

4
2e5



*Universidad Nacional
Autónoma de México*

Facultad de Química

TESIS MANCOMUNADA

**ESTUDIO TECNICO-ECONOMICO PARA LA INSTALACION DE
UN SISTEMA PARA LA ELIMINACION DE SOLIDOS PROVE-
NIENTES DEL TRATAMIENTO PRIMARIO DEL AGUA
RESIDUAL DE UNA INDUSTRIA DE RESINAS.**

Para obtener el titulo de
INGENIERO QUIMICO
ALCOBE LOPEZ MARIA TERESA
AGUIRRE FLORES JESUS



México, D. F.

1993

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

INDICE

INTRODUCCION.

1

CAPITULO I.

TEORIA SOBRE TRATAMIENTOS PRIMARIOS Y ALTERNATIVAS EN LA MANIPULACION DE LOS FANGOS.

1.1.	Teoría sobre tratamientos primarios.	5
1.1.1	Introducción.	5
1.1.2	Cribado.	5
1.1.3	Flotación.	6
1.1.4	Neutralización e Igualamiento.	6
1.1.5	Sedimentación. Introducción.	7
1.1.6	Tipos de sedimentación.	7
1.1.7	Diseño del Tanque de Sedimentación.	9
1.2	Tratamiento del Fango.	13
1.2.1	Introducción.	13
1.2.2	Alternativas en la manipulación de los fangos.	14
1.2.3	Características de los Fangos.	16
1.2.4	Acondicionamiento del fango.	16
1.2.5	Espesamiento.	17
1.2.6	Deshidratación del fango.	18
1.2.7	Secado.	18
1.2.8	Procesos de conversión.	19
1.2.8.1	Digestión Anaeróbica de Lodos.	19
1.2.8.2	Digestión Aeróbica.	19
1.2.8.3	Incineración.	20
1.2.9.	Vertido Final.	22
1.2.9.1	Vertido al aire.	22
1.2.9.2	Vertido al agua.	22
1.2.9.3	Vertido a la tierra.	22

CAPITULO II.

DESCRIPCION DE LOS EQUIPOS EXISTENTES PARA EL TRATAMIENTO DE LODOS RESIDUALES.

2.1	Espesamiento de lodos.	25
2.1.1	Espesamiento por gravedad.	25
2.1.2	Espesador de flotación.	25
2.2	Eliminación del agua por filtración al vacío.	25
2.3	Filtración a presión.	26
2.4	Centrifugación.	26
2.5	Secado de Lodos en Lecho.	26
2.6	Tratamiento de pre-eliminación de agua en los lodos.	28
2.6.1	Coagulación química.	29
2.6.2	Tratamiento con calor de los lodos.	29
2.7	Disposición de los lodos.	31
2.8	Incineración del fango.	33
2.8.1	Incineradores municipales.	33
2.8.2	Incinerador de desechos industriales.	43
2.8.3	Equipo para el control de la contaminación.	47
2.9	Digestor Aeróbico.	54
2.10	Digestor Anaeróbico de lodos.	54

CAPITULO III.**PROPIEDADES DE LOS DESECHOS SOLIDOS Y ELECCION DEL MECANISMO ADECUADO DEL DESECHO.**

3.1	Propiedades de los desechos sólidos.	57
3.2	Parámetros característicos de los desechos sólidos.	57
3.3	Descripción del problema, características y datos experimentales de los lodos.	58
3.4	Elección del método mas adecuado para la eliminación de los desechos sólidos obtenidos.	68

CAPITULO IV.**DESCRIPCION DEL MECANISMO DE DESECHO SELECCIONADO Y CALCULOS CORRESPONDIENTES.**

4.1	Introducción.	70
4.2	Justificaciones.	71
4.3	Cálculos del aire necesario para calcinar los lodos.	72
4.4	Cálculo de la cantidad de aire necesaria para quemar el gas natural.	73
4.5	Cálculo de la temperatura de los gases a la salida del incinerador.	75
4.6	Cálculos para un 25% de exceso de aire.	78
4.7	Cálculos para 35% de exceso de aire.	80
4.8	Resultados.	81
4.9	Impacto Ecológico de los Resultados.	82

CAPITULO V.**OPERACION Y MANTENIMIENTO.**

5.1	Especificaciones de construcción.	84
5.2	Secuencia de operación.	86
5.3	Secuencia de mantenimiento diario.	87
5.4	Observaciones.	87

CAPITULO VI.**ANALISIS ECONOMICO.**

6.1	Análisis económico.	94
6.2	Proyección de costos de operación a 10 años y tasa de interés de 21% anual.	96
6.3	Presupuesto.	98

CAPITULO VII.**RECOMENDACIONES.**

APENDICE A.	101
APENDICE B.	109
BIBLIOGRAFIA.	117

INTRODUCCION

Contaminación del medio ambiente hoy en día, es el problema más grave de la humanidad. El aire, la tierra y el agua están entrando en un desequilibrio total.

Siendo de los más importantes aspectos el agua, ya que nuestro cuerpo está compuesto por un 70% de agua, mientras que el globo terráqueo contiene dos terceras partes de agua de su superficie total, de la cual son disponibles para el ser humano solo una mínima parte de la cual ya hemos contaminado.

Actualmente es posible tratar el agua residual doméstica e industrial aplicando métodos físicos (sedimentación), químicos (coagulación química), o biológicos (lodos activados) o alguna combinación de los tres dependiendo el tipo de contaminante a eliminar. (1)

Esta clase de tratamientos generan residuos que son mayormente retenidos como suspensiones de sólidos en líquidos. Los sólidos en suspensión pueden ser:

Precipitados químicos formados por la reacción de los compuestos químicos añadidos con los contaminantes disueltos; productos formados por la adición de coagulantes químicos a residuos que contienen contaminantes en estado coloidal y en suspensión; microorganismos en exceso, sintetizados en el tratamiento biológico de los residuos, y sólidos decantables en el residuo bruto.

Mediante procesos de tratamiento, se elimina normalmente gran cantidad de agua a estos residuos. El costo de este tratamiento y de su vertido final constituye una parte muy significativa del costo total de un sistema para el tratamiento del agua residual. (2)

La sedimentación es considerada como un método primario de tratamiento al agua residual y genera suspensiones de sólidos en líquidos llamados lodos o fango.

En México la problemática del manejo de estos desechos se centra en industrias con sistemas de tratamiento al agua residual que no cuentan con instalaciones para eliminar adecuadamente los desechos sólidos generados. Existiendo ya gran variedad de sistemas, métodos y equipos para la eliminación de los lodos o fango.

(1) Metcalf and Eddy Boston. Wastewater Engineering, Collection, Treatment, Disposal.

(2) Diario Oficial de la Federación. México, Miércoles 19 de Octubre de 1988. Págs. 23-25.

Actualmente una planta dedicada a la fabricación de resinas sintéticas, cuenta con sistemas para el tratamiento de sus aguas residuales generadas en sus procesos productivos.

El proceso de tratamiento utilizado, consiste en una fosa de neutralización, una fosa de sedimentación y una cama de arena para la deshidratación del lodo generado en el proceso.

El agua residual así tratada, es enviada posteriormente al drenaje municipal sin generar problema ecológico alguno.

El manejo de los lodos generados en el proceso de tratamiento al agua residual presenta una problemática económica y ecológica de considerable importancia, ya que debido a que la SEDUE* prohíbe que esta clase de desechos sean confinados en tiraderos municipales; esta fábrica debe contratar los servicios de empresas dedicadas a la disposición final de residuos sólidos industriales.

Esta es una solución a corto plazo, debido a que los desechos son enterrados, acumulándose grandes cantidades de materiales orgánicos e inorgánicos en depósitos especiales.

La demanda actual que este tipo de servicios es cada vez mayor, lo que genera vicios y malos manejos de los desechos sólidos industriales, por que la autorización por parte de SEDUE* para la instalación de basureros industriales es muy restringida.

El proponer una alternativa técnica y económicamente adecuada para el manejo de los desechos sólidos generados en esta planta, motivo del presente trabajo de tesis.

En el capítulo I se presentan los conceptos fundamentales sobre tratamientos primarios al agua residual y especialmente sobre sedimentación. Además se analizan las diferentes alternativas en la manipulación de los lodos.

En el capítulo II se describen los diferentes equipos existentes para el tratamiento de lodos residuales. Se pone especial atención en aquellos que utilizan calor para el tratamiento (incineración). Se describen los equipos auxiliares que se utilizan en los sistemas de incineración para el control de la contaminación.

En el capítulo III se plantea el problema con ayuda de las características fisicoquímicas de los lodos y datos experimentales de frecuencia, cantidad, etc. y en base a ellos se elige un incinerador como el mecanismo adecuado de desecho por considerarse como una de las mejores alternativas.

* Ahora SEDESO.

En el capítulo IV se describen las características del incinerador seleccionado así como los cálculos efectuados para su diseño, además de analizar el impacto ecológico de nuestros resultados en base a la actual reglamentación al respecto.

En el capítulo V se especifican los materiales de construcción así como la secuencia de operación y mantenimiento del incinerador.

En el capítulo VI se presenta un estudio económico de la alternativa seleccionada comparada con los costos actuales del manejo de los lodos.

En el capítulo VII se presentan las recomendaciones del trabajo de tesis.

CAPITULO I

TEORIA SOBRE TRATAMIENTOS PRIMARIOS Y ALTERNATIVAS EN LA MANIPULACION DE LOS FANGOS.

1.1. TEORIA SOBRE TRATAMIENTOS PRIMARIOS.

1.1.1. INTRODUCCION

La selección de un proceso de tratamiento de agua de desecho o residual, o la secuencia de los procesos, depende de los siguientes factores :

1. Características del agua de desecho, por ejemplo: BOD, % de sólidos suspendidos, PH, presencia de materiales tóxicos, etc..
2. Calidad del efluente final requerida.
3. Costo y utilidad del terreno.
4. Consideración en el futuro de una ampliación por cambios de calidad del agua, necesitando diseñar un tipo de tratamiento más sofisticado para uso futuro. (3)

Pretratamiento de agua residual, implica remover sólidos suspendidos o acondicionar el agua de desecho para su vertido final al alcantarillado o bien para un tratamiento secundario. Los diferentes tipos de tratamiento primario son:

- Cribado.
- Flotación.
- Neutralización e igualamiento.
- Sedimentación.

1.1.2. CRIBADO.

El cribado es empleado para remover sólidos suspendidos de varios tamaños. El rango de abertura de las cribas en tamaño depende de su propósito, y la limpieza de las cribas es hecha en forma manual o mecánica. Los cribados son depositados en fosas, incinerados, o eliminados por una digestión anaeróbica. Las cribas finas tienen aberturas de 3/16 in. o más pequeñas; son usualmente hechas de mallas de acero o platos perforados y algunas veces son utilizadas en vez de tanques de sedimentación.

Sin embargo, las cribas remueven del 5 al 25% de los sólidos suspendidos, mientras que la sedimentación remueve del 40 al 60% de sólidos suspendidos. Por esta razón, y también porque la carga es frecuentemente un problema, el uso de cribas finas no es tan común.

Las cribas gruesas tienen un rango de 1.5 a 3.0 in., estas son utilizadas como protección dentro del diseño, ya que sólidos muy grandes podrían dañar otros equipos. (4)

(3 y 4) Metcalf and Eddy Boston. Wastewater Engineering, Collection, Treatment, Disposal.

1.1.3. FLOTACION.

La flotación es un proceso para separar bajas densidades de partículas sólidas o líquidas para una fase líquida. La separación se lleva a cabo por medio de la introducción de gas (usualmente aire) burbujeándolo dentro de la fase líquida. La fase líquida es presurizada a un rango de operación de presión de 30 hasta 40 psía (2 - 4 atm) en presencia de aire suficiente para promover la saturación del aire en el agua. Entonces, este líquido saturado con aire es despresurizado hasta presión atmosférica. Pequeñas burbujas de aire son liberadas en la solución por la despresurización. Sólidos suspendidos o partículas líquidas (aceite, etc.) estarán flotando alrededor de esas pequeñas partículas de aire, causando entonces un aumento en la superficie del tanque. La concentración de sólidos es retirada por mecanismos mecánicos, y estos se encuentran en forma de espuma. El licor clarificado también es retirado por la parte inferior del tanque, y parte de este puede ser reciclado.

En el campo del tratamiento del aguas residuales la flotación es usada para los siguientes propósitos:

1. Separación de grasas, aceites, fibras, y otros sólidos de baja densidad contenidos en aguas de desecho.
2. Espesamiento de los lodos, provenientes de un sistema de lodos activados.
3. Espesamiento de lodos floculantes químicos resultado de tratamientos de coagulación química.

Cuando se tienen altos flujos de efluentes conteniendo bajos porcentajes de sólidos suspendidos, y económicamente es viable, son tratados por sistemas de flotación con reciclaje.

Los componentes básicos de un sistema de flotación son:

1. Bomba de presurización.
2. Facilidades de inyección de aire.
3. Tanque de retención (para el contacto aire-agua).
4. Válvula de reducción de presión.
5. Tanque de flotación.

1.1.4. NEUTRALIZACION E IGUALAMIENTO.

Los tratamientos de neutralización son frecuentemente utilizados en los casos donde el sistema se sale fuera de control con respecto a las variaciones del PH (rango alrededor de PH=7).

Los métodos de neutralización de aguas residuales incluyen:

1. Igualación, la cual consiste en mezclar corrientes de agua de desecho básicas o ácidas existentes en la planta.
2. Métodos de control directo de PH, los cuales consisten en la adición de ácidos (o bases) para la neutralización de corrientes ácidas o alcalinas de agua de desecho. (5)

1.1.5. SEDIMENTACION.

La sedimentación es utilizada en tratamientos de aguas de desecho para separar sólidos suspendidos en aguas residuales.

Remover por sedimentación se basa en la diferencia de la gravedad específica entre partículas sólidas y la masa del líquido, lo cual da como resultado una sedimentación de los sólidos suspendidos .

En algunos casos, la sedimentación es el único tratamiento al que esta sujeta el agua de desecho. También es utilizada en uno o mas pasos de la secuencia de un tratamiento. En una planta típica de lodos activados, la sedimentación es utilizada en tres pasos del tratamiento:

1. En la cámara de arena, en la cual la materia inorgánica se mezcla con la arena.
2. En el clarificador primario, el cual precede al reactor biológico, donde los sólidos (orgánicos u otros) son separados.
3. En el clarificador secundario, el cual sigue al reactor biológico, donde el lodo biológico es separado del efluente tratado.

1.1.6. TIPOS DE SEDIMENTACION.

Tres tipos de sedimentación son reconocidos dependiendo de la naturaleza de los sólidos presente en la suspensión.

1. SEDIMENTACION DISCRETA. También llamada clarificación clase 1. Ocurre cuando las partículas guardan su individualidad, ellas no coalescen con otras partículas, de este modo, las propiedades físicas de las partículas (gravedad específica, tamaño, forma, etc.) no cambian durante el proceso. La sedimentación de partículas de arena en una cámara de arena es un típico ejemplo de sedimentación discreta.

(5) Metcalf and Eddy Boston. Wastewater Engineering, Collection, Treatment, Disposal.

2. SEDIMENTACION FLOCULENTA. La aglomeración de las partículas sedimentables es acompañada por cambios de densidad y velocidad de sedimentación. Este tipo de sedimentación ocurre por ejemplo en los clarificadores primarios. (6)

Es también llamada clarificación clase 2. Los sólidos suspendidos en las aguas domésticas, industriales y residuales, no pueden generalmente describirse como partículas discretas de peso específico conocido. En general, estos sólidos están compuestos de un amplio espectro de partículas de diferentes tamaños y características superficiales. En una masa de agua de desecho quiescente, las partículas mayores decantan con una velocidad más rápida, adelantando a las partículas más finas, durante su descenso. El viento, perturbaciones hidráulicas, corrientes inducidas por densidad, temperatura, etc. producen efectos de corte y turbulencia dentro del fluido y por tanto aumentan el contacto de partícula. Si cualesquiera de las partículas que interaccionan tienen características aglomerantes, el crecimiento de las partículas individuales a mayores tamaños será una consecuencia natural. Cuanto mayor sea la profundidad del tanque, mayor es la oportunidad de contacto entre partículas. Por tanto, este tipo de sedimentación depende de la profundidad del tanque así como de las propiedades del fluido y las partículas. El crecimiento de las partículas individuales aumenta las velocidades de eliminación, precisamente cuando se elimina rápidamente el fango depositado en el fondo del tanque, esto se debe a que las partículas mayores reducen la proporción de área superficial-masa y, por tanto, se reducen las fuerzas de fricción que se oponen a la sedimentación. (7)

La evaluación de las características decantables de una suspensión pueden llevarse a cabo colocando una cantidad de agua residual conocida.

Se deja decantar bajo condiciones quiescentes, se determina la concentración de las partículas en la muestra, tomadas a diferentes alturas y distintos intervalos de tiempo. La fracción de partículas eliminadas en cada altura se utiliza para construir la líneas de igual fracción o porcentaje de eliminación. Estas curvas se llaman líneas de igual concentración. Estas líneas representan el camino máximo de decantación indicada, y la proporción profundidad-tiempo es igual a la velocidad promedio de decantación mínima.

El rendimiento de un tanque ideal de decantación puede calcularse a partir del tipo de información suministrada por las curvas. Por ejemplo, suponiendo un tanque con una carga superficial V_0 , en donde $V_0 = hb/t^2$ todas las partículas que tengan una velocidad de decantación igual o mayor que V_0 , serán eliminadas en la proporción V/V_0 . (6)

(6) Diario Oficial de la Federación. México, Miércoles 19 de Octubre de 1988.

Págs. 23-25.

(7) Metcalf and Eddy Boston. Wastewater Engineering, Collection, Treatment, Disposal.

A partir de las curvas se observa que el Rd^* de las partículas han tenido velocidades de decantación iguales o superiores a V_0 , por tanto serán eliminadas completamente. Los sólidos comprendidos entre Ra^* y Rc^* han decantado con una velocidad promedio de $ha/t2$ y los sólidos entre Re^* y Rd^* han decantado con una velocidad promedio de $hb/t2$.

La eliminación global puede aproximarse por la siguiente expresión:

$$R^* = Rc^* + ha/(t2Vo) (Rd^* - Rc^*) + hb/(t2Vo) (Re^* - Rd)$$

Esta expresión puede mejorarse añadiendo más términos y disminuyendo el intervalo entre las líneas de concentración.

1.1.7. DISEÑO DEL TANQUE DE SEDIMENTACION.

Las funciones desarrolladas por el tanque de sedimentación en el tratamiento de agua de desecho constituyen frecuentemente una parte fundamental en el proceso global de tratamiento.

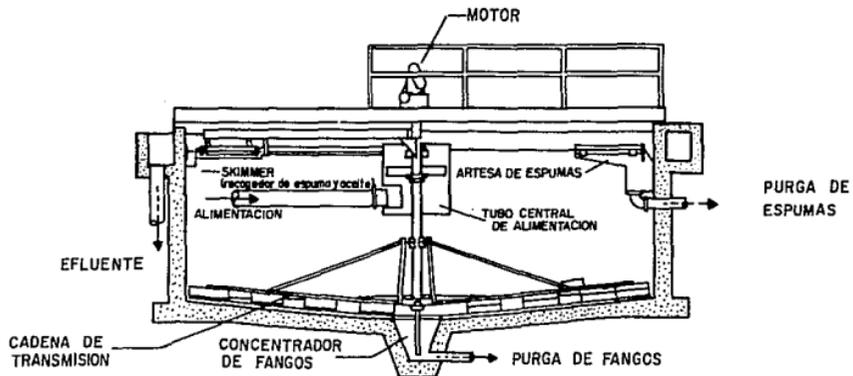
Un diseño pobre da lugar a la propagación del problema a las unidades sucesivas dentro de la planta, y disminuyen la eficacia del proceso global.

La función primaria del proceso de sedimentación consiste en la eliminación de la materia en suspensión decantable produciendo un líquido claro que sobrenada. Sin embargo, el tanque de decantación o clarificador debe también recoger y descargar un volumen de fangos; las características de recogida y eliminación de fangos son por tanto importantes para el propio funcionamiento del tanque. Un tanque podría proporcionar suficiente capacidad para la clarificación, pero no efectuar una eliminación de fangos adecuado, en cuyo caso, su eficiencia estará empeorada. Una tercera función de un tanque de sedimentación consiste en recoger el fango con el menor volumen posible de agua, para facilitar el posterior manejo del fango y su tratamiento.

Esta función puede alcanzarse precisando un espesamiento adicional por centrifugación, flotación o acondicionamiento químico.

