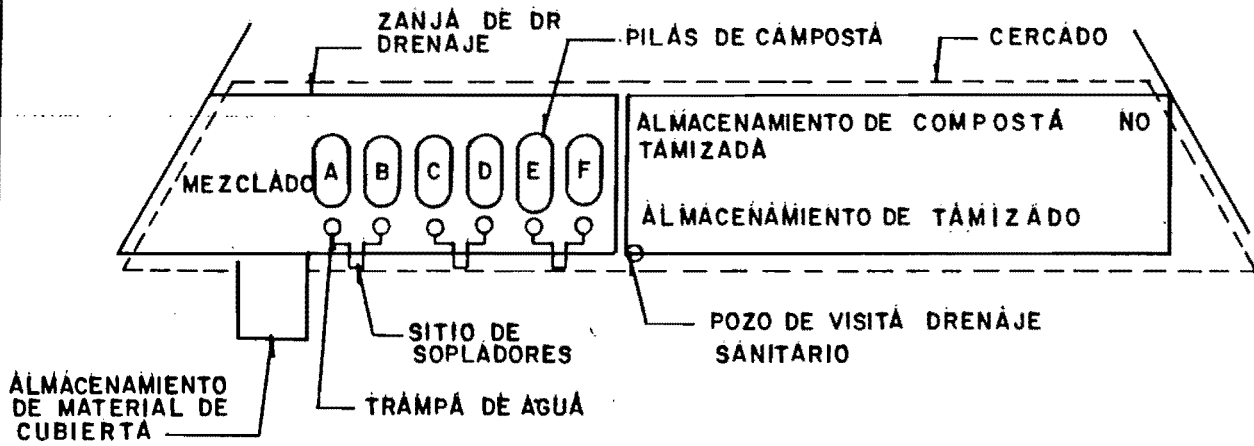
En la figura No. 32 se muestra el diseño del ejemplo. El área - mínima necesaria para las diferentes actividades del composteo - es:

AREA MINIMA NECESARIA PARA COMPOSTEO.

4.5 tons. húmedas por día.

9 tons. secas/día.

Función	Area necesaria m ²
Carga y mezclado.	465

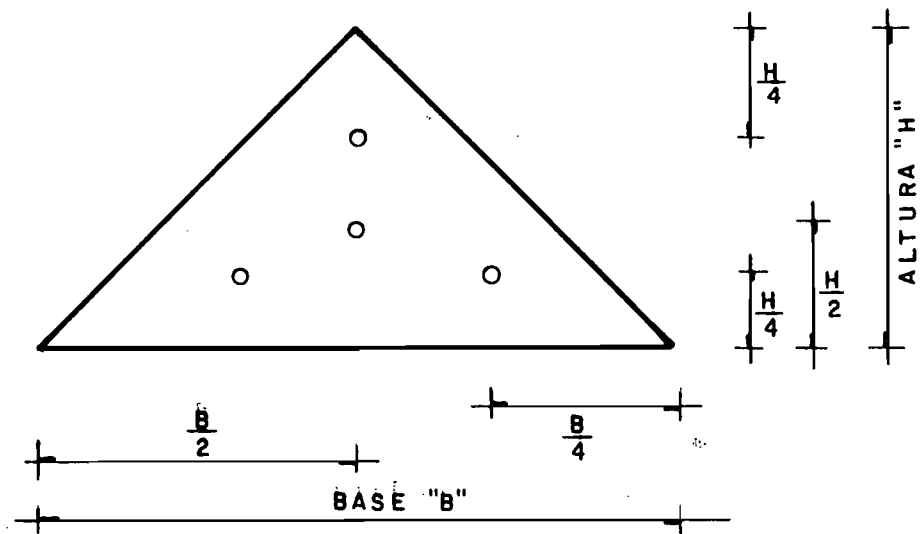


PLANTA DEL ÁREA DE COMPOSTEO (BANGOR, MAINE)

FIGURA N° 32

Utilización del suelo 14.8 t/ha.