En esencia un tanque debe desarrollar al menos dos funciones o quizá tres:

1. El tanque de sedimentación debe eliminar eficazmente los sólidos suspendidos de la alimentación.
2. La capacidad para la eliminación del fango debe ser la adecuada.



DISEÑO DE UN CLARIFICADOR CIRCULAR

3. El espesamiento del fango puede ser importante.

El cese de cualquiera de estas funciones empeorará el rendimiento del tanque y, en algún caso serio, destruirá la eficacia del proceso casi por completo.

Un tanque de sedimentación tiene un número de aspectos subordinados que, aunque no son tan vitales como los factores que se acaban de mencionar, son también importantes. Por ejemplo una fracción de la materia en suspensión, de las aguas negras y de muchas aguas residuales industriales está compuesta de sólidos de baja densidad que flotan más que decantar. Estos sólidos pueden dar lugar a la formación de espuma, mientras que la materia decantable forma el fango. En este caso, el tanque de decantación debe estar provisto de accesorios importantes tales como un "Skimmer" y una artesa para el efluente provista de placas deflectoras. (8)

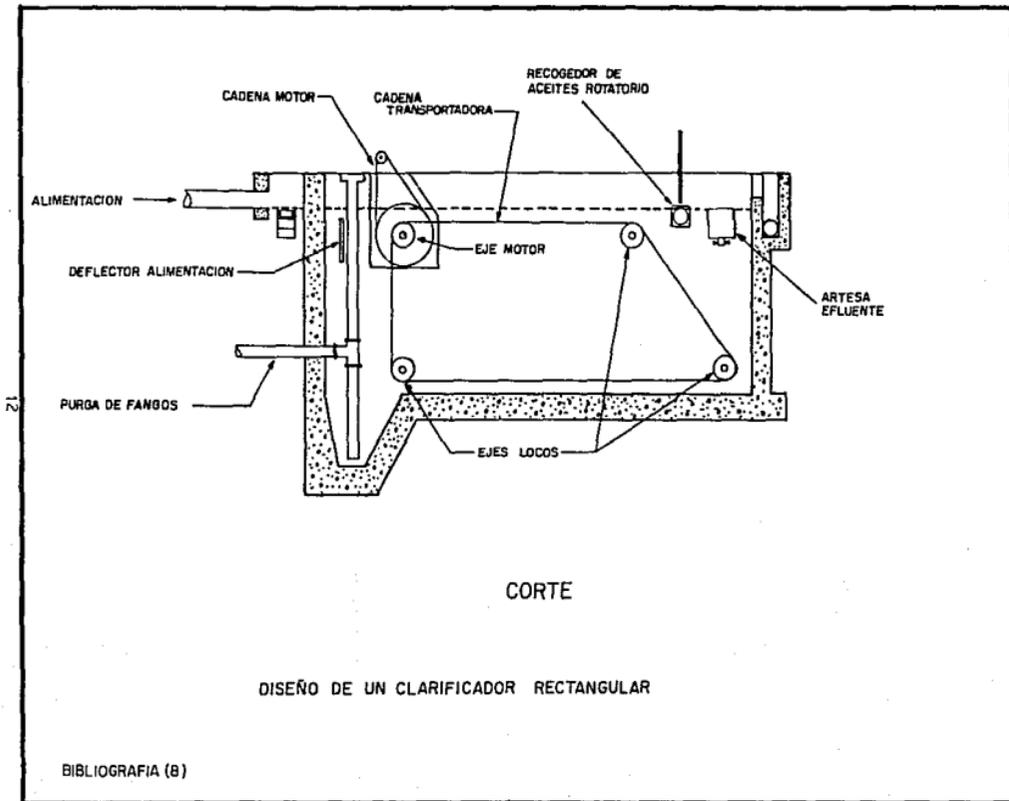
Los tanques de sedimentación pueden variar desde una simple excavación en el terreno hasta una estructura elaborada de varios pisos de acero u hormigón. Pueden tener la forma de tanques rectangulares estrechos y largos, tanques cuadrados o casi cuadrados, y tanques circulares. Aunque la geometría del tanque es importante, su rendimiento está relacionado con sus partes componentes.

Si estas están bien diseñadas, el tanque tendrá buen rendimiento. El buen diseño se basa en un conocimiento de la hidráulica práctica. Los estudios de los modelos indican que el dispositivo de entrada es el accesorio más crítico. El tabique deflector a la salida y la artesa son los accesorios críticos que siguen en importancia a los anteriores citados del tanque.

Existe una variedad de tamaños de tanques de sedimentación. La profundidad del tanque puede oscilar entre 2.13 y 4.56 m. siendo las profundidades más corrientes 2.43 y 3.65 m. Los tanques circulares más corrientes son de 30.4 m de diámetro, pero el tamaño puede oscilar entre 10.64 y 60.8 m. Los tanques rectangulares se construyen corrientemente de 30.4 m de longitud pero pueden encontrarse de 91.2 m de largo. La anchura del tanque es a menudo controlada por el equipo disponible de recogida y eliminación de fango. Las proporciones de longitud-anchura empleadas corrientemente en el diseño oscilan entre 3:1 y 5:1. Las pendientes del fondo oscilan entre 1% para tanques rectangulares y de 7 a 8% para tanques circulares. El tiempo de permanencia de sedimentación varía desde menos de una hora hasta más de un día. Los tanques que se limpian mecánicamente se diseñan generalmente para un tiempo de permanencia de 1.5 a 3 horas. En algunos casos, precisamente para instalaciones pequeñas puede ser adecuado sacar el fango con métodos manuales. (9)

(8) Metcalf and Eddy Boston. Wastewater Engineering, Collection, Treatment, Disposal.

(9) Ibid. (8)



3. ZONA DE DECANTACION. La decantación ocurre cuando las partículas se agregan, formando una masa que decanta como un manto con una interfase distintiva entre el fango decantado y el efluente clarificado. La sedimentación por zona parece ocurrir en suspensiones mas concentradas tales como el fango activado y suspensiones floculadas o coaguladas (concentraciones mayores de 500 mg/l).

1.2. TRATAMIENTO DEL FANGO.

1.2.1. INTRODUCCION.

El tratamiento posterior de los residuos descargados de la planta de tratamiento (sedimentación) es el objetivo de este capítulo.

Los residuos son mayormente retenidos como suspensiones de sólidos en líquidos. Los sólidos en suspensión pueden ser precipitados químicos formados por la reacción de los compuestos químicos añadidos con los contaminantes disueltos, productos formados por la adición de coagulantes a residuos que contienen contaminantes en suspensión y estado coloidal, microorganismos en exceso, sintetizados en el tratamiento biológico de los residuos absorbentes utilizados para separar los contaminantes disueltos, o los sólidos decantables en el residuo bruto. Además, de estos fangos, los residuos pueden ser retenidos en formas tales como salmuera, arenilla, etc.. (10)

El volumen del fango producido en los procesos de tratamiento de residuos es normalmente pequeño comparado con el volumen del residuo tratado. Por otra parte, mediante procesos de tratamiento de fangos se elimina normalmente gran cantidad de agua del fango. Pero a pesar del volumen de fango comparativamente pequeño, el costo de tratamiento del mismo y su vertido constituyen una parte muy significativa del costo total del tratamiento.

Levin (11) situó el costo del vertido final de fangos del 25 al 50% del coste de tratamiento del agua residual y observó que la fracción de coste atribuible al vertido final de fangos aumenta generalmente con la planta.

Hudson (12) calculó que la cantidad de sólidos producidos en las plantas de tratamientos de aguas residuales industriales fue de 50 millones de toneladas al año, mientras que el cálculo correspondiente para las plantas municipales fue de 11 millones de toneladas al año. En su cálculo supuso que la concentración media de sólidos en suspensión separados de los residuos industriales era casi 2 veces el de los residuos municipales.

(10) Metcalf and Eddy Boston. Wastewater Engineering, Collection, Treatment, Disposal.

(11) Ibid.

(12) Ibid.

Las operaciones industriales son muy variadas, y de allí que el vertido de fangos puede ser un problema trivial en una planta, pero mayor en otra. (13)

1.2.2. ALTERNATIVAS EN LA MANIPULACION DE LOS FANGOS.

Si los fangos no pueden ser retornados a la tierra, agua o aire de manera económica e inocua, entonces ha de procurarse un tratamiento especial para el fango. Los objetivos normales del tratamiento del fango son reducir su volumen de vertido y/o alterar la naturaleza del fango a fin de volverlo inofensivo.

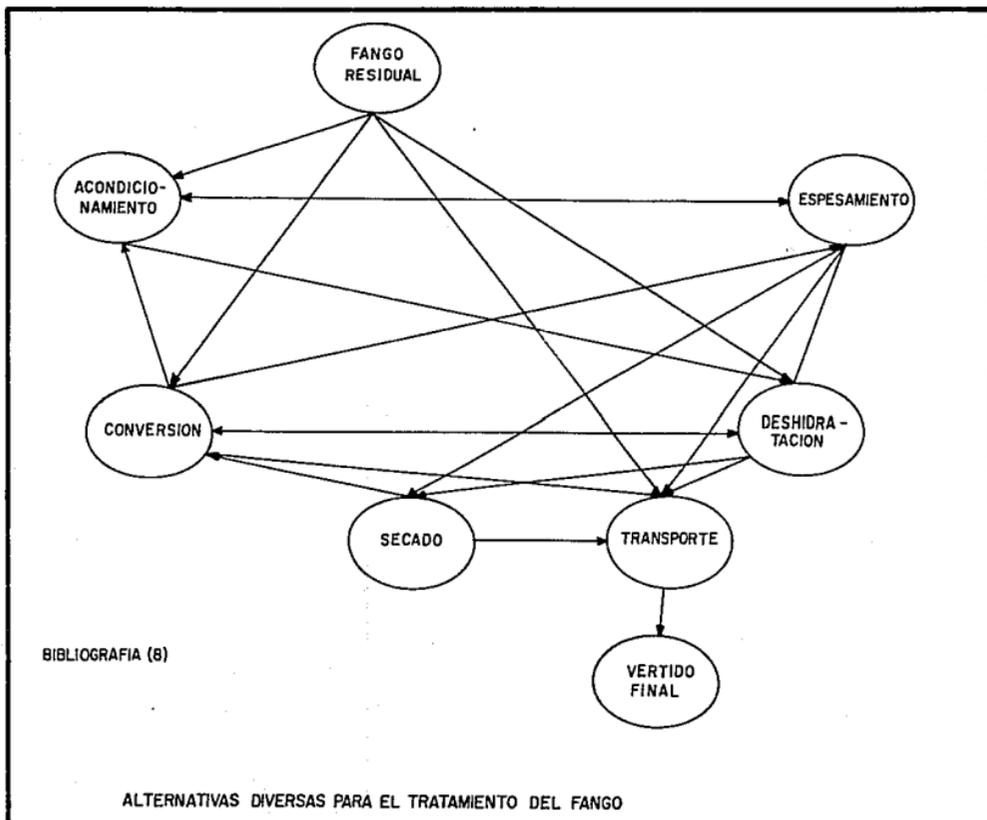
Para conseguir estos objetivos, se requieren técnicas de acondicionamiento, espesamiento, deshidratación, secado y conversión de fangos antes de su vertido final.

El acondicionamiento del fango implica una variedad de técnicas químicas, físicas y biológicas con el fin de alterar las características de este y hacer más eficaz la separación posterior del agua. El espesamiento es la primera etapa de concentración de sólidos en el fango y se lleva a cabo mediante técnicas de gravedad o flotación. En el proceso de deshidratación se obtiene un fango con una concentración de sólidos elevada y se lleva a cabo por medios tales como filtración a vacío o centrifugación, y el secado se refiere a una eliminación posterior de humedad a temperatura ambiente o elevada. La "conversión" como se utiliza aquí, se refiere a los métodos químicos, físicos o biológicos utilizados para alterar los constituyentes del fango y convertirlos en inofensivos, no viables o inextraíbles cuando se liberan al medio ambiente. Los procesos tales como digestión, desinfección e incineración están considerados dentro de esta categoría. La incineración se adopta como un proceso de conversión porque altera la calidad de los constituyentes del fango pero se obtienen gases y sólidos que por último deben retornarse inofensivamente al medio ambiente.

La figura No. 3 ilustra los diferentes caminos en que puede llevarse a cabo estos métodos de tratamiento de fangos para que finalmente se pueda vertir adecuadamente el fango al medio ambiente. La finalidad de la ilustración no consiste en describir la forma de llevar a cabo el tratamiento, sino indicar las alternativas a utilizar en la solución del problema de manejo y vertido de fangos. La figura indica que un proceso de tratamiento determinado, por ejemplo, la filtración a vacío, puede encajar dentro de los esquemas de manejo de fangos en una variedad de formas.

La misión del Ingeniero consiste en seleccionar la mejor trayectoria entre las alternativas ilustradas en la figura, desde el "fango de desecho" al vertido definitivo.

(13) Metcalf and Eddy Boston. Wastewater Engineering, Collection, Treatment, Disposal.



La solución definitiva no debe causar problemas de contaminación del aire, agua o suelo ni afectar a la estática. Además, la mejor solución debe conseguir estos objetivos al menor costo posible. Entre los factores que influyen las decisiones sobre la selección de la trayectoria adecuada, están la relativa facilidad con que el agua puede separarse del fango, las características químicas y biológicas del fango, el tamaño del equipo. La disponibilidad de lugares para el vertido, la distancia de dichos lugares, la opinión pública, y el deseo general de recuperación y reciclaje de los constituyentes del fango y de vivir en armonía con el medio ambiente.

1.2.3. CARACTERÍSTICAS DE LOS FANGOS.

Las características de los fangos son tan variadas como los residuos que las originan. Aunque se pueden deducir algunas generalizaciones sobre los fangos a partir de las plantas de tratamiento de residuos municipales y los procedimientos de industrias particulares, los fangos en particular pueden variar totalmente de la norma.

A continuación se presentan algunas de las características de los fangos más importantes que se deben considerar:

- Concentración.
- Peso específico.
- Propiedades reológicas.
- Propiedades deshidratantes.
- Poder calorífico.
- Propiedades químicas.
- Propiedades biológicas.

1.2.4. ACONDICIONAMIENTO DEL FANGO.

El acondicionamiento del fango se refiere a los métodos químicos y físicos utilizados para alterar las propiedades del fango con el fin de eliminar el agua más fácilmente. En general, el objetivo consiste en transformar la masa de fango gelatinosa y amorfa en un material poroso que libere fácilmente el agua.

La mayor parte de la experiencia americana sobre el acondicionamiento del fango está en conjunción con la filtración al vacío de los fangos, pero el acondicionamiento también puede llevarse a cabo mediante otros procesos, tales como centrifugación, filtración en filtro arena y espesamiento por

flotación y gravedad. El objetivo del acondicionamiento del fango varía algo según el proceso que se utilice para eliminar el agua.

Se debe admitir que la tecnología del acondicionamiento no ha avanzado lo suficiente como para seleccionar, a priori, la técnica de acondicionamiento ideal que se requiere para transformar un fango determinado de tratable por un proceso particular. De hecho, debe llevarse a cabo una serie de ensayos de tanteo para una serie de condiciones. Entonces se evalúa la eficacia de los métodos alternativos de acondicionamiento mediante el uso de parámetros tales como la resistencia específica, coeficiente de comprensibilidad, rendimiento, velocidad ascensional y velocidad de sedimentación según el proceso de deshidratación o espesamiento que se utilice. A continuación se mencionan algunos métodos de acondicionamiento mas empleados:

- Métodos de acondicionamiento químicos.
- Métodos de acondicionamiento físicos.
- Acondicionamiento con calor.
- Acondicionamiento por congelación.
- Uso de aditivos.

1.2.5. ESPESAMIENTO.

El espesamiento es la primera operación que se utiliza para eliminar parte del agua del fango, con el fin de reducir su volumen. Esta operación es el procedimiento mas económico para llevar a cabo una reducción grande de volumen de fango. El espesamiento se lleva a cabo por medio de espesadores de gravedad o de flotación. Las centrifugas trabajan algunas veces en condiciones tales que se obtienen resultados comparables con los obtenidos de los espesadores.

El espesamiento se usa en la mayoría de plantas de tratamiento de aguas residuales. Esto se debe al hecho de que esta operación está forzosamente involucrada en la mayoría de los procesos que separan la materia en suspensión del flujo residual y la concentran formándose un fango. Por ejemplo, los clarificadores por gravedad o por flotación que se utilizan para obtener un efluente esencialmente libre de materia en suspensión, tiene como función auxiliar la de concentrar los sólidos en un volumen de fango pequeño.

Cuando es inadecuado llevar a cabo el espesamiento del fango dentro del proceso inicial, deben usarse espesadores separados. Para obtener la reducción de volumen adicional. Los clarificadores, además de tener la función de espesamiento, deben diseñarse, para obtener el grado de clarificación deseado.

Existen dos tipos de espesamiento:

Espesamiento por gravedad y flotación.

1.2.6. DESHIDRATACION DEL FANGO.

Con los procesos de deshidratación de fango se logra un grado de humedad comprendido entre los que se alcanzan con los procesos de espesamiento y secado. Para fangos orgánicos se obtienen concentraciones de sólidos en el fango deshidratado, que oscilan entre 20 y 30%, mientras que para fangos inorgánicos se consiguen concentraciones de 60%. Con la deshidratación, los fangos pierden su apariencia de pasta aguada y pueden someterse a los procedimientos de manejo de sólidos.

Los objetivos principales de la deshidratación consiste en preparar el fango para relleno de tierras o espesamiento, reducir los costos de transporte o aumentar la potencia calorífica. La deshidratación se lleva a cabo en lechos de arena, o por métodos mecánicos de deshidratación, incluyendo filtración o vacío, centrifugación y, con menos frecuencia, filtros prensa y filtros de gravedad rotatorios. (14)

1.2.7. SECADO.

En esta sección se trata el secado por calor hasta alcanzar un contenido de humedad del 10%. El objetivo normal del secado del fango consiste en preparar los sólidos para incineración o para la venta como abono. Cuando se incinera el fango seco, se aprovecha el calor del proceso de combustión para el secado.

Para la producción de abono es necesario utilizar una fuente auxiliar de calor.

Las técnicas para el secado del fango son: secado instantáneo, secadores rotatorios y hornos de bandejas superpuestas modificados.

El fango deshidratado alimenta normalmente a los secadores, y el producto obtenido es útil para el embalaje, almacenaje y posterior envío; y además este producto puede considerarse libre de organismos patógenos. En estos procesos, la temperatura de los gases desecado debe elevarse hasta 6,760C con el fin de quemar los compuestos volátiles sin problemas de olor.

(14) Metcalf and Eddy Boston. Wastewater Engineering, Collection, Treatment, Disposal.

1.2.8. PROCESOS DE CONVERSION.

Los procesos de tratamiento del fango considerados hasta este punto, han tenido como objetivo la separación del agua del fango. Los procesos de conversión tratados aquí, tienen como objetivo la modificación de los constituyentes del fango con el fin de convertirlos en inofensivos, no-viables o inextraíbles para que puedan volverse a usar o devolverse el fango al medio ambiente.

Estos procesos incluyen digestión bioquímica, composición, incineración y desinfección.

Excepto la digestión y combustión, los procesos de conversión para modificar las características del fango antes de su vertido final apenas se usan.

1.2.8.1. DIGESTOR ANAEROBICO DE LODOS.

Este proceso es conocido desde finales del siglo pasado. Su función principal radica en que si colocamos los sólidos residuales sedimentables en un tanque cerrado por un periodo largo de tiempo, estos se convierten a estado líquido y se genera un gas combustible que contiene metano.

Una patente registrada por Imhoff (15) en 1904 para el diseño de reactores de digestión anaeróbica, es conocida actualmente como tanques Imhoff. La mayoría de los procesos de digestión usados actualmente son anaeróbicos, a pesar de que la digestión aeróbica es considerablemente mas popular, especialmente para pequeñas unidades.

Usualmente los digestores anaeróbicos son de dos tipos:

- 1) Digestores de etapas individuales.
- 2) De dos etapas.

1.2.8.2. DIGESTOR AEROBICO.

La digestión aeróbica es un proceso en el cual una mezcla de lodos primarios digeribles de un clarificador primario y lodo activado proveniente de un tratamiento biológico, es aerado por un periodo largo de tiempo, dando como resultado una destrucción celular con decremento de los sólidos volátiles suspendidos (S.V.S.).

(15) Diario Oficial de la Federación. México, Miércoles 19 de Octubre de 1988.
Págs. 23-25.

El propósito de la digestión aeróbica es reducir la cantidad de lodo para ser dispuesto subsecuentemente. La reducción resulta de convertir por oxidación una parte sustancial de los productos no volátiles contenidos en el lodo (CO₂, NH₂, H₂).

1.2.8.3. INCINERACION.

Por lo general, el término "incineración" se refiere al proceso que utiliza la descomposición térmica vía oxidación para convertir un desecho en un material menos voluminoso, tóxico y nocivo. Para que sea factible la aplicación de la incineración como método de disposición final de desechos, estos deben estar constituidos en su mayoría por sustancias combustibles ya que además esto posibilita la instalación de un sistema de recuperación de energía a partir del calor desprendido en el proceso. En la mayoría de los casos el desecho tiene un alto contenido de combustible para soportar la combustión, sin embargo existen algunos desechos que no cumplen con esta condición, por lo que es necesario el uso de un combustible auxiliar o de apoyo. (16)

Los principales productos de la incineración desde el punto de vista del producto producido, son el dióxido de carbono, agua y cenizas, mientras que desde el punto de vista de la contaminación ambiental, son los compuestos de azufre, nitrógeno, halógenos y metales pesados tales como el mercurio, arsénico, plomo y cadmio. Si los productos de combustión gaseosos de la incineración contienen compuestos indeseables, dichos gases son sometidos a tratamientos secundarios tales como el post-quemado (en cámaras de combustión secundaria), lavado, filtrado y separación electrostática, usados para eliminar polvos y sustancias que no deben ser emitidas por la chimenea de escape del incinerador. Los efluentes sólidos y líquidos de estos procesos secundarios también requieren de tratamientos previos para su disposición final. (17)

La incineración es pues un proceso mediante el cual son eliminadas en su mayor parte las corrientes de desecho en plantas industriales cuenta con los siguientes beneficios y ventajas potenciales :

1. Reducción de volumen, especialmente de sólidos voluminosos con un alto contenido de combustible.
2. Destrucción y destoxificación, especialmente de combustibles carcinógenos, material contaminado patológicamente, compuestos orgánicos tóxicos o materiales biológicamente activos que pueden afectar a los seres vivos.

(16) Lorenzen, Conway Jackson, Hamza. Hazardous and Industrial Solid Waste Testing and Disposal v-6. Págs. 177-191.

(17) Weber, Walter J. Et.al, Control de la Calidad del agua. Procesos fisicoquímicos.

3. Disminuye los efectos contaminantes sobre el medio ambiente, especialmente de materiales orgánicos que pueden emerger y producir olores desagradable generados por otros métodos de disposición final de desechos tales como el relleno sanitario.

4. Cumplimiento de las disposiciones regionales de contaminación, especialmente de generación de gases y humos conteniendo compuestos odoríferos, orgánicos fotoactivos, monóxido de carbono, polvo y partículas sólidas todos ellos sujetos a las limitaciones legales de contaminación.

5. Recuperación de energía, factible cuando se dispone de grandes cantidades de desecho combustible y se requieren sistemas de producción de vapor en instalaciones cercanas.

Estas ventajas han justificado el desarrollo de una gran variedad de sistema de incineración que difieren en funcionamiento y complejidad para satisfacer las necesidades de procesamiento de residuos sólidos en plantas industriales y municipales.

Las desventajas principales de la incineración son :

1. Costo. La incineración constituye una etapa de procesamiento de desechos costosa, tanto en la fase de inversión inicial así como durante la operación.

2. Problemas de operación. La variación de la composición de los desechos y la severidad de las condiciones de operación del incinerador, generan muchos problemas prácticos, tales como el manejo de los desechos, el alto requerimiento de mantenimiento, etc.

3. Repercusiones secundarias en el medio ambiente. Las cenizas producidas y las aguas residuales de los tratamientos secundarios aplicados para purificar los gases de combustión, a menudo contienen severos contaminantes que requieren de un adecuado manejo para evitar problemas ambientales de salud pública. (18)

4. Riesgo técnico. Debido a los cambios de características de los desechos y a que el análisis del proceso es difícil, existe el riesgo de que un equipo de incineración resulte obsoleto e inválida su garantía de funcionamiento por un cambio en las condiciones y características del desecho.

A pesar de estas desventajas, la incineración ha persistido como un importante concepto en el manejo de desechos.

En el mundo existen muchas rutas de incineración, las cuales difieren entre sí principalmente por el tipo de cámara o sistema de combustión utilizado, el sistema de alimentación y manejo de desechos dentro del incinerador y el proceso de lavado de gases residuales.

(18) Ricardo A. Zetina. La Contaminación Atmosférica en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. Tesis.

1.2.9. VERTIDO FINAL.

Ninguno de los métodos de tratamiento del fango discutidos hasta aquí da lugar a un vertido total y final de todos los componentes del fango. Finalmente, todos los componentes del fango deben devolverse al medio ambiente y sólo existen tres medios, aire, agua y la tierra. (19).

1.2.9.1. VERTIDO AL AIRE.

La descomposición biológica y térmica de los componentes orgánicos son medios de vertido final al aire. Los productos finales de tratamiento biológico o combustión de los compuestos carbonáceos son bióxido de carbono y agua, los cuales pueden devolverse satisfactoriamente al aire. Sin embargo, el aire no puede considerarse por sí mismo un lugar adecuado para el vertido final de todos los componentes del fango. El aire no es un lugar adecuado para el vertido de partículas y algunos productos gaseosos de la combustión. (20)

1.2.9.2. VERTIDO AL AGUA.

El único componente del fango, común con el medio acuoso, es la humedad. Aunque la humedad se separe por espesamiento y métodos de deshidratación, el fango debe tratarse antes de descargarlo a las aguas superficiales. Por tanto el vertido final de los fangos al medio acuoso no constituye una alternativa razonable.

Sin embargo, los océanos siempre se han considerado como un lugar disponible para el vertido final de los fangos (*). Se han utilizado dos sistemas de vertido al mar : por tubos submarinos y descarga a través de difusores y transporte barca o petrolero.

1.2.9.3. VERTIDO A TIERRA.

A la vista de las alternativas dejadas por las dos secciones anteriores, resulta evidente que todos o parte de los fangos producidos en plantas de tratamiento interiores, deberán vertirse

(19) Diario Oficial de la Federación. México, miércoles 19 de octubre de 1988. Págs. 23-25.

(20) Ibid. 18.

(*) Actualmente este tipo de acciones están en un fuerte proceso de discusión, debido a los grandes daños que ocasionan al entorno ecológico.

finalmente en el terreno. Los sistemas de vertido en el terreno pueden clasificarse en sistemas que apliquen el fango en el terreno como abono para cosechas normales y otro tipo de vegetación y en sistemas en que simplemente se amontona el fango sobre el terreno.

Debido a que la mayor parte de fangos residuales son difíciles de deshidratar, puede resultar ventajoso aplicar estos fangos al terreno en forma líquida.

Aunque se debe aprender mucho a cerca de la influencia que el vertido del fango sobre el terreno puede tener en la calidad del agua. Parece posible que cualquier problema que pueda presentarse al respecto puede resolverse por medio de un tratamiento del fango adecuado y buenas técnicas sobre la administración del terreno. Parece ser que el mayor problema reside en la aceptación por parte del público. (1*)

(1*) La opinión pública presenta fuerte oposición a la instalación de tiraderos industriales debido al mal manejo de la información técnica al respecto, además que esto es aprovechado por gente que convierte un problema técnico en un problema político.

CAPITULO II

**DESCRIPCION DE LOS EQUI -
POS EXISTENTES PARA EL
TRATAMIENTO DE LODOS
RESIDUALES.**

2.1. ESPESAMIENTO DE LODOS.

VENTAJAS :

1. Reduce los costos de la digestión de lodos.
2. Reduce el volumen del lodo para su posterior disposición en la tierra o en el mar.
3. Incrementa la economía de los sistemas de eliminación de agua. (centrifugación, filtros de vacío, filtros de presión).

2.1.1. ESPESAMIENTO POR GRAVEDAD.

Los espesadores son tanques de sección circular provistos de un rastrillo rotatorio con un mecanismo similar a los clarificadores.

2.1.2. ESPESADOR DE FLOTACION.

Pueden ser utilizados para lodos y especialmente para lodos gelatinosos, tales como los que provienen de los procesos de lodos activados.

2.2. ELIMINACION DEL AGUA POR FILTRACION AL VACIO.

La filtración al vacío es el procedimiento más usual para eliminar agua de los residuos sólidos. En la filtración al vacío el agua es removida por la aplicación de vacío a través de un medio poroso el cual retiene los sólidos, pero permite el paso a través de los líquidos. Existen diferentes tipos de medios de filtración tales como nylon, fibras de dacrón o filtros metálicos.

La unidad central es un tambor rotatorio el cual gira en un tanque de lechada, el vacío es aplicado en la parte sumergida del tambor y los sólidos son retenidos en la superficie del tambor.

Después comienza el secado por transferencia de líquido al aire a través de la torta por aplicación del vacío, la torta es removida por una cuchilla y llevado a una campana para disponer de el finalmente, el medio filtrante es entonces lavado por un spray de agua antes de volver a comenzar una inmersión en el tanque de lechada.

2.3. FILTRACION A PRESION.

La filtración de lodos en filtros prensa es económicamente factible cuando los costos de operación son relativamente bajos, ya que tiene dificultad de total automatización de la operación. Recientemente sistemas con completa operación automática están disponibles comercialmente con apertura automática de la prensa, descarga de la torta y lavado del medio filtrante entre los ciclos. Estos nuevos desarrollos ofrecen filtros prensa para usarse mas frecuentemente en el futuro.

La mayor ventaja de los filtros prensa sobre filtros centrifugados al vacío es que se obtiene una torta seca. Esto es especialmente ventajoso si la filtración es seguida por una incineración.

2.4. CENTRIFUGACION.

La eliminación de la humedad por medio de la centrifugación ha sido aplicada con una frecuencia que se incrementa en los últimos años.

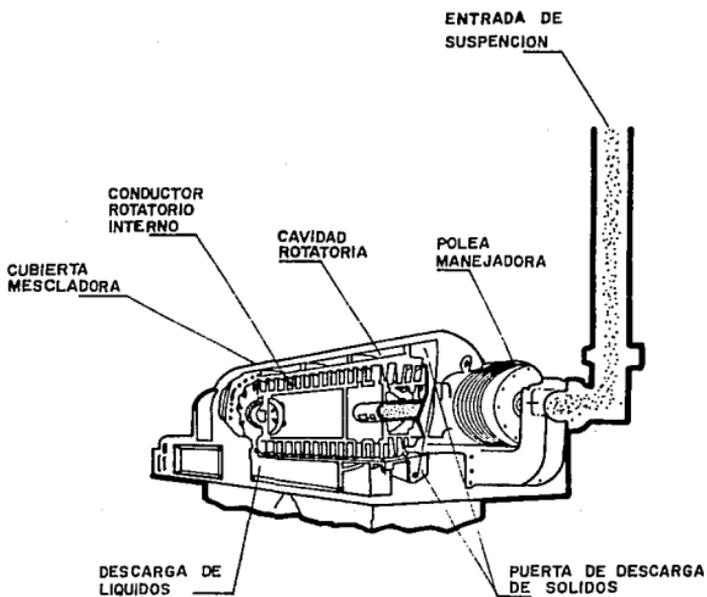
Un diagrama tipo de centrifugación para este servicio es el mostrado en la figura 4 los componentes de la centrifugación son:

1. Cubierta fija.
2. Tasa rotatoria.
3. Transportador rotatorio interno.
4. Componentes de manejo (motor y sistema de transmisión).
5. Puerta de entrada de la suspensión.
6. Puerta de descarga de sólidos.
7. Puerta de descarga de líquidos.

Los lodos sólidos son compactados por la fuerza centrifuga contra las paredes internas de la tasa rotatoria, entonces el convertidor las recoge y las lleva hacia la parte de descarga de sólidos. El líquido es descargado en el final opuesto de la tasa. Diseños no estables están disponibles para datos de laboratorio.

2.5. SECADO DE LODOS EN LECHO.

El secado de lodos con aire en lechos de arena es uno de los métodos más económicos para la eliminación del agua. Este método,



DESHIDRATADOR CENTRIFUGO DE SOLIDOS CONTINUO
TIPO BIRD

BIBLIOGRAFIA (8)

es el mas común para las plantas de tratamiento pequeñas, aguas residuales tanto industriales como domésticas.

La factibilidad económica de este proceso depende grandemente de:

1. Disponibilidad de tierra a un costo razonable, y
2. Condiciones dinámicas favorables (clima seco y caliente) conduce a condiciones de evaporación óptimas.

La arena requerida es una función de:

1. La cantidad de lluvia y la velocidad de evaporación, y
2. Características del lodo (por ejemplo, lodos gelatinosos requieren una arena muy gruesa).

La eliminación de agua de lodos ocurre por dos diferentes mecanismos:

1. Precolado o trasminado del agua a través del lecho de arena. La proporción del agua removida varía del 20 a 55% dependiendo de los sólidos contenidos inicialmente y las características de los sólidos.

El precolado se completa generalmente de uno a tres días, con una concentración de los sólidos resultantes de 15-25%.

2. Evaporación de agua. La evaporación ocurre por mecanismos de convección y radiación. La velocidad de evaporación es más lenta que la eliminación por precolado y esta se relaciona con la temperatura, humedad relativa y velocidad del aire.

2.6. TRATAMIENTO DE PRE-ELIMINACION DE AGUA EN LOS LODOS.

Frecuentemente la eliminación del agua de los lodos es difícil, especialmente cuando se tiene una consistencia gelatinosa. La eliminación de lodos gelatinosos por filtración al vacío por ejemplo, es excesivamente difícil, y un tratamiento previo puede ser recomendado.

Existen dos métodos para el tratamiento previo de lodos:

1. Coagulación química, y
2. Tratamiento con calor.

2.6.1. COAGULACION QUIMICA.

La adición de coagulantes químicos promueve la coalescencia de partículas de lodo y esto permite disponibilidad para filtrarse. Esto puede ser precedido por lavado del lodo, una operación que es conocida como elutreaición. La elutreaición reduce la alcalinidad, y al mismo tiempo minimiza los requerimientos de coagulantes. Los coagulantes mas comunes son $FeCl_3$, Lima y polielectrolitos.

2.6.2. TRATAMIENTO CON CALOR DE LOS LODOS.

Se describen en esta sección tres procesos:

1. Porteus.
2. Zimpro.
3. Proceso Nichols.

Estos procesos involucran la oxidación húmeda de los lodos. Consisten en la oxidación química de sólidos orgánicos en una fase acuosa por dilución de oxígeno en el reactor operado a temperaturas y presiones altas. Las ventajas del tratamiento con calor son que el lodo es esterilizado, deodorizado y puede ser filtrado fácilmente con un filtro a vacío o filtrado con presión.

Un diagrama combinado para el proceso Zimpro y Porteus se muestra en la figura 5.

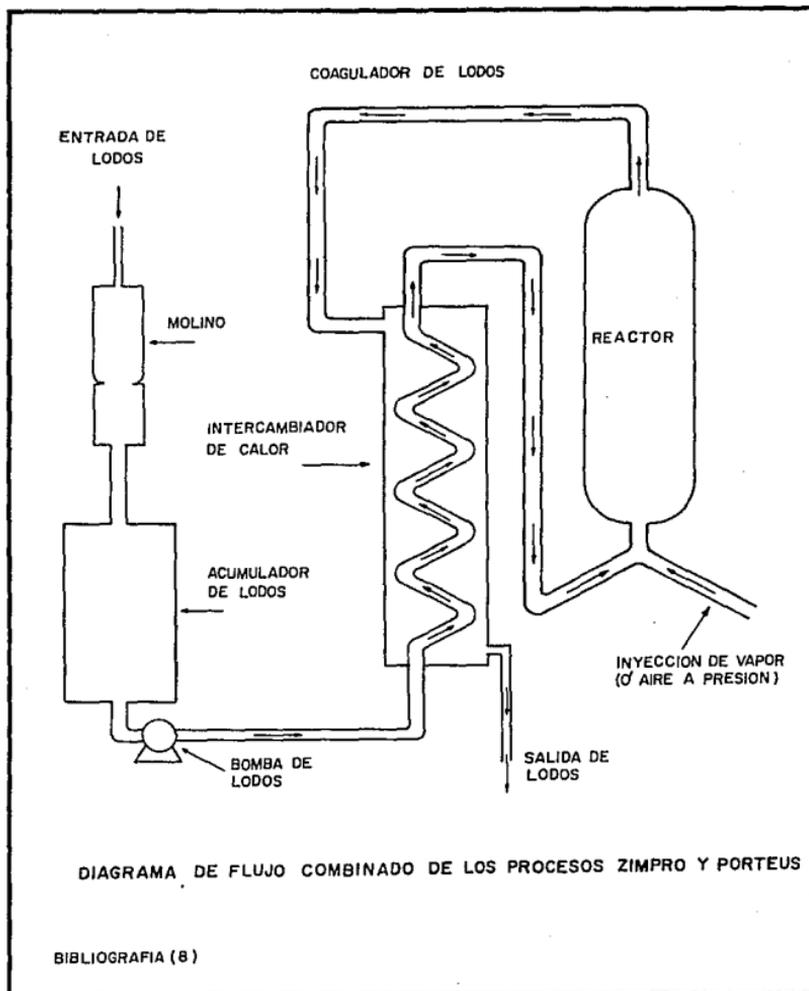
El proceso Porteus involucra operación continua bajo presiones de 180 - 210 psi y temperaturas de aproximadamente 400 grados Fahrenheit. Después pasa a través de un molino. El lodo es bombeado del acumulador a través de un intercambiador de calor donde es precalentado por un efluente de lodo caliente proveniente del reactor; vapor de alta presión es inyectado dentro del reactor donde el tiempo de retención es aproximadamente de 30 minutos. (21)

Una reducción de materia orgánica del 80 al 90% se puede llevar a cabo en este tipo de reactores y en el caso de alguna materia orgánica y amoniacal este puede ser el final del proceso. (22)

El proceso Zimpro difiere del Porteus en el factor de que aire (en lugar de vapor) es inyectado por un compresor de aire que opera a temperaturas máximas de 300 a 600 grados Fahrenheit y la presión de operación es de 150 a 3000 psi. La combustión se completa en un 80 a 90% y el calor liberado por libra de aire es de 1200 a 1400 BTU.

(21) Metcalf and eddy Boston. Wastewater Engineering, Collection, Treatment, Disposal.

(22) Ibid.



El proceso de tratamiento por calor Nichols (figura 6) es un sistema termomecánico que condiciona todos los diferentes tipos de lodo para un quemado efectivo. El lodo es expuesto a una temperatura de 395 grados centígrados durante un período de 30 minutos, rompiendo las estructuras de las células gelatinosas para liberar el agua ocluida. Después de este paso de cambio, la resistencia específica y el tiempo de sucesión capilar del lodo es bajado hasta un punto donde este es fácilmente secado mecánicamente para altas concentraciones de sólidos sin la adición de químicos. (23)

El tratamiento con calor puede ser usado para condicionar todos los tipos de combinaciones de lodos residuales orgánicos incluyendo el lodo activado de difícil manejo. Se ha encontrado que la presencia de residuos industriales no afecta el acondicionamiento del lodo. Como se muestra en la figura 6 el lodo pasa primeramente a través de un filtro y alimenta entonces a bombas de presión. Seguros internos impiden niveles de flujo y velocidades bajas, y aseguran una alimentación continua. El lodo viaja directamente a la sección de intercambio de calor donde es llevado a un proceso de temperatura en dos etapas; el flujo es conducido continuamente a través de tubos a lo largo del reactor, donde se lleva a cabo la transmisión de calor. El lodo tratado viaja de regreso a través del intercambiador de calor, esta vez aumentando mas su calor, y dentro del reactor de tal manera, que el control interno de presión este balanceado. El lodo calentado es entonces descargado dentro de un tanque de decantación. El lodo espesado es removido continuamente fuera del tanque y enviado a un tanque acondicionador de fango equipado con agitadores. Finalmente el lodo acondicionado, espesado y homogenizado bombeado al equipo de eliminación de agua.

2.7. DISPOSICION DE LOS LODOS.

Dos métodos fundamentales son utilizados para la disposición de los lodos: Disposición en tierra o incineración.

La disposición en tierra abarca dos tipos principalmente:

1. Lagunas y
2. Charcas de oxidación.

1. Lagunas. Es una alternativa a bajo costo, cuando se cuenta con grandes extensiones de tierra disponible a bajo costo. El licor sobrenadante es removido continuamente, y eventualmente, la laguna fija los sólidos en un período de 2 a 3 años de 50 al 60% del contenido de la mezcla que puede ser eliminado, entonces la laguna debe abandonarse y seleccionar una nueva localización.

(23) Diario Oficial de la Federación. México, miércoles 19 de Octubre de 1988. Págs. 23-25.