La superficie total necesaria es de 1.2 ha. aproximadamente, lo que sería 0.07 ha/t/día de lodos secos compostados; reduciendo la fuente de carbón podría disminuir el área necesaria.



LOCALIZACIÓN DE PUNTOS DE MONITOREO DE TEMPERATURA Y OXÍGENO PARA LOS SISTEMAS DE PILA AERADA INDIVIDUAL O DE HILERA

FIGURA N° 33

T A B L A No. 9

Densidad de Varios Agentes Empleados en el
Composteo.

Material	Densidad Kg/m ³
Lodos digeridos.	893 - 1012
Lodos crudos.	774 - 1012
Astillas de madera	265 - 333
Astillas de madera reciclada.	351 - 369
Composta digerida.	553 - 619

6.- EVALUACION DE ALTERNATIVAS DE ESTABILIZACION DE LODOS.

6.1.- Introducción.

De las tres alternativas de estabilización de lodos desarrolladas en este trabajo: digestión anaerobia, digestión aerobia (sistemas tradicionales), y el composteo; en el presente capítulo se busca la posible aplicación de cada una de ellos a un problema específico, bajo el análisis de varios factores, incluyendo la fuente y cantidad de lodos de aguas negras, localización geográfica de la comunidad, hidrogeología de la región, uso del suelo, análisis económico, aceptación pública, eficiencia, problemas de operación y limitantes de cada una de los procesos de estabilización estudiados. Para una comunidad generalmente se deben tener varias alternativas de manejo de lodos para asegurar la capacidad y la flexibilidad en la operación.

Cada comunidad debe determinar sus estrategias de evaluación y medir sus condiciones y necesidades locales.

la composición orgánica presente en los lodos es muy importante , cuando se trata de definir el impacto del manejo del lodo sobre el medio ambiente, otros indicadores no menos importantes y de los cuales se tratará en forma más superficial son: costos, problemas de operación, uso o disposición, características propias de la región y uso del suelo y área necesaria.

6.2.- Parámetros o Indicadores analizados.

Eficiencia.

Para el desarrollo de la evaluación de las alternativas de estabilización de lodos estudiadas en el presente trabajo: digestión anaerobia, digestión aerobia y composteo; considerando la eficiencia como parámetro de análisis, se tomara como base de apoyo, un estudio realizado con lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales en Camden County, N.Y. ref. No. 12, donde se consideraron los tres sistemas de estabilización desarrollados durante el presente estudio. Como se anotó anteriormente, la eficiencia es un indicador de evaluación que permite determinar la conveniencia de implementar, uno de los sistemas evaluados, dependiendo de la disposición final que se le va a dar al lodo estabilizado.

La reducción en sólidos totales (S.T.) , sólidos volátiles (S.V.) demanda química de oxígeno (D.Q.O.) y carbón orgánico total (C.O.T.) , son todos indicadores de la eficiencia del tratamiento biológico, en degradar y estabilizar los lodos.

De la referencia No. 12, se toman las condiciones ambientales consideradas durante el estudio.

Condiciones ambientales del estudio.

Digestor aerobio	digestor	sistema de
Temperatura ambiental 20°C	anaerobio 35°C	composteo 55°C
Volumen del reactor 10 l.	10 l.	-
Tiempo 35 días	30 días.	21 días
Sistema batch.	batch	Pila estática aerada.
Mezcla completa durante el período de digestión.	Mezclado durante el período de <u>di</u> gestión.	Después del pe <u>ri</u> odo de compo <u>steo</u> , la pila -- fué tamizada pa <u>ra</u> separar la -- fuente de carbón y muestrear la -- composta.

De las tablas No. 12 y 13, se determinó que el proceso de estabilización por composteo, produjo la mayor reducción en todos los -
paramétros análisados; por medio de los sistemas de digestión aero
bia y anaerobia, se obtuvo una reducción semejante en el porcentaje
de los sólidos volátiles y sólidos totales.