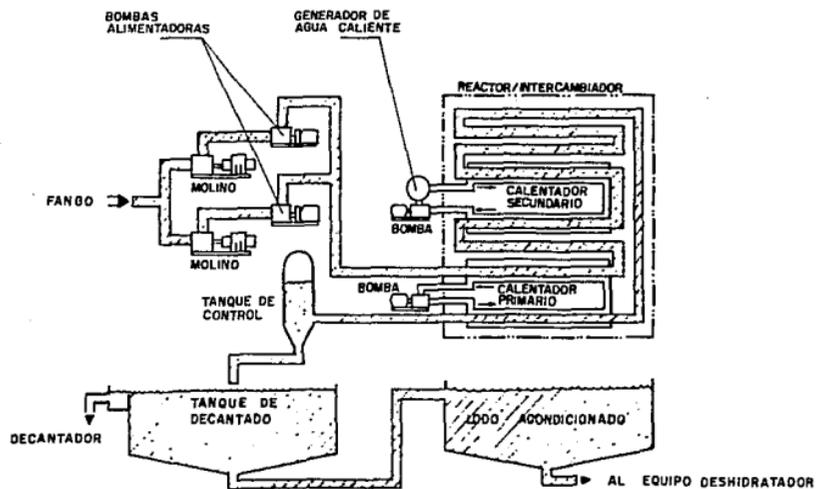


DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE TRATAMIENTO POR CALOR
DE NICHOLS

BIBLIOGRAFIA (8)

2. En las charcas de oxidación una condición aeróbica es mantenida en la superficie debido a la continua presencia de algas. Condiciones anaeróbicas prevalecen en las capas profundas.

2.8. INCINERACION DEL FANGO.

La incineración es frecuentemente utilizada para eliminar el lodo. La combustión autosostenida es posible algunas veces después de que un combustible auxiliar incendia, con lo cual la temperatura del incinerador se eleva por arriba del punto de ignición. Los productos de la incineración son comunmente dióxido de carbono, dióxido de azufre y ceniza. (24).

A continuación se presentan las principales características de los tipos más importantes de incineradores de desechos sólidos usados en el mundo. (25).

2.8.1. INCINERADORES MUNICIPALES.

Un incinerador municipal es un incinerador que puede ser público o privado, diseñado y utilizado principalmente para quemar desechos sólidos comerciales y residenciales provenientes de la comunidad. El diseño de estos incineradores construídos hasta la fecha, difieren bastante entre sí debido al poco desarrollo de la tecnología de incineración, además del desconocimiento de varios parámetros básicos de diseño, los cuales son determinados por los criterios personales de cada diseñador. (26).

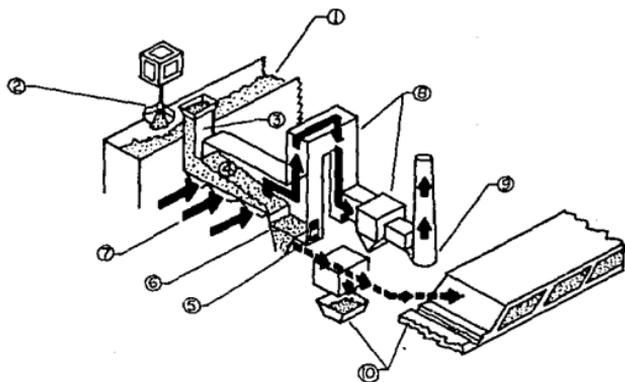
Un incinerador municipal consiste básicamente de los siguientes componentes: (figura No. 7)

1. Un depósito para el almacenamiento de los desechos.
2. Un sistema de grúas y palas para introducir los desechos al ducto de alimentación de la cámaras de combustión.
3. Un mecanismo de transporte de desechos a través de la cámara de combustión.
3. Un mecanismo de trasporte de desechos a través de la cámara de combustión (parrillas u horno rotatorio).
4. Un quemador de combustible auxiliar para iniciar la ignición de los desechos y mantener el proceso de combustión.

(24) Metcalf and Eddy Boston. Wastewater Engineering, Collection. Treatment, Disposal.

(25) J. Guillet. Polymer Science and Technology v-3. Págs. 81-92.

(26) J. Guillet. Polymer Science and Technology v-3. Págs. 81-92.



INCINERADOR MUNICIPAL CON ALIMENTACION CONTINUA

BIBLIOGRAFIA(15)

5. Sistema de transporte al exterior de residuos incombustibles y cenizas inertes.

6. Sistema de ductos para transportar los gases de escape hacia los equipos de recuperación de calor y dispositivos de purificación de gases para el control de la contaminación.

7. Sistemas de ventilación para introducir el aire de combustión en el interior de la cámara, y para expulsar los gases de combustión purificados a través de la chimenea.

La operación de estos incineradores puede ser continua o intermitente dependiendo de la capacidad del sistema de alimentación y de la parrillas transportadoras de desecho en la cámara de combustión.

Existe un número de tipos diferentes de hogares y parrillas diseñadas para satisfacer las diversas necesidades que se presentan en los sistemas de incineración; a continuación se describen brevemente las mas importantes.

HOGAR ESTACIONARIO.

El hogar estacionario es básicamente un piso refractario en el horno sobre el cual se deposita el desecho para su incineración.

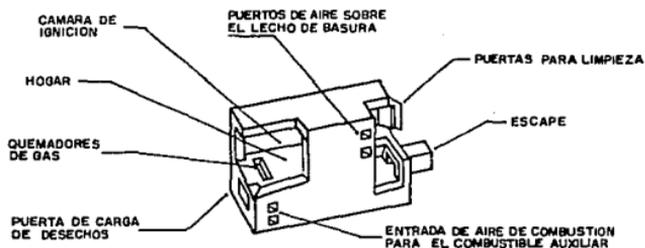
En ausencia de puertos de aire bajo el lecho de basura, el aire se introduce a lo largo de las paredes en la parte superior del horno y la combustión procede de una manera similar que en una fogata u hoguera pero en mejores condiciones gracias a la retención de calor por radiación de las paredes y el techo del horno. Este tipo de incinerador se aplica principalmente en pequeños incineradores comerciales e industriales, así como en crematorios e incineradores de desechos hospitalarios. Incluyen quemadores de gas para mantener la temperatura elevada dentro de la cámara de combustión fig. 9.

PARRILLAS ESTACIONARIAS.

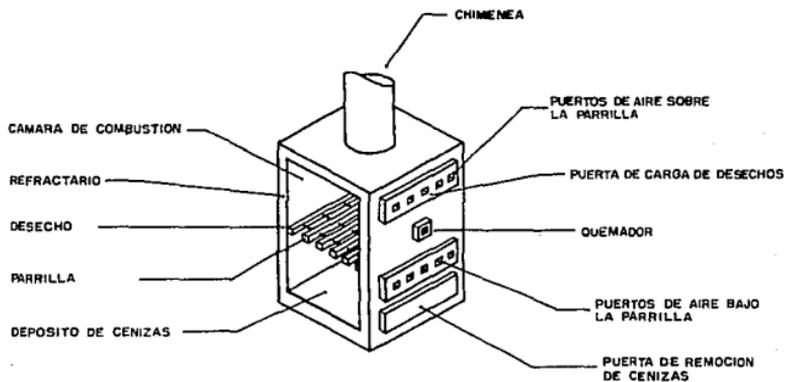
Los hornos de parrillas estacionarias son muy similares a los de hogar estacionario, con la diferencia de que el soporte del desecho que se incinera está constituido por barras o parrillas con aberturas y rendijas por donde se puede alimentar una cierta cantidad de aire de combustión y además permite la descarga de cenizas residuales a través de las aberturas. Estos sistemas de incineración requieren generalmente de alimentación manual colocando el desecho sobre barras o parrillas deslizables. Ver fig. 9.

PARRILLA CIRCULAR.

Este tipo de parrilla se utiliza en incineradores de operación intermitente; la parrilla se localiza en el fondo de una cámara de combustión cilíndrica y consiste básicamente de un cono rotatorio



INCINERADOR DE HOGAR ROTATORIO



BIBLIOGRAFIA (15)

INCINERADOR DE PARRILLAS ESTACIONARIAS

provisto con aspas giratorias usadas para la agitación de los desechos durante la combustión y para transportar las cenizas al depósito de residuos incombustibles. El aire de combustión se suministra a través de la parrilla y el centro del cono mediante una ventilación forzada. (27)

En estas parrillas el desecho se descarga sobre el cono y después se va desplazando lentamente hacia la periferia de la parrilla gracias a los brazos agitadores. Este tipo de incineración produce grandes emisiones de sólidos volátiles por lo que no se ha favorecido su aplicación. Ver fig. 11.

HORNO ROTATORIO.

El sistema de incineración continua de desechos es uno de los métodos de disposición final más utilizado y se aplica principalmente para incinerar una gran variedad de residuos lodosos y desechos sólidos. El principal componente del horno rotatorio es un cilindro semi-horizontal metálico forrado de material refractario el cual gira en torno a su eje. El horno rota o gira continuamente exponiendo las superficies del material de desecho al calor y al oxígeno en la corriente de gases. El tiempo de residencia del desecho dentro del horno es función tanto de la velocidad de rotación así como de la inclinación que presenta sobre el plano horizontal y los elementos de retención que pueda haber en el interior del horno cilíndrico. (28)

El quemador que inicia la ignición y proporciona una fuente suplementaria de calor se puede colocar en cualquiera de los extremos de l horno . Las cenizas y residuos de combustión se descargan por el extremo inferior y hacia los transportadores de residuos. En ocasiones parte de los gases de combustión se reciclan al horno para ser usados en el secado parcial del desecho entrante y/o se pueden pasar a través de un hervidor para recuperar la energía producida en el proceso. Ver fig. 10.

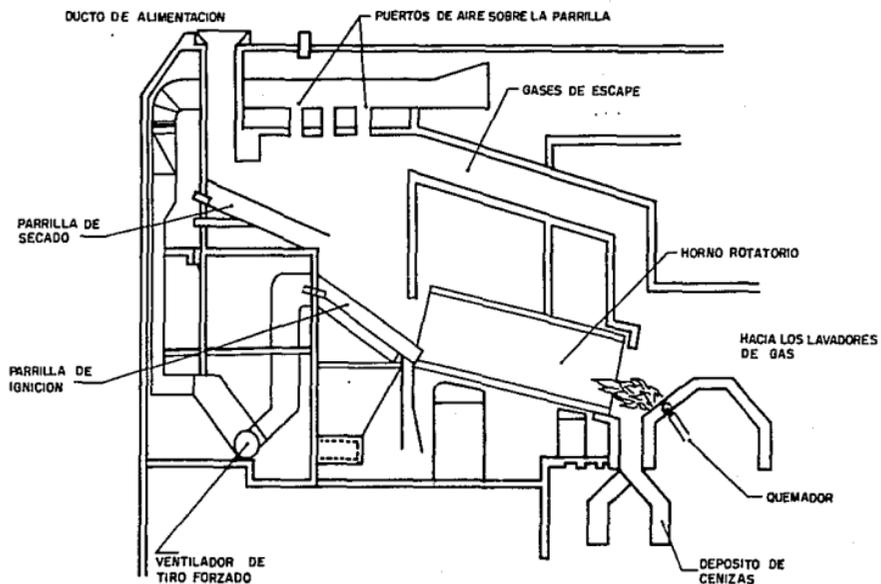
PARRILLAS MECANICAS EN OPERACION CONTINUA.

Estas parrillas tienen una amplia aplicación en sistemas continuos de incineración principalmente de desechos municipales, ya que mantienen un flujo constante de desecho desde el ducto hasta la alimentación, pasando por el área de combustión hasta el extremo de descarga de residuos de combustión. Por debajo de la parrillas se alimenta parte del aire de combustión que además proporciona un efecto de enfriamiento en las partes metálicas de las parrillas para protegerlas de la oxidación y del excesivo calentamiento. (29)

(27) J. Guillet. Polymer Science and Technology v-3. Págs. 81-92.

(28) Ibid.

(29) J. Guillet. Polymer Science and Technology v-3. Págs. 81-92.



BIBLIOGRAFIA (15)

INCINERADOR DE HORNO ROTATORIO

PARRILLAS MOVILES DE BANDA.

Consisten en un sistema de transportación metálico semejante a una banda transportadora. Consiste de una parrilla móvil inclinada para recibir al desecho en donde se crea un efecto parcial de secado, y a continuación otra parrilla en posición horizontal donde se realiza la combustión para después tirar las cenizas en un depósito u otro transportador. En la parte superior de la cámara de combustión en la que se encuentran las parrillas, se localiza el ducto de salida de los gases de combustión. Ver fig. 12.

PARRILLAS OSCILANTES.

Es una parrilla con elementos metálicos que no tienen desplazamiento a lo largo del horno, sino que tienen un mecanismo mediante el cual los elementos metálicos oscilan verticalmente produciendo un transporte continuo del desecho a lo largo de la parrilla, la cual se encuentra ligeramente inclinada con el extremo inferior dirigido hacia la descarga de residuos de combustión. Este sistema proporciona un adecuado mezclado al desecho durante la combustión, además de atribuir la basura y las cenizas sobre la parrilla para evitar que haya zonas de la parrilla expuestas al fuego directo de los quemadores. Ver fig.13.

PARRILLAS RECIPROCANTES.

Esta parrilla consiste de elementos metálicos rectangulares que se desplazan alternadamente hacia adelante y hacia atrás para proporcionar el movimiento y agitación al desecho. El sistema de parrillas de descarga de los residuos de combustión. Existen otros sistemas similares que empujan la basura en sentido inverso a la zona de descarga con la cual se genera una agitación mas efectiva, ya que se crea un efecto de enrollamiento del desecho sobre la parrilla ya que el desecho tiende a bajar por gravedad gracias a la inclinación de las parrillas. Ver fig. 14.

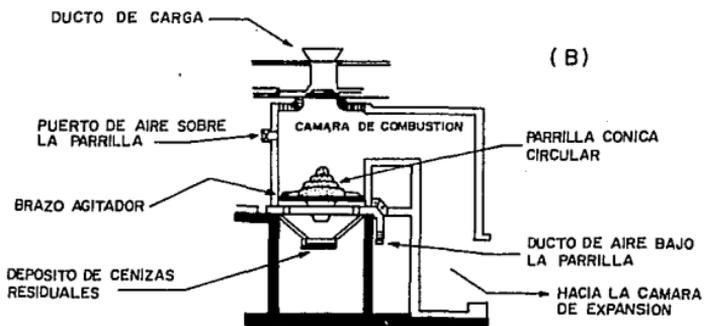
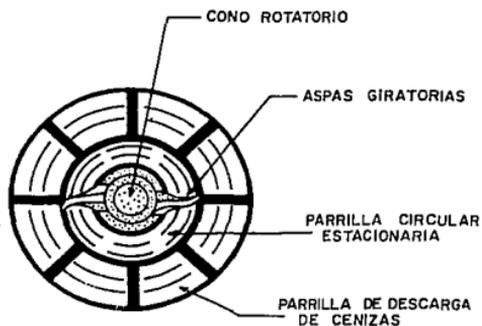
PARRILLAS RODANTES.

Las parrillas rodantes consisten básicamente de rodillos metálicos giratorios sobre los que se transporta el desecho. Este sistema fue desarrollado en Alemania para contrarrestar el alto costo de las múltiples parrillas de banda requeridas para obtener una mejor combustión. (30).

La rotación de los rodillos del emparrillado genera una fuerte acción de mezclado sobre los desechos, además de transportarlos hacia los sucesivos rodillos del sistema en donde se lleva a cabo el secado, ignición, combustión y cernido de las cenizas incombustibles a través de las parrillas para su depósito en los transportadores de residuos. Ver fig.15.

(30) S.T. Kolaczowski and B.D. Crittenden. Management of Hazardous and Toxic Wastes in the Process Industries. Págs. 628-635.

(A)

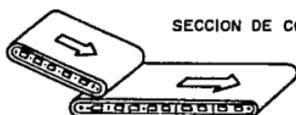


(A) VISTA DE PLANTA DE LA PARRILLA CIRCULAR

(B) HORNO CILINDRICO CON PARRILLA CIRCULAR

BIBLIOGRAFIA (15)

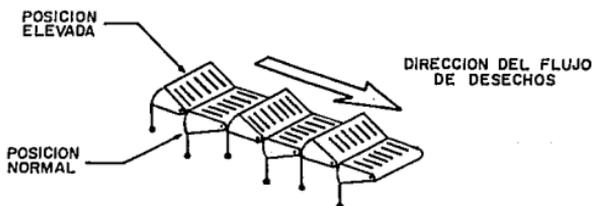
SECCION DE SECADO



SECCION DE COMBUSTION

DIRECCION DEL FLUJO
DE DESECHOS

PARRILLAS MOVILES DE BANDA



POSICION
ELEVADA

POSICION
NORMAL

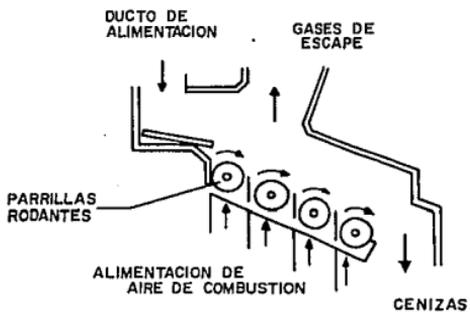
DIRECCION DEL FLUJO
DE DESECHOS

PARRILLAS OSCILANTES

BIBLIOGRAFIA (15)



PARRILLAS RECIPROCANTES



PARRILLAS RODANTES

BIBLIOGRAFIA (15)

2.8.2. INCINERADORES DE DESECHOS INDUSTRIALES.

Los incineradores de lodos y ciertos desechos sólidos comerciales e industriales difieren sustancialmente de aquellos utilizados para desechos municipales, dependiendo del tipo de residuos de que se trate. Estos sistemas de incineración se diseñan o seleccionan a partir de las necesidades particulares del desecho y sus características específicas, donde se deben cuidar las propiedades químicas, corrosivas y contaminantes de los desechos y residuos de combustión. (31).

A continuación se describen brevemente algunos tipos de incineradores de desechos industriales. Estos incineradores presentan en común ciertos elementos básicos tales como el sistema de alimentación del desecho, estructura de la cámara de combustión con material refractario y cubiertas metálicas, soporte de desecho con parrillas u hogares refractarios, sistema de suministro de aire de combustión, sistema de ductería para los gases de escape y sistemas de transporte de residuos incombustibles y equipos de control de contaminación para purificar los gases de escape.

Los tipos de incineradores comunmente usados para procesar desechos industriales son:

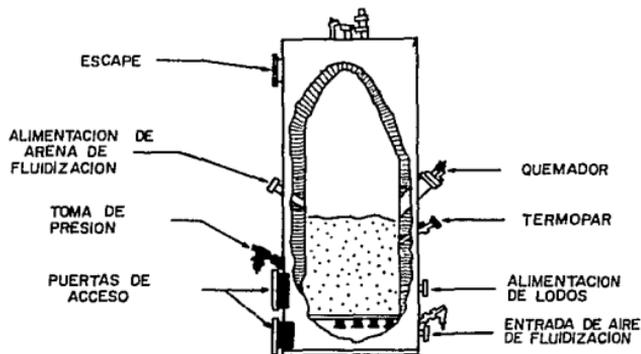
- a) Incinerador de lecho fluidizado.
- b) Incinerador de hogar múltiple.
- c) Incinerador de horno eléctrico.
- d) Incinerador de horno cíclico.

a) INCINERADOR DE LECHO FLUIDIZADO.

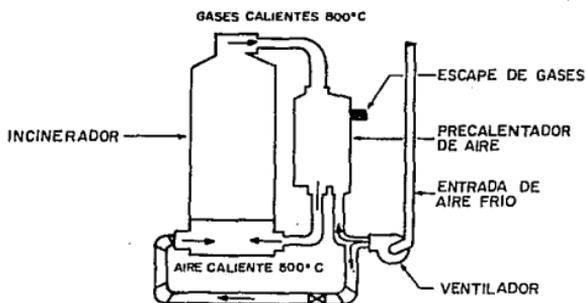
El incinerador de lecho fluidizado consiste de un recipiente forrado de material refractario que contiene en la parte inferior material granular inerte, para soportar la fluidización de las partículas de desecho durante la operación. El material granular o arena de fluidización se coloca sobre un plato o parrilla perforada a través de la cual se introduce aire precalentado que al entrar por la parte inferior a alta velocidad expande al lecho de arena y desechos, fluidizándolos, mientras un quemador colocado en la parte superior realiza la combustión de los materiales de desecho. El ducto de gases de escape se encuentra en la parte superior del recipiente, con lo que se tiene un sistema de incineración continua. Fig.16

La incineración en lecho fluidizado es muy útil para ciertos tipos de desechos lodosos, (líquidos y sólidos orgánicos en suspensión) y partículas sólidas de dimensiones comprendidas entre 1 micrómetro y 10 centímetros con bajo contenido de humedad.

(31) J. Guillet. Polymer Science and Technology v-3. Págs. 81-92.



HORNO DE INCINERACION DE LECHO FLUIDIZADO



SISTEMA DE INCINERACION CON PRECALENTAMIENTO DE AIRE

BIBLIOGRAFIA (15)

Durante el proceso, el lecho de arena y desechos se mantiene alrededor de 650 a 800 grados centígrados, expandiéndose un 30 a 60% en volumen con respecto a su estado original no fluidizado.

El flujo de aire de combustión debajo de la parrilla debe controlarse de manera que no arrastre arena y desechos hacia el ducto de escape de la cámara de combustión. El requerimiento de aire en exceso es muy pequeño gracias al excelente mezclado del 02 del aire con los desechos. (32).

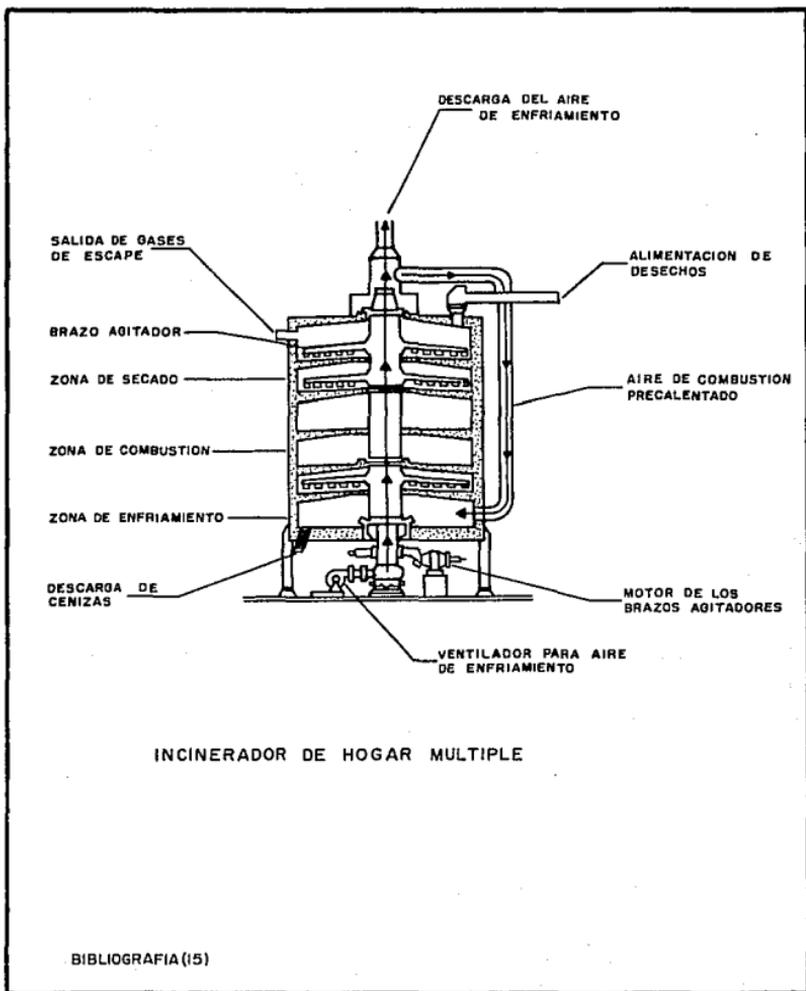
b) INCINERADOR DE HOGAR MULTIPLE.

Este incinerador es uno de los más utilizados para la disposición final de lodos y materiales de alcantarillados en los Estados Unidos. Los lodos se introducen en la parte superior del horno, el cual consiste de una coraza cilíndrica vertical que contiene de 4 a 12 hogares o cámaras de ladrillo refractario. En el centro tiene un eje tabular de acero, provisto de brazos agitadores, el cual gira con una velocidad de 0.5 a 1.5 rpm. El eje central y los brazos agitadores son enfriados por aire introducido mediante una ventilación forzada desde la parte inferior del sistema. El aire regresa al espacio anular entre el eje y las paredes del horno de la parte inferior para ser utilizado como aire de combustión precalentado. Cada hogar tiene aberturas por las cuales el lodo cae de nivel en nivel, por el centro y el exterior de cada uno de los hogares de manera alternada. Los quemadores de combustible auxiliar generalmente se instalan en los costados del horno a la altura de los hogares o secciones superiores. Los hogares superiores del horno constituyen la zona de secado del desecho, los intermedios, la zona de combustión y los inferiores la zona de enfriamiento de los residuos de combustión. La temperatura en estos hornos puede alcanzar hasta 950 a 100 grados centígrados y para asegurar la completa combustión de los sólidos se debe suministrar aire en un exceso del 100 al 125%. El arrastre de partículas sólidas y gases odoríferos requieren la instalación de equipos purificadores de gases. El incinerador de hogar múltiple tiene gran aplicación ya que puede evaporar grandes cantidades de agua en desechos muy húmedos y presenta una gran versatilidad de operación. Fig.17.

c) INCINERADOR DE HORNO ELECTRICO.

El horno eléctrico o de calor radiante es básicamente una banda transportadora que pasa a través de una cámara rectangular forrada de material refractario. El aire de combustión se introduce en el extremo de descarga de cenizas, el cual además es calentado mediante un precalentador externo instalado para recuperar el calor de los gases de combustión del escape.

(32) S.T. Kolczkowski and B.D. Crittenden. Management of Hazardous and Toxic Wastes in the Process Industries. Págs. 628-635.



El sistema térmico para la combustión de los desechos está constituido por elementos eléctricos de calentamiento por radiación infrarroja. Este incinerador es adecuado para pequeñas capacidades de flujo de desechos industriales sólidos y no voluminosos, (lodos y sólidos pequeños). Los requerimientos de aire en exceso varían del 20 al 30% y las temperaturas alcanzadas en el horno oscilan entre 700 a 850 grados centígrados. Fig. 18.

d) INCINERADOR DE HORNO CICLONICO.

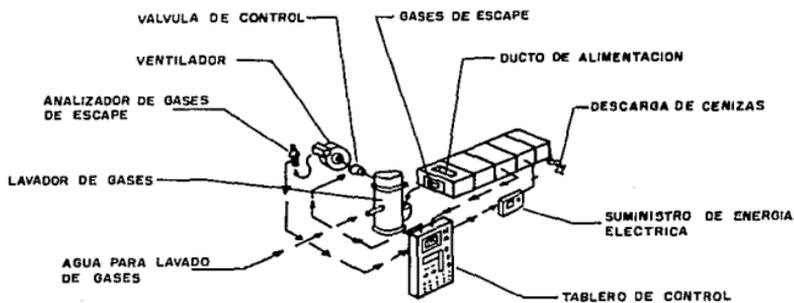
El horno ciclónico está constituido por un horno móvil en donde los brazos agitadores se encuentran estacionarios. El aire de combustión se introduce a través de los quemadores situados tangencialmente a la coraza del horno. El aire caliente junto con la flama del combustible auxiliar crea un violento patrón de flujo en remolino, produciendo un adecuado mezclado entre el aire y el desecho alimentado, el cual está constituido principalmente por diversas clases de lodos industriales que se introducen al horno ciclónico mediante transportadores de tornillo que depositan al desecho en la periferia u hogar rotatorio. Los gases de combustión se dirigen al extremo superior del horno ciclónico saliendo por la parte central de este. Estos hornos tienen baja capacidad de operación y operan a temperaturas entre lo 800 y 900 grados centígrados. Fig. 19.

2.8.3. EQUIPO PARA EL CONTROL DE LA CONTAMINACION.

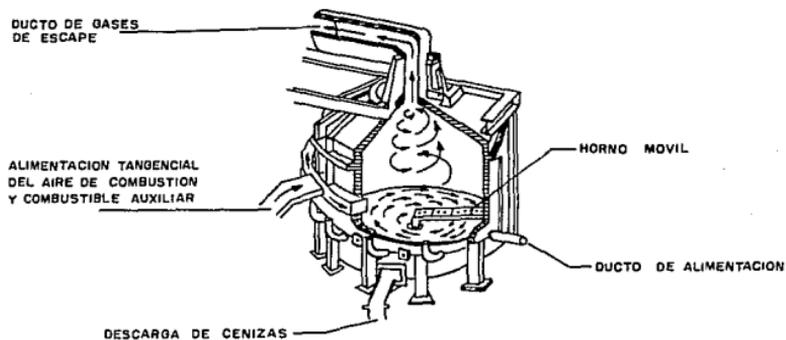
En todos los sistemas de combustión se generan ciertas cantidades y tipos de contaminantes dependiendo de la capacidad del incinerador y el tipo de desechos que se maneja, por lo que se requiere de la instalación de ciertos equipos de purificación de gases conectados al escape de la cámara de combustión de los incineradores de desechos sólidos.

Existen numerosos tipos y tamaños de dispositivos para el control de la contaminación ambiental, los cuales se seleccionan o diseñan en base a los requerimientos legales de emisiones descargadas y las necesidades de protección a la corrosión de los equipos corriente abajo que se utilizan en los incineradores.

Los principales contaminantes producidos en la cámara de combustión de los incineradores que deben ser removidos de la corriente gaseosa son, entre otros: las partículas sólidas, gases orgánicos odoríferos, ácido clorhídrico, óxidos de nitrógeno, de azufre, etc. generalmente las demás clases de contaminantes pueden ser removidos con los sistemas instalados para eliminar los cuatro tipos de contaminantes antes mencionados. (En el apéndice B se presentan las normas de emisiones gaseosas que se aplica en México, contenidas en el breviario jurídico ecológico editado por la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, SEDUE).



INCINERADOR DE HORNO ELECTRICO



INCINERADOR DE HORNO CICLONICO

BIBLIOGRAFIA (15)

A continuación se describen brevemente los principales equipos utilizados para purificar los gases de combustión de los incineradores:

1. POST-QUEMADORES.

El post-quemador no es más que una cámara de combustión secundaria empleada para destruir por oxidación los hidrocarburos gaseosos o materiales orgánicos no destruidos en el incinerador. Existen tres tipos principales de post-quemadores: de flama directa, térmicos y catalíticos. Los post-quemadores de flama directa y térmicos son similares, pero destruyen los vapores orgánicos de diferentes maneras. En las unidades de flama directa, los vapores orgánicos pasan directamente a través de ella y en las unidades térmicas los vapores permanecen en una cámara oxidante a alta temperatura el tiempo suficiente para que se lleven a cabo las reacciones de oxidación. Los dispositivos catalíticos son equipos térmicos que contienen una superficie de catalizador para acelerar las reacciones de oxidación. Los dispositivos térmicos y de flama directa proporcionan mayor flexibilidad a la operación del incinerador, mientras que los catalíticos son menos versátiles, ya que llevan a cabo la combustión a menor temperatura. Las temperaturas de operación varían de 650 a 1300 grados centígrados y el tiempo de residencia de los gases es aproximadamente 0.2 a 6.0 segundos, dependiendo del tipo de corriente de gases de combustión. En oxidaciones catalíticas el tiempo de residencia de los gases es un segundo. Fig. 20.

El post-quemador se utiliza principalmente cuando se requiere destruir contaminantes orgánicos que no se quemaron en el incinerador primario y cuando se desea una mayor flexibilidad en la operación del incinerador para que este procese más tipos de desechos.

2. CAMARAS DE ASENTAMIENTO.

Estas cámaras están diseñadas para reducir la velocidad de los gases de combustión mediante una expansión para promover el asentamiento de las partículas sólidas y cenizas volátiles arrastradas por la corriente de gases y así separarlas de ella. Se utiliza principalmente para partículas mayores a 40 micrómetros. Además algunas de estas cámaras están provistas de mamparas en las que chocan las partículas, facilitándose así su separación. Estas cámaras son efectivas para partículas mayores a 15 micrómetros. En general, las cámaras de asentamiento no tienen un uso práctico como dispositivos de control de contaminación, por lo que solo se utilizan como parte de un sistema de purificación previo para remover las partículas más grandes generadas durante la operación.

3. SEPARADOR CICLONICO.

El ciclón es un separador inercial en el que se introducen los gases de combustión de forma tangencial al recipiente cilíndrico y en la parte superior de este, produciéndose un flujo es remolino hacia abajo, mediante el cual salen las partículas sólidas por un orificio inferior mientras que los gases regresan a la parte superior para salir por ella en ducto central de la tapa del ciclo. Este equipo es útil para separar partículas mayores a 15 micrómetros, y se aplica para remover partículas grandes como parte de un tratamiento previo a los gases sucios antes de que estos entren a equipos despolvadores más eficientes tales como los precipitadores electrostáticos. En ocasiones, las partículas sólidas recolectadas pueden ser realimentadas al horno para completar la combustión.

El problema de los separadores ciclónicos es que cuando la carga de polvo es muy grande o los polvos son materiales higroscópicos o pegajosos, estos tienden a aglomerarse en las paredes del ciclón sin caer adecuadamente por el ducto de descarga. Fig. 21.

4. LAVADOR DE GASES POR ASPERSION TIPO VENTURI.

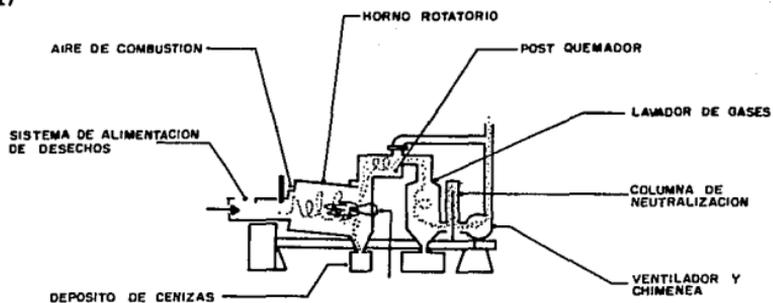
Los lavadores de gas tipo venturi utilizan la energía cinética de la corriente de gases de combustión para atomizar el líquido de lavado y convertirlo en pequeñas gotas que son capaces de arrastrar las partículas sólidas y disolver una serie de contaminantes de los gases de escape tales como óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno, HCL, HF, etc.

En el lavador tipo venturi, el líquido de lavado (generalmente agua) se inyecta en la corriente de gases de escape a la altura de la garganta del venturi. En el proceso, el líquido se atomiza creándose una gran superficie de transferencia de masa para arrastrar los contaminantes de los gases de escape. El lavador tipo venturi se utiliza cuando se necesita remover simultáneamente polvos y gases tóxicos solubles en agua u otro líquido de lavado tal como algunas soluciones acuosas alcalinas para neutralizar los gases ácidos. También se aplica para altas temperaturas y altos contenidos de humedad en los gases de combustión. Además aparece comúnmente en incineradores de horno rotatorio y de inyección de residuos líquidos. Fig. 22.

5. TORRE DE ASPERSION.

Son equipos en los que los contaminantes son eliminados por un proceso de absorción de gases de arrastre mecánico efectuados por el líquido aspersado, lo cual asemeja al equipo con los lavadores tipo venturi pero difieren en funcionamiento por el sistema de atomización del líquido de lavado. El líquido lavador se atomiza a alta presión a través de unas espreas desde la parte superior de

I)

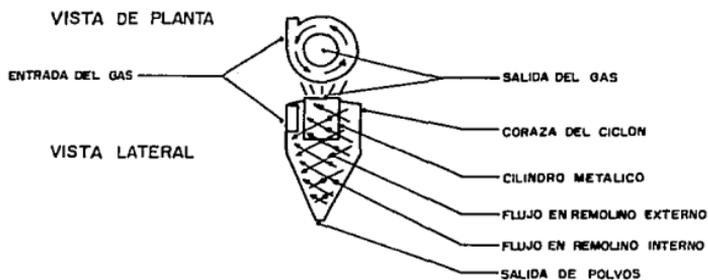


II)



I) SISTEMA DE INCINERACION CON POST QUEMADOR

II) DIAGRAMA DE FLUJO DE LA OPERACION DEL POST QUEMADOR



SEPARADOR CICLONICO

BIBLIOGRAFIA (15)

un recipiente cilíndrico, mientras que los gases se introducen desde la parte inferior. Las pequeñas gotas del líquido lavador constituyen la fase dispersa, mientras que la corriente de gases forman la fase continua, ocurriendo la transferencia de masa en la superficie de las gotas del líquido. Fig. 24.

Estas torres lavadoras se aplican también en la incineración de desechos tóxicos y presenta relativamente buenas eficiencias de remoción tanto de polvo como de gases tóxicos. También se utilizan para cargas gaseosas a baja velocidad, a elevadas temperaturas y contenidos de humedad altos y con grandes cantidades de polvos.

6. ELIMINADORES DE NIEBLA.

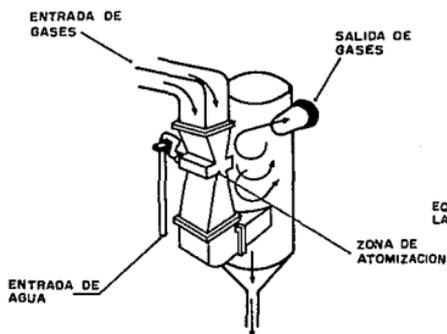
Los eliminadores de niebla son equipos que remueven las gotas arrastradas por el gas en los equipos de lavado por aspersión, reduciendo así la humedad que entra a los ventiladores de tiro inducido del sistema, además de eliminar la mala impresión que causan las pequeñas gotas de agua condensada que salen por las chimeneas. Los eliminadores de niebla consisten básicamente de un cilindro metálico que en su interior contiene mamparas o baffles a través de los cuales pasa el gas. Reteniéndose en ellos las partículas de agua más grandes. El gas se introduce por la parte inferior y las gotas retenidas caen hacia el fondo del recipiente liberando así a la corriente de la nebulosidad adquirida en los equipos lavadores de aspersión de agua. Los eliminadores de niebla se utilizan como equipos adicionales de los lavadores de gases por medio de la aspersión de lo líquido. Fig. 23.

7. TORRE LAVADORA DE LECHO EMPACADO.

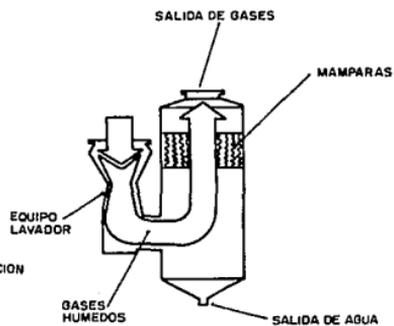
Consiste básicamente de una torre de absorción de gases de lecho empacado, donde los contaminantes gaseosos se remueven por un proceso de absorción de gases mediante un contacto líquido/gas. Estos lavadores son simples recipientes, los cuales se llenan de material de empaque sobre un plato soporte. El líquido de lavado se alimenta por la parte superior mientras que el gas fluye a contracorriente. Estos equipos se utilizan cuando los gases de escape no contienen grandes cantidades de partículas sólidas. Además tienen una gran eficiencia de remoción de contaminantes gaseosos tales como HCl, HF, SO₂, SO₃, NO_x, etc. En estos equipos también se requiere de la instalación de eliminadores de niebla en la corriente de salida de los gases. Fig. 25.

8. TORRE LAVADORA CON SISTEMA DE PLATOS.

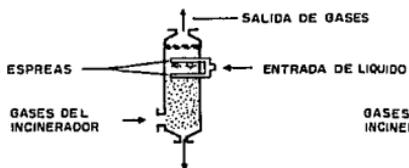
Es una torre de platos que basa su funcionamiento en la absorción de contaminantes mediante un líquido de lavado. Es una columna cilíndrica que contiene platos en su interior, en los cuales se realiza el contacto líquido-gas para efectuar la transferencia de masa. El líquido de lavado se introduce por el plato superior, desplazándose a los platos inferiores y atrapando



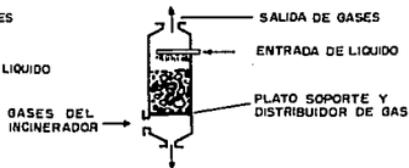
LAVADOR DE GASES TIPO VENTURI



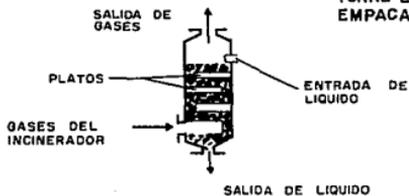
ELIMINADOR DE NIEBLA



TORRE DE ASPERSION



TORRE LAVADORA DE LECHO EMPACADO



TORRE LAVADORA CON SISTEMA DE PLATOS

BIBLIOGRAFIA (15)

los contaminantes de la corriente de gas que fluye a contracorriente a través de unas perforaciones hechas en los platos. Estos equipos se aplican para controlar emisiones de incineradores de lodos o desechos líquidos. Son útiles para remover gases tóxicos de corrientes gaseosas que no contengan grandes cargas de polvo. Fig. 26.