En la tabla No. 12 para los tres paramétros, S.V., D.Q.O., y C.O.
T., los resultados indican que el órden de eficiencia en cuanto a
reducción para cada uno de los tratamientos fué: D.Q.O. > C.O.T. >
S.V. La mejor forma de determinar la diferencia en cuanto a los
porcentajes de reducción en los paramétros análisados, es considera
ndo las tasas con respecto a los mismos.

La menor reducción en el porcentaje de sólidos volátiles comparado
con otros parámetros muestran que el material carbonáceo, que
pérmance después del tratamiento se encuentra en un alto estado de

oxidación. La oxidación de materia orgánica en los lodos de --
aguas negras, produce una disminución en la tasa DQO/COT y un --
aumento en la tasa de peso orgánico a carbón (S.V./COT).

Regularmente, la tasa de DQO/COT , muestra que la materia orgá-
nica en los lodos crudos se encuentra en un menor estado de oxi-
dación. De los tres sistemas de estabilización de los lodos bio-
lógicos estudiados, la menor tasa DQO/COT, se encontró en el lo-
do estabilizado por medio del composteo y el lodo digerido en -
forma aerobia (1.56 y 1.58) .

La tasa SV/COT , que aumenta como un resultado del tratamiento -
de estabilización, se relaciona con la disminución en la tasa -
correspondiente de DQO/COT. Para la tasa SV/COT el mayor porcen-
taje de cambio se presentó en el lodo estabilizado en forma -
aerobia y los lodos estabilizados por medio de composteo (2.24
2.21) .

La tabla 14 tasas de los parámetros estudiados para lodos crudos y
lodos estabilizados, permite realizar una evaluación de la efi-
ciencia de cada uno de los sistemas de estabilización de los lodos.
Comparando los diferentes procesos estudiados, los resultados -
indican que la estabilización por medio del composteo, es el --
más eficiente en cuanto a reducción de S.V., S.T., DQO y COT --
(Lodo más altamente oxidado).

Desde el punto de vista de la estabilidad e inocuidad, el lodo -- obtenido después del composteo, es el más deseable, además la can -- tidad de materia orgánica remanente y su estado de oxidación, -- determinan el nivel de estabilidad e inocuidad. Un lodo altamente oxidado y bajo en materia orgánica, tendrá el menor impacto ambiental.

El lodo estabilizado en forma anaerobia de acuerdo a la informa -- ción tomada de las tablas No. 12,13 y 14, produjo el lodo menos -- oxidado, conservando un alto potencial de olor y un mayor impacto ambiental.

Costos.

Tratar de realizar una comparación de costos, con respecto a las -- 3 alternativas de estabilización no es fácil, debido a que no se tienen los mismos aspectos a cuantificar, además de que para el -- composteo se deben considerar factores de costos, propios del si -- tío donde se implemente el sistema.

En general los lodos estabilizados por los procesos tradicionales de digestión, anaerobia y aerobia, deben considerar los costos -- correspondientes al transporte y la alternativa de disposición -- elegida (Relleno sanitario, aplicación al terreno, etc.), para concluir la etapa de manejo.

Dentro del análisis de costos, se debe realizar una estimación de costos correspondientes al valor de la composta como fertilizante N, P, y K contenidos en los lodos.

La mayor efectividad en costos y en eficiencia del sistema seleccionado, se obtiene si se logra elegir el proceso de tratamiento de lodos, relacionandolo con la mejor alternativa de transporte de acuerdo a las necesidades y a la opción de disposición seleccionada.

El relleno sanitario tiende a desaparecer por escasos cada vez mayor de lugares adecuados cercanos a la ciudad, y debido a que mayores distancias suponen mayores costos.