2.9. DIGESTOR AEROBICO.

Cuando se tiene una pequeña cantidad de lodos para digerir, la operación intermitente es utilizada con descarga intermitente de lodos digeridos. El digestor aeróbico mostrado maneja una mezcla de lodos primarios y secundarios.

2.10. DIGESTOR ANAEROBICO DE LODOS.

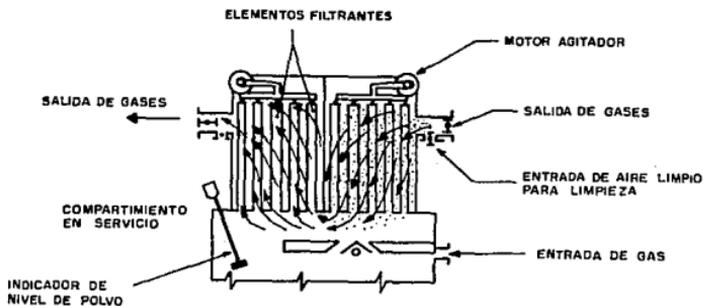
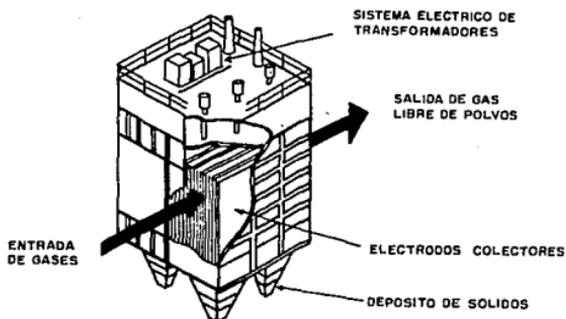
Usualmente los digestores anaeróbicos son de dos tipos:

1. Digestores de etapas individuales.
2. Digestores de dos etapas.

1. Un digestor típico de una etapa es aquel donde, el lodo crudo es alimentado en la zona en donde el lodo es digerido activamente y el gas es producido. Debido a que el gas tiende a subir, este eleva partículas de lodo y otros materiales (grasa, aceite, cebo, etc.), formando una capa sobrenadante la cual es conducida fuera del digestor. El lodo digerido es removido del fondo del tanque. El proceso de digestión es favorecido por altas temperaturas (usualmente de 85 a 105 grados fahrenheit), por lo que el lodo a digerir es calentado por medio de serpentines colocados dentro del reactor o por medio de un calentamiento externo. El gas es removido de la parte superior del digestor y comunmente es utilizado como combustible, debido a su alto contenido de metano.

2. El propósito de las unidades de dos etapas es fundamentalmente para proveer un mejor volumen de utilización. El volumen de utilización para una unidad individual es pobre, debido a la estratificación y al pobre mezclado. La etapa I es utilizada para la digestión, por medio de un calentamiento y mezclado provenientes de medios mecánicos o por medio de recirculación de gas. La etapa II es utilizada para almacenar y separar el lodo digerido y la capa sobrenadante.

PRECIPITADOR ELECTROSTATICO



FILTRO DE GASES CON SISTEMA DE AGITACION
PARA LA SEPARACION DE POLVOS

BIBLIOGRAFIA (15)

CAPITULO III

PROPIEDADES DE LOS DESE - CHOS SOLIDOS Y ELECCION DEL MECANISMO ADECUADO DE DESECHO.

3.1. PROPIEDADES DE LOS DESECHOS SOLIDOS.

El conocimiento de las propiedades fisicoquímicas de los desechos sólidos es fundamental para poder llevar a cabo el diseño y evaluación del mecanismo adecuado para el tratamiento y disposición final de estos. (33).

La información tanto de desechos industriales y comerciales es difícil de generalizar y obtener debido a los siguientes factores:

- a) Los establecimientos de manufactura, aun aquellos del mismo tipo, pueden diferir bastante en cuanto a sus prácticas de generación de desechos.
- b) La mayoría de las empresas se rehusan a revelar datos y estadísticas relacionadas con la producción por temor a ser utilizadas por la competencia.
- c) Algunas firmas no proporcionan información sobre la composición y volúmenes de sus desechos por temor a descubrir o mostrar algún incumplimiento con las regulaciones legales de control de la contaminación. (34).
- d) Algunas actividades industriales están sujetas a fluctuaciones estacionarias, además muchas firmas no conocen su propia capacidad de generación y características de desechos producidos.

3.2. PARAMETROS CARACTERISTICOS DE LOS DESECHOS SOLIDOS.

1. Parámetros generales.

Composición en peso de las fracciones de desecho, incluyendo los porcentajes de las diferentes categorías tales como papel, metales vidrio y desechos especiales, además de las fracciones relativas al proceso de incineración como los porcentajes de materiales combustibles, materiales recuperables, etc.

2. Parámetros físicos.

Forma y tamaño aproximado de los desechos, peso, densidad, edad, color, olor, fracción hueca en el desecho, temperaturas de generación y almacenamiento, compatibilidad, estado físico, etc. Para el caso de desechos sólidos se incluye su solubilidad, combustibilidad, calor específico, conductividad calorífica, fracción de cenizas volátiles, forma, punto de fusión, contenido de humedad (35).

(33) Metcalf and Eddy Boston. Wastewater Engineering, Collection, Treatment, Disposal.

(34) Esta situación es la que mas comunmente se presenta en México, ya que actualmente la SEDESO (antes SEDUE) está siendo más estricta en la aplicación de la reglamentación del medio ambiente.

(35) S.T. Kolaczowski and B.D. Crittenden. Management of Hazardous and Toxic Wastes in the Process Industries. Págs. 628-635.

3. Parámetros químico-termodinámicos.

En general, son la composición de sus constituyentes químicos, el valor o poder calorífico de los desechos, la composición de los productos de combustión, la fracción orgánica e inorgánica, etc.(36).

4. Características contaminantes.

Contenido y composición de los agentes contaminantes, definición de las restricciones y disposiciones legales sobre el transporte y manejo de los desechos, especialmente en el caso de que estos sean tóxicos. (37).

El conocimiento aproximado de las anteriores propiedades fisicoquímicas de los desechos y algunas otras características, es necesario para poder llevar a cabo el diseño de los sistemas de tratamiento y disposición final de estos.

Estos parámetros y propiedades se pueden obtener mediante un análisis de laboratorio aplicado a los desechos, pero cuando este tipo de análisis no se pueden realizar, las propiedades de un desecho determinado se pueden aproximar y estimar recurriendo a la información existente sobre otros de tipo similar.

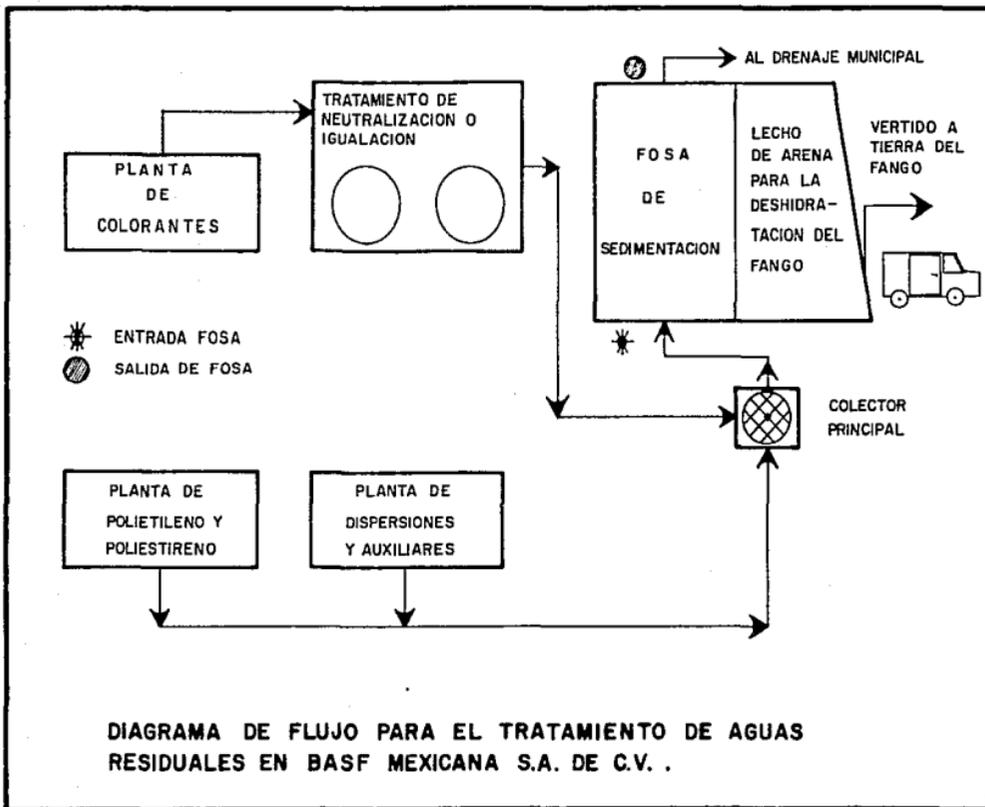
3.3. DESCRIPCION DEL PROBLEMA, CARACTERISTICAS Y DATOS EXPERIMENTALES DE LOS LODOS.

En la planta de BASF Mexicana ubicada en Santa Clara Estado de México, casi el total de la producción corresponde a dispersiones poliméricas y una mínima parte corresponde a colorantes orgánicos y productos para cuero.

Las dispersiones acuosas de polímeros son dispersiones coloidales de partículas de diferentes polímeros, las cuales han sido distribuidas en agua con ayuda de coloides protectores o emulsionantes. Además de pequeñas cantidades de agentes auxiliares de polimerización, esta contienen también pequeñas cantidades de componentes volátiles de los productos de partida (monómeros) y, en ocasiones, plastificantes o agentes filmógenos conteniendo disolventes. Para su elaboración se emplean generalmente combinaciones polimerizables y reactivas llamadas "monómeros", además de estas existen dispersiones cuyos polímeros se obtuvieron mediante reacciones de condensación o de adición (por ejemplo poliamidas y poliuretano).

(36) S.T. Kolaczowski and B.D. Crittenden. Management of Hazardous and Toxic Wastes in the Process Industries. Págs. 628-635.

(37) Ibid.



Principalmente encontramos los siguientes monómeros o grupos de monómeros:

- Acido acrílico, ácido metacrílico y sus esteres acrilonitrilo.
- Butadieno.
- Acido maleico y sus esteres.
- Olefinas (etileno, isobutileno, propileno).
- Estireno.
- Eter de vinilo.
- Ester de vinilo.
- Cloruro de vinilo.
- Cloruro de vinildieno.

En tanto que en la polimerización de un solo componente se originan los homopolimeros, mediante combinación de diferentes monómeros en relaciones cuantitativas variables se obtiene una multitud de copolimeros.

El drenaje industrial en la planta esta constituido de la siguiente manera:

- Drenaje proveniente de la planta de polietileno, poliestireno y dispersiones poliméricas.

El agua residual proveniente de la planta de colorantes debido a sus características de pH y contenido de sólidos sedimentables bajos, es conducida primeramente por un sistema de neutralización o igualación por control directo de pH, el cual adiciona amoniaco para ajustar el flujo de agua a un pH alcalino.

Después de este tratamiento, el flujo de agua residual se une a un colector principal para posteriormente dirigirse a la fosa de sedimentación.

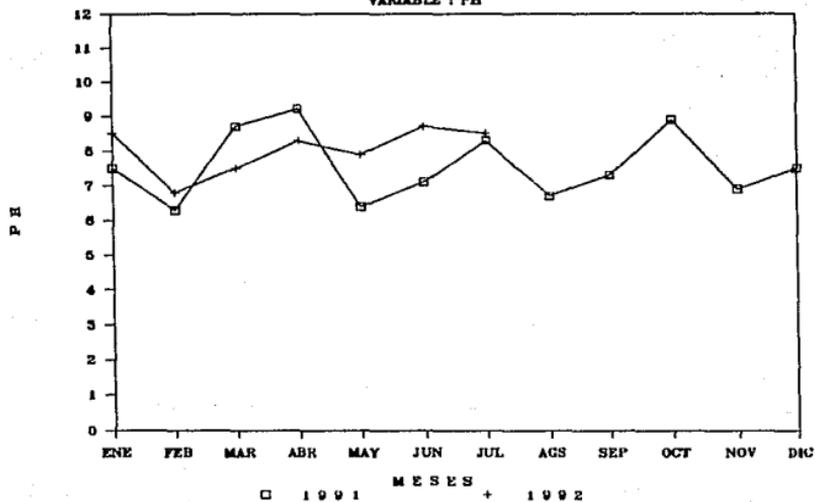
Las características fisicoquímicas de este flujo tales como la temperatura, el pH y los sólidos sedimentables, durante 1989 y hasta Abril de 1990 se presentan en las siguientes gráficas.

El agua residual proveniente de la planta de polietileno, poliestireno y dispersiones poliméricas no sufre ningún tratamiento previo a la fosa de sedimentación, ya que para todos los procesos que se manejan en esta planta, se utiliza agua suavizada con un pH neutro y un contenido de dureza no mayor de 5 ppm como calcio y magnesio.

Este flujo se une al colector principal para dirigirse posteriormente a la fosa de sedimentación.

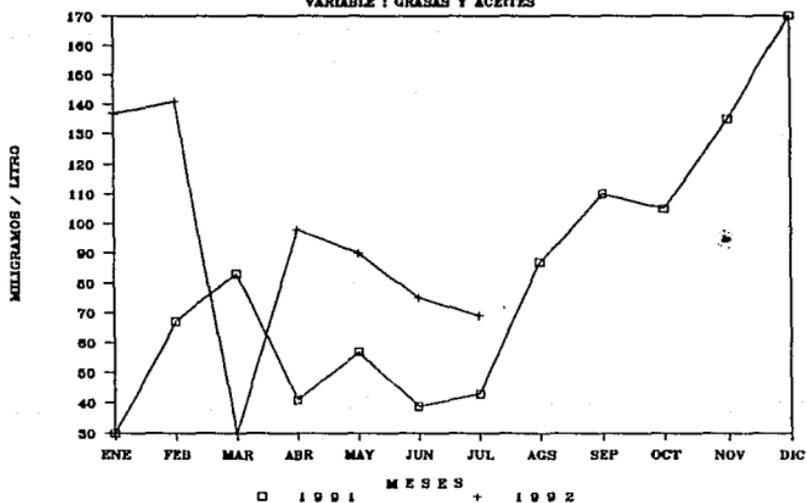
ENTRADA FOSA DE SEDIMENTACION

VARIABLE : PE



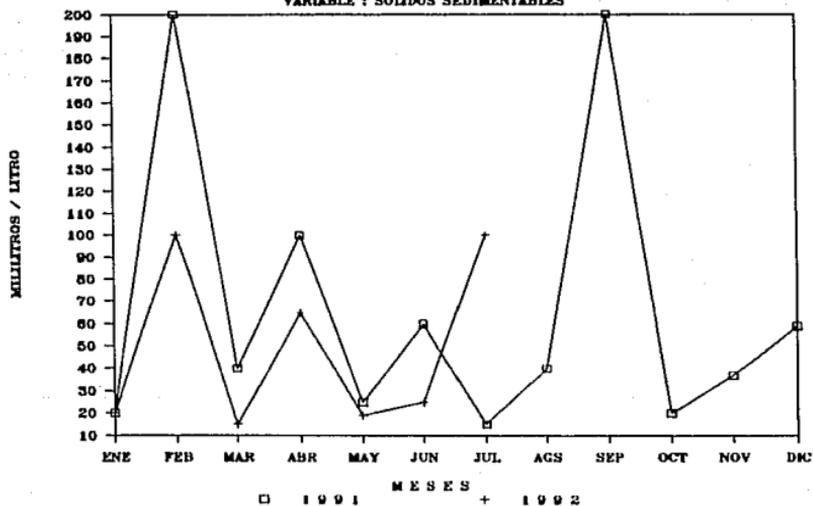
ENTRADA FOSA DE SEDIMENTACION

VARIABLE : GRASAS Y ACEITES



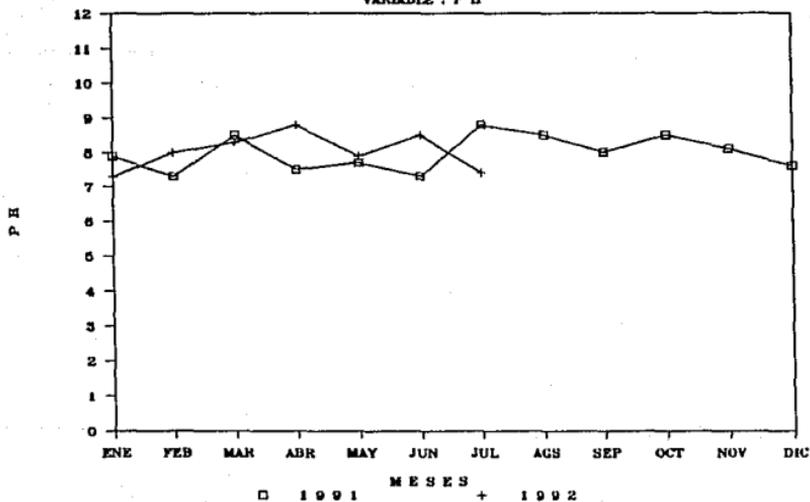
ENTRADA FOSA DE SEDIMENTACION

VARIABLE : SOLIDOS SEDIMENTABLES



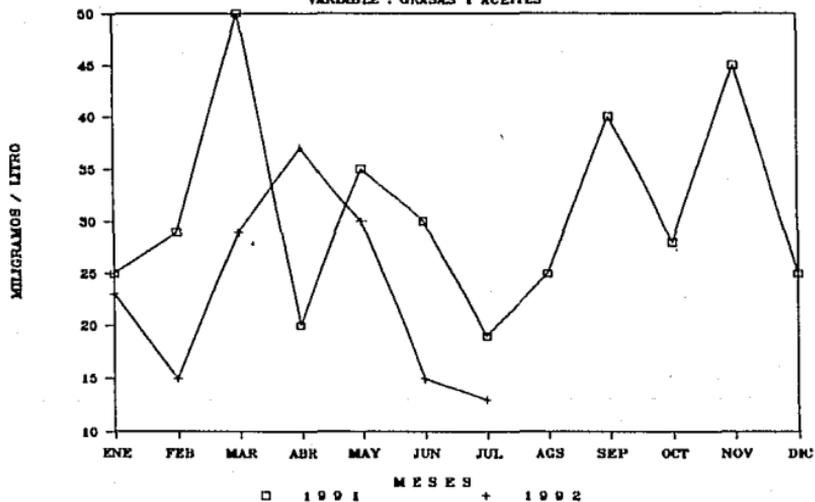
SALIDA FOSA DE SEDIMENTACION

VARIABLE : P H



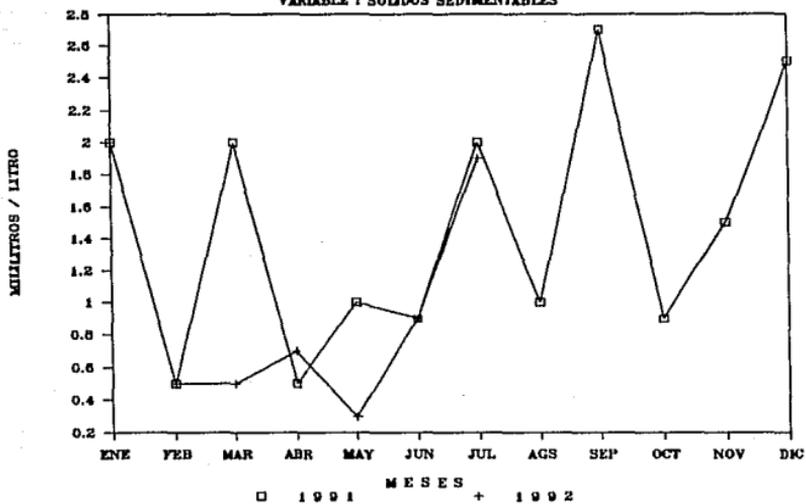
SALIDA FOSA DE SEDIMENTACION

VARIABLE : GRASAS Y ACEITES



SALIDA FOSA DE SEDIMENTACION

VARIABLE : SOLIDOS SEDIMENTABLES



Las características fisicoquímicas de este flujo tales como pH, temperatura y sólidos sedimentables durante 1989 y hasta Abril de 1990 se presentan en las siguientes gráficas.

A partir del colector principal, el flujo de agua residual es conducido a la entrada de la fosa de sedimentación la cual elimina las grasas y aceites y los sólidos sedimentables contenidos en el agua.

Las características fisicoquímicas del agua residual a la entrada y a la salida de la fosa de sedimentación durante 1989 y hasta Abril de 1990 se presentan en las siguiente gráficas. (Gráficas 1 a 16).

La fosa de sedimentación genera un volumen de 160 m3 de lodo al mes, el cual es acumulado y secado por medio de un deshidratador que funciona en base a un lecho de arena que elimina agua por filtración a la tierra y por evaporación natural.

Cuando el lodo generado alcanza un porcentaje de humedad del 30% en promedio y el lecho de arena se encuentra a su máxima capacidad, el lodo es transportado manualmente a camiones para su posterior vertido a tierra en tiraderos industriales.

Un diagrama generalizado del tratamiento que recibe el agua residual en BASF Mexicana, así como los puntos de descarga mencionados anteriormente, se presentan en la siguiente figura. (Figura 29).

Los lodos generados de este tratamiento primario al agua residual son de apariencia gelatinosa de color café oscuro.

Las características fisicoquímicas de estos lodos son las siguientes: (38).

PH (directo)	9.37
% de humedad (Karl-fisher)	36.27 %
% de cenizas (550°C)	1.80 %
% de sodio (Na)	0.21 %
Grasas y aceites (ppm)	1037
Lixiviado	
Bario (Ba), ppm	N.D.
Cadmio (Cd), ppm	N.D.
Plomo (Pb), ppm	N.D.
Selenio (Se), ppm	N.D.

(38) Annual Book of ASTM Standards, Designation: 3974-81, 3975-80. Págs. 735 867.

Plata (Ag), ppm	N.D.
Arsénico (As), ppm	0.0022
Cromo (VI), ppm	0.84
Mercurio (Hg), ppm	N.D.
Nitratos (NO ₃), ppm	2.68

Además de las características anteriores se sabe que el lodo seco está constituido principalmente por polímeros y agentes auxiliares de polimerización. Estos desperdicios se generan en la limpieza de tanques y reactores o bien de las instalaciones de elaboración.

3.4. ELECCION DEL METODO MAS ADECUADO PARA LA ELIMINACION DE LOS DESECHOS SOLIDOS OBTENIDOS.

Los polímeros puros como sustancias de alto peso molecular, son siempre atóxicos resorcivamente. En caso de ingerirse involuntariamente, son eliminados por el organismo humano o animal sin digerir. Los polímeros no son biodegradados o solo lo son en muy pequeña proporción y no constituyen ningún peligro para las aguas subterráneas. (39).

Los polímeros no resultan perjudiciales para el medio ambiente en la incineración de basuras, dado que a partir de ellos sólo se forman anhídrido carbónico y agua, así como también nitrógeno cuando se trata de copolímeros que contengan grupos acrilonitrílicos o aminicos. Sólo en el caso del policloruro de vinilo (PVC), del policloruro de vinilideno (PCVD) o de copolímeros que contienen como monómeros cloruro de vinilo, se libera además ácido clorhídrico. (40).

Debido a que en la planta de BASF Mexicana, los polímeros que se fabrican no contienen cloro, la alternativa más viable para la eliminación de estos desechos es la incineración.

En el capítulo siguiente se describen las características del incinerador seleccionado así como los cálculos efectuados para su diseño.

(39) Page, J.S. . Estimator's manual of equipment and installation costs.

(40) Ibid.

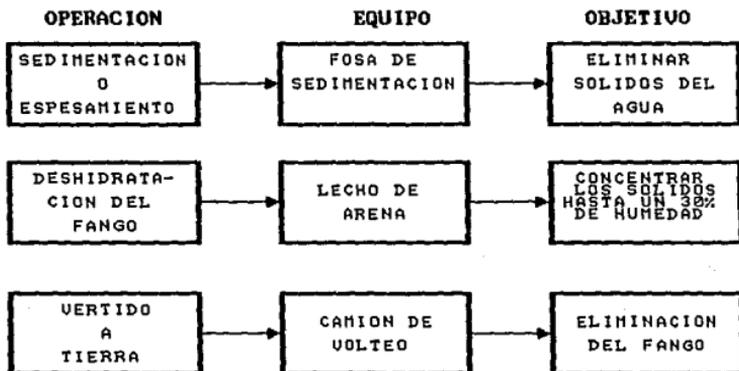
CAPITULO IU

**DESCRIPCION DEL MECANISMO
DE DESECHO SELECCIONADO Y
CALCULOS CORRESPONDIENTES.
DESECHO.**

4.1. INTRODUCCION.

A partir de la información sobre las características fisicoquímicas de los desechos sólidos y de los equipos necesarios para su disposición final, el equipo adecuado para el tratamiento del fango residual en la planta de BASF Mexicana en Santa Clara, Estado de México es un incinerador.

En el siguiente diagrama se muestra el proceso actual que funciona en la planta:



4.2. JUSTIFICACIONES.

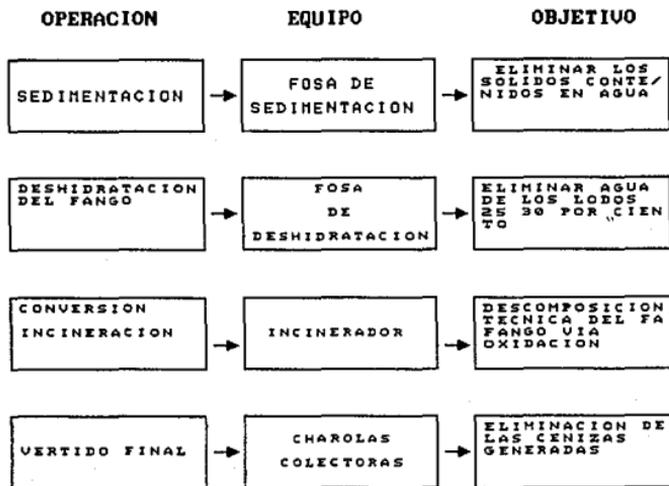
a) Primeramente se pensó en introducir un filtro prensa para eliminar lo mas posible el agua de los lodos, pero debido a que tiene un costo muy elevado y además es necesario un sistema sofisticado de transporte de lodos, los cuales elevarían los costos fijos y los costos de operación, con lo cual no sería viable alternativa propuesta. Esta operación de transporte puede ser llevada a cabo por 2 operadores fácilmente, en cuanto al contenido de agua presente, es tan pequeño que puede ser considerado despreciable debido al poco gasto de combustible necesario para vaporizarla, además ayuda a eliminar partículas suspendidas.

b) Se propone la incineración como proceso de conversión de los lodos debido a que como ya se mencionó en otros capítulos, no genera ninguna clase de contaminación.

En el siguiente diagrama se presenta la ruta propuesta para la conversión final de los lodos.

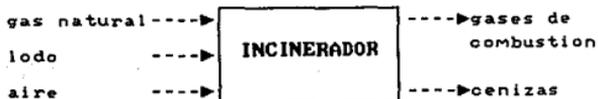
Cuando los lodos han alcanzado un contenido de humedad de aproximadamente 25% a 30%, se transportarían por medio de palas hacia el incinerador; esta operación se lleva a cabo por 1 o 2 obreros.

En el incinerador los lodos serán quemados a una temperatura de 1700°C aproximadamente, las cenizas generadas serán removidas y vertidas a tierra.



4.3. CALCULOS DEL AIRE NECESARIO PARA CALCINAR LOS LODOS.

Un diagrama general del funcionamiento de un incinerador es el siguiente:



A. DATOS.

Capacidad de incineración: se tienen 160 m³/mes de lodo con un 30% de agua y una densidad de aproximadamente 1.1 gr/l.

$$112\text{m}^3/\text{mes} * 1.1 \text{ gr/l} * 100 \text{ cm}^3/\text{l} * 1 \text{ Kg}/1000 \text{ gr} = 123,200 \text{ Kg/mes}$$

el incinerador trabajará 25 días al mes durante 16 horas diarias.

$$123,200 \text{ Kg/mes} * 1 \text{ mes}/28 \text{ días} * 1 \text{ día}/16 \text{ horas} = 308 \text{ Kg/hr.}$$

- Presión absoluta = 585 mmHg.

- $Q_{\text{GAS}} = 9,398 \text{ kcal/m}^3$.

- Contenido de cenizas = 1.8% del peso del lodo.

- Capacidad calorífica del lodo : (se supone que es en su totalidad poliestireno).

$$C_p = 8,080 C + 34,460 (H_2 - 0.125 O_2) + 2,250 S = \text{kcal/Kg.}$$

para el poliestireno $C = 0.766$, $H_2 = 0.392$, $O_2 = 0.0778$, $S = 0$

$$C_p = 7,204.9 \text{ kcal/Kg.}$$

oxígeno total requerido :

$$O_2 = 617.89 + 189.76 = 807.65 \text{ Kg } O_2/\text{hr.}$$

oxígeno que entra de la atmósfera:

$$O_2 = 807.65 - 47.07 = 760.58 \text{ Kg}O_2/\text{hr.}$$

aire que entra :

$$\text{aire} = 760.58 \text{ Kg}O_2/\text{hr} \cdot 100 \text{ kg aire}/23.15 \text{ kg}O_2 = 3285.44 \text{ aire/hr.}$$

carga térmica :

$$\text{carga térmica} = 308 \text{ kg/hr} \cdot 7204.9 \text{ kcal/kg} = 2219109.2 \text{ kcal/hr.}$$

4.4. CALCULO DE LA CANTIDAD DE AIRE NECESARIO PARA QUEMAR EL GAS NATURAL.

DATOS:

Número de quemadores = 2 quemadores.

Q max = 700,000 BTU/hr (por quemador)

Presión suministrada al gas = 7 psig

Consumo de gas = 400 ft³/hr (por quemador)

Cp del gas = 9398 kcal/m³

Masa requerida de gas (por quemador): vol. gas = 400ft³/hr/quem
= 800 ft³/hr.

Densidad del gas: (asumiendo que entra a 7 psig y 25' C)

$$\text{Densidad} = 16 (7 + 14.7) / 10.73 (77 + 460) = 0.0603 \text{ lb/ft}^3 =$$

$$0.968 \text{ Kg/m}^3.$$

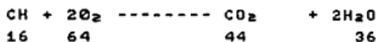
Masa de gas = 8000 ft³/hr * 0.0603 lb/ft³ = 48.24 lb/hr = 21.92
Kg/hr.

Carga térmica debida a la combustión del gas:

$$Q_{\text{gas}} = 9398 \text{ kcal/m}^3 \cdot 1 \text{ m}^3/0.968 \text{ kg} \cdot 21.92 \text{ kg/hr}/1 =$$

$$212814.21 \text{ kcal/hr}$$

La cantidad de aire requerida para la combustion del gas se calculara suponiendo que el gas natural es basicamente metano.

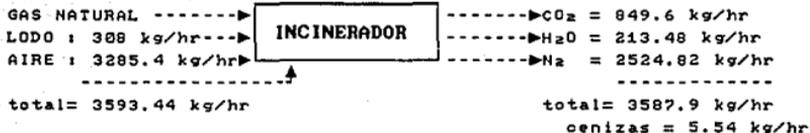


$$\begin{aligned} \text{O}_2 \text{ req.} &= 21.92 \text{ KgCH}_4/\text{hr} * 64 \text{ KgO}_2/16 \text{ kg CH}_4 = 87.68 \text{ KgO}_2/\text{hr} \\ \text{CO}_2 \text{ prod.} &= 21.92 \text{ KgCH}_4/\text{hr} * 44 \text{ kg CO}_2/16 \text{ kg CH}_4 = 60.28 \text{ kgCO}_2/\text{hr} \\ \text{aire requerido} &= 87.68 \text{ kgO}_2/\text{hr} * 1 \text{ kg aire}/0.2315 \text{ kg} \\ &= 378.74 \text{ kg aire/hr} \end{aligned}$$

De los calculos anteriores se tiene:

$$\begin{aligned} \text{aire requerido para quemar } 308 \text{ kg/hr de lodo} &= 3285.44 \text{ kg aire/hr} \\ \text{aire requerido para quemar } 21.92 \text{ kg/hr de gas} &= 378.74 \text{ kg aire/hr} \end{aligned}$$

4.5 CALCULO DE LA TEMPERATURA DE LOS GASES A LA SALIDA DEL INCINERADOR.



$$\begin{aligned} \text{carga termica} &= 308 \text{ kg/hr} * 7204.9 \text{ kcal/kg} \\ &= 2219109.2 \text{ kcal/kg} \end{aligned}$$

Suponiendo una temperatura de salida de 1800°C, de la tabla 16 del HOUNGEN/WATSON/RAGATZ¹ se leen los valores de las capacidades calorificas promedio:

$$\begin{aligned} C_p \text{ CO}_2 &= 12.94 \text{ kcal/kgmol} \\ C_p \text{ H}_2\text{O} &= 10.24 \text{ kcal/mol} \\ C_p \text{ N}_2 &= 7.92 \text{ kcal/mol} \end{aligned}$$

Composicion de la corriente de salida :

$$\begin{aligned} N \text{ CO}_2 &= 849.6 \text{ kg/hr} * \text{kgmol}/44 \text{ kg} = 19.30 \text{ kgmol/hr} \\ N \text{ H}_2\text{O} &= 213.48 \text{ Kg/hr} * \text{kgmol}/18 = 11.86 \text{ kgmol/hr} \\ N \text{ N}_2 &= 2524.82 \text{ kg/hr} * \text{kgmol}/28 \text{ kg} = 90.17 \text{ kgmol/hr} \end{aligned}$$

¹ HOUNGEN, WATSON, RAGATZ. CHEMICAL PROCESS PRINCIPLES PARTI. PAG. 253.

A 1800' C

componente	ΔT	Cpm	kgmol	ΔH
Co2	1775	12.94	19.30	443,292
H2O	1775	10.24	11.86	215,567
N2	1775	7.92	90.17	1'268,250
total				<u>1'927,109</u> kcal/hr

A 2000' C:

componente	ΔT	Cpm	kgmol	ΔH
Co2	1975	13.10	19.30	499,399
H2O	1975	10.43	11.86	244,307
N2	1975	7.99	90.17	1'423,617
total				<u>2'167,263</u> kcal/h

A 2,050' C :

componente	ΔT	Cpm	kgmol	ΔH
CO2	2025	13.13	19.30	513,348
H2O	2025	10.47	11.86	251,572
N2	2025	8.01	90.17	1'462,762
total				<u>2'227,683</u> kcal/h

A 2,040°C :

componente	ΔT	Cpm	kgmol	ΔH
Co2	2015	13.13	19.30	510,619
H2O	2015	10.47	11.86	250,211
N2	2015	8.01	90.17	1'435,357
total				<u>2'216,187</u> kcal/hr

De los calculos anteriores, se obtiene que la temperatura de salida es aproximadamente de 2,043 °C, esta temperatura se alcanza cuando se tiene cero por ciento de aire en exceso.

En esta memoria de calculo se evaluara la temperatura de salida de los gases para un 25% y 35% de exceso de aire.

4.6 CALCULOS PARA UN 25% DE EXCESO DE AIRE.

GAS NATURAL	-----	INCINERADOR	-----	O2	=	190 kg/hr
LODO 308 kg/hr	-----		-----	CO2	=	849 KG/hr
			-----	H2O	=	213 kg/hr
AIRE 4,106 kg/hr	-----		-----	N2	=	3156 kg/hr
			-----	CENIZAS	=	5.54 kg/hr

Carga termica: 2' 219.109 kcal/kg

Suponiendo una temperatura de salida de 1800 °C :

$N_{CO2} = 849.6 \times 1 \text{ kgmol}/44 \text{ kg} = 19.3 \text{ kgmol/hr}$
 $N_{H2O} = 213.48 \times 1 \text{ kgmol}/18 \text{ kg} = 11.86 \text{ kgmol/hr}$
 $N_{N2} = 31156.07 \times 1 \text{ kgmol}/28 \text{ kg} = 112.72 \text{ kgmol/hr}$
 $N_{O2} = 190 \times 1 \text{ kgmol}/32 \text{ kg} = 5.94 \text{ kgmol/hr}$

a 1,800 °C :

Componentes	ΔT	Cpm	kgmol	ΔH
CO2	1,775	12.94	19.30	443,292
H2O	1,775	10.24	11.86	215,567
N2	1,775	7.92	112.72	1' 585,418
O2	1,775	8.34	5.94	88,027
Total				2' 332,305 kcal/hr

a 1,700 °C

COMPONENTE	ΔT	Cpm	kgmol	ΔH
CO2	1,675	12.70	19.3	410,559
H2O	1,675	10.13	11.86	210,237
N2	1,675	7.87	112.72	1'487,602
O2	1,675	8.30	5.94	82,630
Total				<u>2'191,029</u> kcal/hr

a 1720 °C

COMPONENTE	ΔT	Cpm	kgmol	ΔH
CO2	1,675	12.70	19.3	415,461
H2O	1,675	10.13	11.86	203,640
N2	1,675	7.87	112.72	1'505,364
O2	1,675	8.30	5.94	83,617
Total				<u>2'208,083</u> kcal/hr

Por interpolación la temperatura de salida de los gases a un 25% de exceso en aire es de 1,730 °C.

4.7 CALCULOS PARA UN 35% DE EXCESO DE AIRE.



a 1600 °C :

N_{CO2} = 12.94 kgmol/hr
 N_{H2O} = 10.24 kgmol/hr
 N_{N2} = 121.73 kgmol/hr
 N_{O2} = 8.32 kgmol/hr

Suponiendo una temperatura de 1600 °C :

COMPONENTE	ΔT	Cpm	kgmol	ΔH
CO2	1,575	12.75	12.94	259,851
H2O	1,575	9.95	10.24	160,473
N2	1,575	7.84	121.73	1'503,888
O2	1,575	8.26	8.32	<u>108,356</u>
TOTAL				2'032,570 kg/hr

a 1650 °C :

COMPONENTE	ΔT	Cpm	kgmol	ΔH
CO2	1.625	12.72	12.94	267,469
H2O	1,625	10.18	10.24	169,395
N2	1,625	7.86	121.73	1'554,994
O2	1,625	8.28	8.32	<u>112,067</u>
TOTAL				2'103,926 kcal/hr

Por interpolacion la temperatura de salida de los gases es de 1670 °C.

4.8 RESULTADOS.

		EXCESO DE AIRE		
		0%	25%	35%
Cantidad de aire necesario para quemar 308 kg/hr de lodo.	kg/hr	3285	4106	4435
	m3/hr	2540	3176	3430
Cantidad de aire necesaria para quemar el gas natural.	kg/hr	378	473	511
	m3/hr	391	489	528
Calor generado.	kcal/hr	2219109	2219109	2219109
Temperatura de los gases a la salida de la chimenea.	°C	2043	1730	1670

Densidad del aire a 0 °C y 760 mmHg = 1.293 kg/m3

Volumen de gas a la salida del incinerador :

CO2 = 2.96 m3

O2 = 1.27m3

H2O = 1.819 m3

N2 = 18.75 m3

TOTAL = 24.75 m3/hr = 0.412 m3/min

4.9. IMPACTO ECOLOGICO DE LOS RESULTADOS.

Al analizar los resultados obtenidos se presenta como problemática la alta temperatura manejada por los gases de combustión (1169' C), pero si tomamos en cuenta que la altura del incinerador es de 13 mts. y el área en donde serán disipados los gases de salida es considerada zona industrial, no representa problema alguno para poblaciones adyacentes a la planta porque el medio ambiente puede disipar rápidamente el calor generado.

Otro problema que se presenta es la cantidad de cenizas emitidas por el incinerador hacia la atmósfera. Los niveles máximos permisibles para un volumen de 0.412 m³/min de gases emitidos según artículo 4º de la Ley general del Equilibrio Ecológico y la Protección al Medio Ambiente son 4382 mg/m³ por minuto. Ver apéndice A.

Según experiencias en equipos similares la cantidad de partículas emitidas es de aproximadamente el 3% de la cantidad total de cenizas generadas en la combustión, siendo esta de 2770 mg/m³ por minuto se encuentra dentro de los rangos permisibles por SEDUE. Además considerando que el flujo de gases contiene vapor de agua, el contenido de partículas que se emiten baja considerablemente, generando un aspecto mas limpio de los gases.

Las cenizas generadas por la combustión son completamente inertes y pueden ser desechadas en cualquier tiradero industrial o municipal sin dañar el entorno ecológico.

CAPITULO U

OPERACION Y MANTENIMIENTO.

5.1. ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCION.

INCINERADOR MOD. INC/550-G

A. Dimensiones exteriores.

Longitud : 4.96 m
Ancho : 2.06 m
Altura : 2.95 m (sin base de chimenea)
Altura total: 13.00 m

B. Peso aproximado.

14,000 kg.