Otro factor de costo que no siempre se evalúa, es la carga adicional que entra a la planta de tratamiento por el sobrenadante, de cualquiera de los 3 sistemas de estabilización vistos.

De las diferentes bibliografías anotadas al final del estudio, los costos de composteo se encontraron al rededor de 135 a 150 dólares por tonelada de lodos secos (costo anual) y como sistema de disposición exclusivamente, el composteo de lodos de aguas residuales es competitivo con el costo de otros métodos de disposición. Colacicco, D. et al; "Costs of Composting sewage sludge"- Agricultural Research Service, ARS, Northeast Regional Publ., 79 (1977).

De acuerdo al análisis realizado en la bibliografía anteriormente anotada, el autor concluye que el composteo tiene los menores --- costos de operación y capital considerando como alternativa de -- disposición este sistema.

Se pueden disminuir costos en el sistema de composteo, si se toma como una parte integral de la planta de tratamiento de aguas ne - gras y el personal de la planta colabora en la operación.

La venta de la composta podría ayudar a pagar los costos de ope - ración.

Los costos de capital para plantas menores de 220 Lts/seg, para el sistema de digestión aerobia son más bajos comparados con el sis - tema anaerobio.

En plantas muy pequeñas, con digestión aerobia los costos de ---- energía para aerar los lodos son muy altos.

Los mayores costos para el sistema de digestión anaerobia se de - ben a los tanques cerrados que se emplean, con su sistema de ali - mentación, calentamiento y mezclado.

La proximidad de un área de disposición adecuada es un factor muy importante en la evaluación de alternativas por los costos asocia

dos con las distancias de transporte.

La cantidad de terreno necesario es función directa de la cantidad de lodo a disponer, de sus características, como se trató y la --- alternativa de disposición seleccionada.

Tamaño de la comunidad.

El análisis económico como parte de manejo de lodos, debe considerar el tamaño de la comunidad para la cual se va a seleccionar una alternativa de estabilización y disposición de lodos.

Las plantas de tratamiento de aguas negras y las comunidades servidas, por las mismas, pueden ser divididas con base en el volumen de aguas tratadas. Plantas pequeñas que procesan menos de 3,785 m³/d, plantas medianas que procesan entre 3,785 y 37,850 m³/d y plantas grandes que manejan caudales mayores de 37,850 m³/d. En países -- subdesarrollados la mayoría de plantas son pequeñas.

El volumen de lodo producido por una comunidad, se relaciona con el volumen de aguas negras tratadas y el tipo de tratamiento empleado. Como regla general, las plantas de tratamiento de aguas negras generan aproximadamente 240 grs. de lodos por cada m³ de aguas negras tratadas a nivel secundario.

El tamaño de la comunidad, permite un buen programa de mercadeo, con la debida organización, que garantice el consumo del producto procesado. Si por medio de un estudio de mercadeo para la -- composta se determina que no existe mercadeo potencial para los lodos compostados, otra posible alternativa sería como cubierta_ general para rellenos sanitarios.

Problemas de Operación.

El composteo en las nuevas técnicas desarrolladas, cada vez ---- incorpora más innovaciones que reducen los problemas de opera ción y mantenimiento.

Si el sistema se opera sobre una base de concreto, la limpieza - del sitio se realiza fácilmente.

El sistema de digestión aerobio es más fácil de operar si se --- compara con la digestión anaerobia y además no hay generación de olores. La calidad del sobrenadante obtenido por digestión aero bia es mejor, aunque por el sistema de composteo se tiene en menor cantidad si se opera el sistema bajo techo.

En general el nivel de reducción de organismos patógenos por di - gestión aerobia como por composteo, es mayor para este último ya que las temperaturas alcanzadas son mayores. El sistema menos -

susceptibles a los cambios en las condiciones ambientales es el composteo.

Se debe realizar un estudio cuidadoso de la aceptación pública y social (desarrollo de olores, aspecto estético y organismos patógenos potenciales), altos costos de transporte considerados en todas las actividades de manejo y disposición de cada una de las alternativas, grandes áreas de terreno para disponer de la cantidad de lodos producidos y para desarrollar el proceso de estabilización. Con respecto a las alternativas de disposición: relleno sanitario, aplicación al terreno y aplicación de composta, -- esta última requiere de la menor cantidad de área.

Como conclusión se tiene que cada alternativa tiene consideraciones a favor y que en general se puede resumir que para una gran comunidad donde no hay terreno disponible para utilizarse en -- relleno sanitario o disponer los lodos se puede implementar el composteo, donde los costos de capital, de mano de obra y de --- equipo, así como de mantenimiento son absorbidos por grandes comunidades.

Un análisis de suelo y de los lodos compostados (monitoreo de C/N, N, P, K y de otros elementos), se debe desarrollar para --- evaluar la conveniencia de la aplicación de los mismos, depeⁿ -- diendo del tipo de cultivo o función que se le va a dar al suelo.

Es necesario un estudio de la tasa de aplicación de lodos y de la infiltración en el suelo para este sistema de disposición.

Para plantas medianas y pequeñas los sistemas más convenientes -- son : la digestión aerobia y anaerobia, esta última preferiblemente en el caso de que se busque la recuperación de metano como fuente de energía.

T A B L A No. 11

COSTOS DE COMPOSTEO - OPERACION.

PROCESAMIENTO DE 9 TON. DE LODOS SECOS POR DIA. (DOLARES 1976).

	DOLARES/AÑO	DOLARES TON/SECA	PORCENTAJE DE COSTOS OPERATIVO.
Operación.			
Astillas de madera \$ 4.61/m ³ (b)	35,000	10.58	23
Tubería plástica.	12,200	3.68	8
Gasolina.	2,300	0.69	1
Diesel.	5,300	1.60	4
Electricidad.	1,500	0.45	1
Mantenimiento de equipo.	8,400	2.54	6
Seguro de equipo.	1,400	2.54	6
Mantenimiento de la base de composte y caminos.	1,200	0.36	0.5
Agua.	500	0.15	0.5
Mano de Obra.	77,500	23.4	52
Suplementos varios.	4,400	1.32	3
T O T A L	149,700	45.21	100

a).- Basados sobre la operación en Beltsville y asumida para operar 8 horas por día, siete días por semana.

b).- En 1979 el costo de astillas de madera a \$ 8.55/m³ en Detroit y \$ 10.42 -- m³ en Blue Plains.

En adición la tasa de desgaste de astillas de madera con un 20% asumido a un 41% confirmado.

Tabla No. 12. Porcentaje de Reducción de Sólidos totales y Sólidos Volátiles, demanda química de Oxígeno y carbón orgánico. (12)

Constituyentes	Estabilización Aerobia	Estabilización Anaerobia.	Estabilización por composteo.
Sólidos totales	32.4	31.6	42.3
Sólidos volátiles	46.8	43.4	54.2
D Q O	65.3	55.7	75.7
Carbón Orgánico	56.9	47.8	69.3

Tabla No. 13. Composición Orgánica de los lodos crudos y estabilizados (Porcentaje de Sólidos totales). (12)

Constituyentes	Lodo Crudo	Lodo Aerobio	Lodo Anaerobio	Lodo Compostado.
Sólidos volátiles	75.0	56.5	59.9	49.0
D Q O *	77.2	39.6	49.9	34.6
Carbón orgánico total	39.4	25.1	30.1	22.1

* Expresado como mg O₂/100 mg de sólidos.

Tabla No. 14, Tasas de los parámetros estudiados para lodos crudos y lodos estabilizados. (12)

Parámetros.	Lodo Crudo	Lodo Aerobio	Lodo Anaerobio	Lodo Compuesto
DQO/COT	1.94	1.58	1.66	1.56
S V/ COT	1.91	2.24	1.99	2.21
DQO/S.V.	1.03	0.70	0.83	0.71

- 1.- EPA. 1979. Technology Transfer process Design Manual: "Sludge Treatment and Disposal". EPA 625/1-79-011. Center for Environmental Research Information, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio.
- 2.- EPA. 1984. Technology Transfer Environmental Regulations and Technology.
"Use and Disposal of Municipal Wastewater Sludge." EPA 625/10-84-003. Center for Environmental Research Information. U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio.
- 3.- EPA. 1985. Technology Transfer Handbook Estimating Sludge -- Management Costs. EPA./625/6-85/010. Center for Environmental Research Information U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio.
- 4.- EPA. 1977 Technology transfer Process Design Manual: "Wastewater Treatment Facilities For Sewered Small Communities" -- EPA 625/1-77-009. Center For Environmental Research Information, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio.
- 5.- EPA. 1985 Technology Transfer Seminar Publication on "Composting of Municipal Wastewater Sludges". EPA/625/4-85/014. Environmental Research Information Center U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio.
- 6.- Smith, E. James Jr. Advanced Waste Treatment Research Laboratory, National Environmental Research Center, Environmental Protection Agency: "Problems and Solutions for Sludge Treatment". Part. 2 Pag. 81, Water & Sewage Works, May 1977.
- 7.- EPA. 1983 Technology Transfer Process Design Manual: "Land Application of Municipal Sludge". EPA 625/1-83/016. Center for Environmental Research Information U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio.
- 8.- Chaney, R.L. 1980. Health Risks Associated With Toxic Metals in Municipal Sludge. In: G. Bitton Etal. (Eds)Sludge-Health Risks of Land Application. An Arbor Science Publishers, Inc. An Arbor, Michigan.
- 9.- Epstein, E., G.B. Willson, W.D. Burge, D.C. Mullen, and N.K. Enkini: "A Forced Aeration System For Composting Wastewater -- Sludge". Journal Water Pollution Control Federation. P. 688, Vol. 48, No. 4 April 1976.

- 10.- Sikora, L.J., G.B. Willson. D. Colacicco J.F. Pair " Materials Balance in Aerated Static Pile Composting". Journal Water Pollution Control Federation. 1702, Vol. 53, No. 12 December 1981.
- 11.- Haug., R.T., " Engineering Principles of Sludge Compos --- ting". Journal Water Pollution Control Federation. P.2189, Vol. 51, No. 8 August 1979.
- 12.- Higgins, A.J. Kaplovsky., J.V. Hunter. " Organic Composi - tion of Aerobic, anaerobic, and compost-stabilized Sludges". Journal Water Pollution Control Federation. P. 466, Vol.54, No. 5 May. 1982.
- 13.- Ullrich, A.H., and Smith, M.W., " The Biosorption Process - of Sewage and Waste Treatment". Sewage and Industrial Wastes P. 1248 (1951).
- 14.- Design Guides for Biological Wastewater Treatment Process". EPA Report No. 11010 ESQ. 08/71 (August 1971).
- 15.- Heukelekian, H. Or Ford, H.E., and Manganelli, R., " Fac -- tors Affecting the Quantity of Sludge Production in the --- Activated Sludge Process". Sewage and Industrial Wastes, - vol. 23, pp. 945 - 957 (1951).
- 16.- Dick, R.I., and Ewing, B.B., " Evaluation of Sludge Thicke - ning Theories". Journal Sanitary Engineering Division ASCE, P. 9-29 (August 1967).
- 17.- Javaheri, A.R., and Dick, R.I. " Aggregate Size variations During Thickening of Activated Sludge" Journal Water Pollu - tion Control Federation, Vol. 41, Part 2, R-197 (1969).
- 18.- Reed, S.C., and Murphy, R.S., " Low temperature Activated - Sludge Settling" , Journal Sanitary Engineering Division, ASCE, vol. 95, SA4, P. 747 (1969).