C. Envoltorio exterior:

Lámina negra calibre número 12 con refuerzos de perfiles doblados de 1/4" de espesor. Base de chimenea con lámina negra calibre número 16 y refuerzos de ángulo de 51 x 51 x 6 mm, con altura de 2.44 m sobre el nivel del cuerpo principal del incinerador.

D. Aislante:

Lana mineral o similar de 25 mm de espesor, colocado entre la cara del refractario y la envoltorio de lámina calibre número 12.

E. Refractario:

Paredes de tabique refractario tipo reg. de A.P. Green o similar. Concreto refractario Mizzou para el fondo del hogar y elementos estructurales. Las juntas de dilatación en el tabique refractario serán de cerafelt de 2 mm y barro refractario.

F. Accesorios:

Puerta de alimentación de 80 cm de altura x 40 cm de ancho fabricada en lámina negra calibre número 12 revestida interiormente con concreto aislante. La puerta se abre o cierra con un mecanismo de poleas y contrapesos, accionado en forma manual.

Puerta de limpieza de la tina de recirculación de 35 cm de altura x 42 cm de ancho de acero estructural, revestida de concreto refractario.

Dos puertas de extracción de cenizas de 35 cm de altura x 42 cm de ancho, con las mismas características de las anteriores. Estas puertas van colocadas lateralmente en la parte inferior.

G. Chimenea:

Tubular de 70 cm de diámetro x 7.32 m de altura de acero inoxidable tipo 304 en lámina calibre número 16. Esta chimenea se sujeta por medio de una brida atornillada a la base de la misma. La chimenea se soporta con una estructura que al mismo tiempo sirve como plataforma de muestreo.

H. Tina de agua interior:

Fabricada en lámina de acero inoxidable tipo 304 calibre número 16 con conexiones galvanizadas para entrada y salida de agua continua.

I. tanque de agua exterior:

De 80 cm de diámetro de 60 cm de altura, fabricado en acero inoxidable tipo 304 calibre número 16, llave de bola para drenaje del tanque y válvula de presión con flotador de 13 mm para mantener el nivel de agua constante.

J. Bomba de circulación de agua:

Tipo centrífuga, con impulsor de bronce y carcasa de hierro fundido con motor eléctrico monofásico de 1/2 HP, 110 Volts.

K. Quemadores de combustible:

Marca enterprise o similar tipo cañón, con control de falla de flama.

Modelo G-600 con capacidad máxima de 700,000 BTU/hr, para gas natural, equipados con ventilador integral, con motor de 1/4 H.P., 120 volts, 3450 rpm, transformador de encendido, electrodos para chispa, válvula selenoide y control con varilla detectora de flama.

L. Instalación eléctrica:

Tubo conduit de 13 mm, condulets, conectores y alambre de cobre del número 12, 14 y 16.

M. Combustible:

El consumo de combustible al 100% será de 30 kg/hr de gas.

N. Instalación de gas:

Tubería y conexiones de cobre tipo "L", con regulador de presión para quemador.

O. Tablero de control:

Gabinete metálico de lámina, pintado con esmalte anticorrosivo con los siguientes controles:

- Pirómetro controlador de temperatura, con carátula de registro.
- Tres arrancadores manuales G.E. para motor de 1/4 H.P. con luz piloto, 120 volts.
- Un arrancador manual G.E. para motor de 1/2 H.P. con luz piloto, 120 volts.
- Un switch general 2 x 30 amperes.

P. Notas:

a) Se deberá suministrar a un metro de distancia del incinerador servicios de:

- Drenaje de 10 cm de diámetro mínimo.
- Alimentación de agua de 13 mm de diámetro.
- Alimentación de gas, tubería de 19 mm de diámetro.
- Energía eléctrica para fuerza y control de 120 volts.

b) Se deberá construir una base de cimentación de 5.50 m x 2.5 m x 20 cm de espesor de concreto armado.

5.2. SECUENCIA DE OPERACION INCINERADOR MODELO INC/550/I/C.

a) Poner a funcionar la bomba de recirculación cerrando todas las puertas.

b) Poner a funcionar el quemador secundario media hora antes de cargar el horno.

c) Cargar el horno a capacidad enfrente del quemador Pt 2, verificando que las bocas de los quemadores no queden bloqueadas y que esto origine que la flama regrese dentro de la carcasa del quemador, quemando así sus componetes.

d) Encender los quemadores primarios.

e) Cerrando la puerta de carga, después de verificar que los quemadores estén funcionando.

f) Después de 5 minutos abrir las puertas laterales sobre los conos, así como la puerta inferior a la puerta de carga.

g) Después de aproximadamente 30 minutos de secar (de acuerdo con el contenido de humedad) empuje el material hacia el quemador Pt2 para terminar con su combustión, y recargar la parte del horno enfrente del quemador Pt1, siguiendo dicha secuencia, constantemente durante todo el período de incineración, pero sin bloquear los quemadores.

h) Debe evitarse recargar pequeñas cantidades, solamente deberá abrirse la puerta de carga cuando ya se haya acumulado una cantidad razonable de desperdicios.

i) Los quemadores primarios se deberán apagar mientras se carga material patológico (si existiera).

5.3. SECUENCIA DE MANTENIMIENTO DIARIO.

a) Descargar la ceniza todas las mañanas a través de la puerta lateral.

b) Vaciar una tercera parte de agua del tanque de recirculación (externo) cada mañana, con una limpieza completa cada semana.

c) El agua del tanque de recirculación automáticamente se repondrá a nivel, a través de la válvula cisterna.

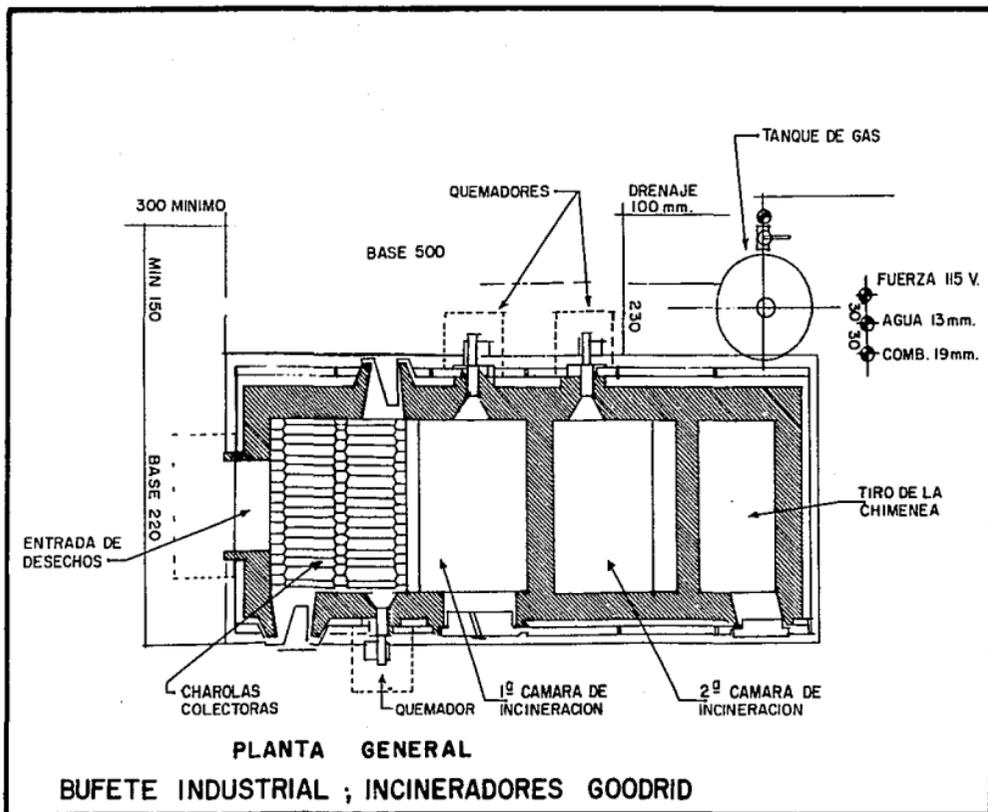
d) Asegirarse de que el sistema de agua esté funcionando correctamente antes de encender el horno.

5.4. OBSERVACIONES.

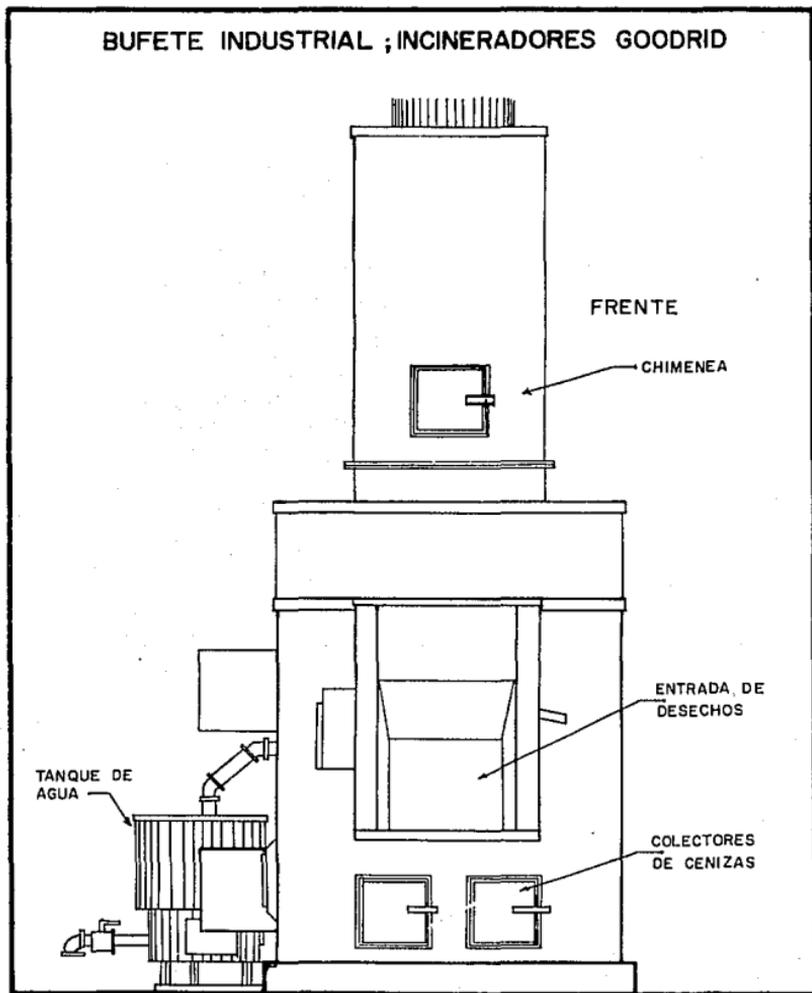
a) El tiempo de incineración depende del tipo de desperdicio y principalmente del contenido de humedad.

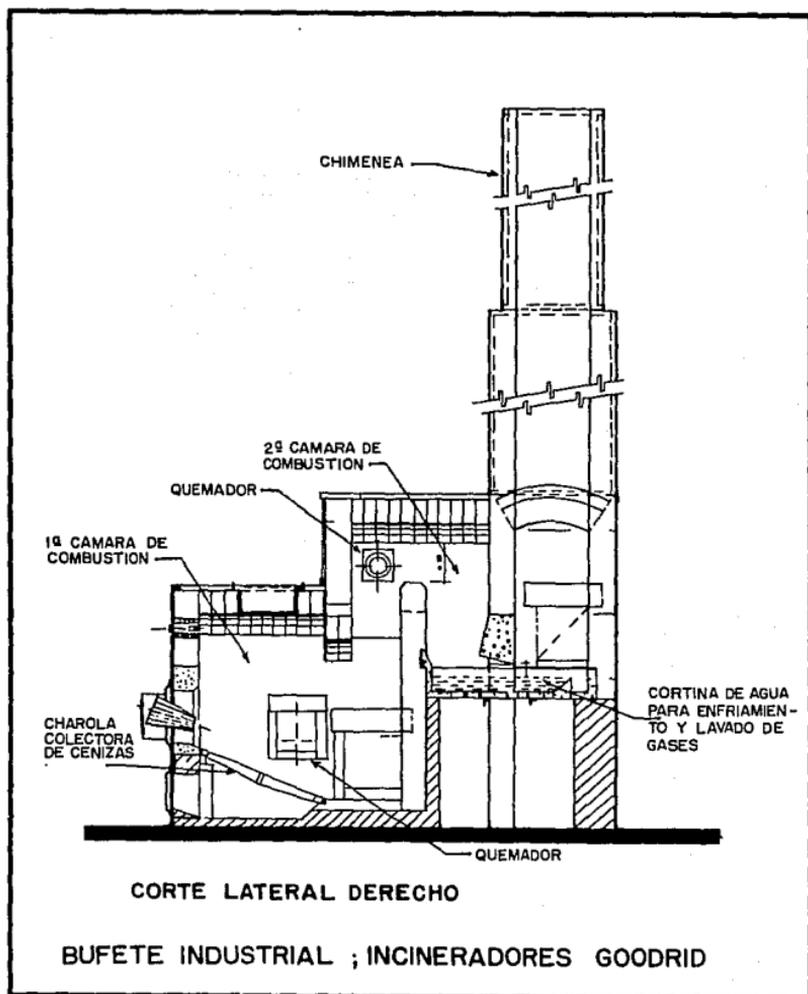
b) Cuando el desperdicio no sea material patológico se ahorrará combustible, iniciando la combustión y permitiendo que la cámara levante la temperatura adecuada para consumir todo el material, pudiendo entonces apagar el quemador.

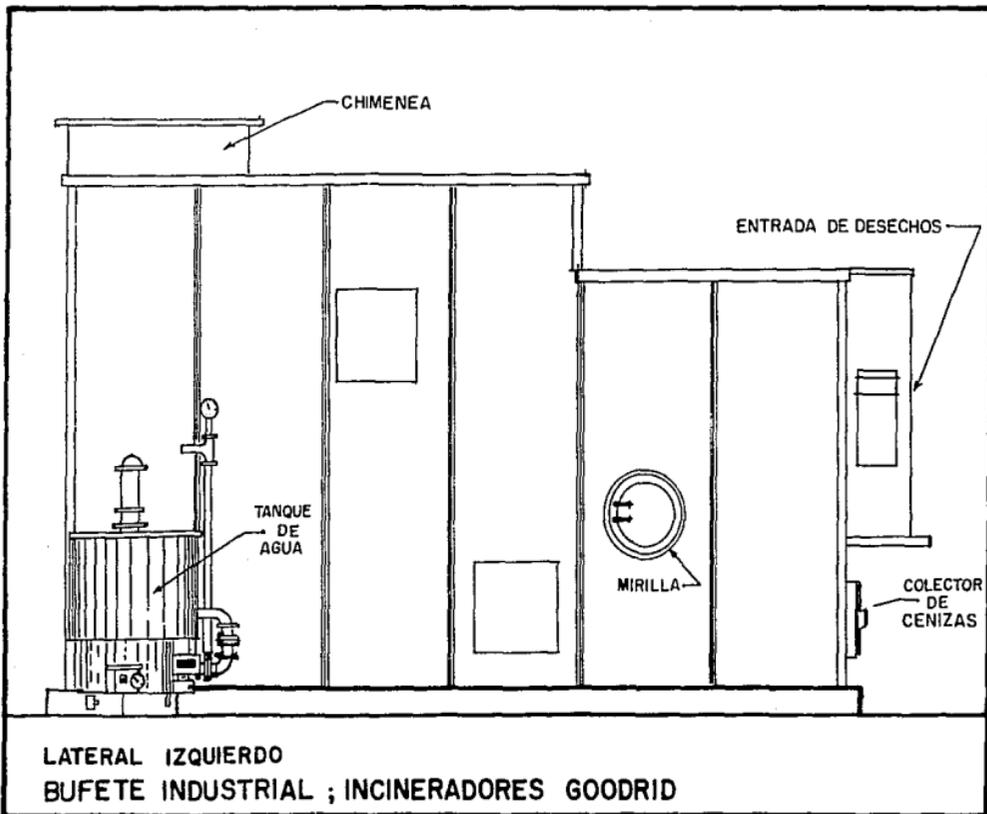
- c) NUNCA deberá desconectarse el switch general, salvo en el caso de que se vaya a hacer una reparación o servicio en el equipo.
- d) El quemador tiene un sistema de protección contra el calor generado dentro de la cámara de combustión por medio de un termostato, deberá operar a los 60' C, en el caso de no seguir la observación, incineradores goodrid interamericano se hace responsable por los daños ocasionados al quemador.
- e) Siempre deberá operarse con el switch y el reloj del tablero de control.
- f) El detergente que se recomienda es PENTEX 1.299 s.e. fabricado por COLLIDS DE MEXICO.
- g) Para servicio o reparación llamar a incineradores goodrid.
- H) La garantía que se otorga es de 90 días en las partes eléctricas y de 364 días en el cuerpo del incinerador.



BUFETE INDUSTRIAL ; INCINERADORES GOODRID







CAPITULO VI

ANALISIS ECONOMICO.

6.1. ANALISIS ECONOMICO.

El método comparativo que se usó para determinar las ventajas de un sistema sobre el otro, es el método del valor presente. A menudo es necesario determinar la cantidad de dinero disponible en el presente, para obtener una cierta cantidad acumulada en un tiempo futuro definido, como el factor tiempo está involucrado, se considera una tasa de interés anual. El valor presente de una cantidad futura es aquel que debe ser depositado a una tasa de interés tal, que proporcione la cantidad deseada al cabo del tiempo definido.

$$V.P. = S / (1 + i) n$$

donde V.P. es cantidad inicial principal, S es cantidad disponible después de n periodo de interés, i es la tasa de interés.

Evaluación de costos fijos para el incinerador (miles de pesos):

a) Costo del incinerador	169,500
b) Drenaje, alimentación de agua, alimentación de gas y cimentación	16,950
Total	186,450

Evaluación de costos de operación del incinerador (miles de pesos):

c) Costo de gas	50,400
d) Costo de 3 operadores	10,710
e) Costo de energía eléctrica	550
f) Costo de agua	396
Total	62,056

PROYECCION DE COSTOS DE OPERACION A 10 AÑOS Y TASA DE INTERES DE
21% ANUAL.

ANO	$1/(1+i)^n$	S	U.P.	ACUMULADO	TOTAL
1	0.8264	62,056	51,283	51,289	237,713
2	0.6830	62,056	42,384	93,667	280,117
3	0.5644	62,056	31,024	128,691	315,141
4	0.4665	62,056	28,949	157,640	344,090
5	0.3855	62,056	23,922	181,562	368,012
6	0.3186	62,056	19,761	201,333	387,738
7	0.2633	62,056	16,339	207,672	404,122
8	0.2176	62,056	13,503	231,175	417,625
9	0.1798	62,056	11,157	242,332	420,782
10	0.1486	62,056	9,221	241,553	438,003

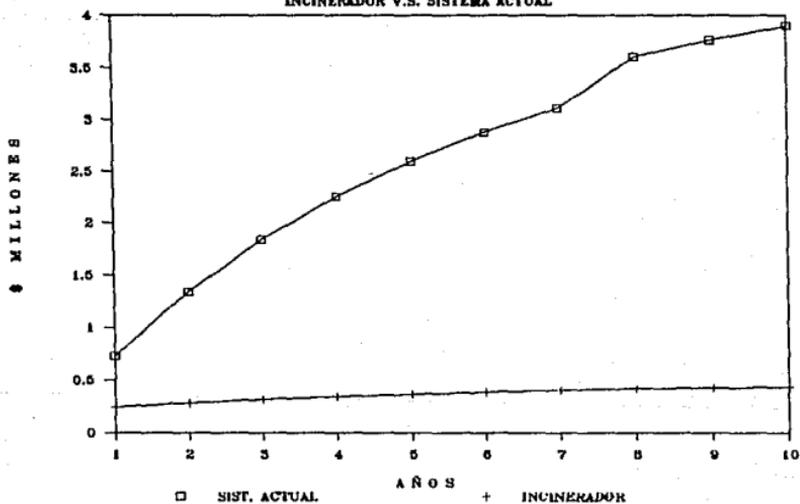
6.2. PROYECCION DE COSTOS DE OPERACION A 10 AÑOS Y TASA DE INTERES DE 21 % ANUAL.

Actualmente el costo por envasar, transportar y eliminar los desechos sólidos es de \$600/kg incluido mano de obra, transportes y permiso para depositar los lodos).

costo total de operación \$ 887,040 (miles de pesos)

ANO	$1/(1+i)^n$	S	U.P.	TOTAL
1	0.8264	887,040	733,049	733,049
2	0.6830	887,040	605,848	1' 338,897
3	0.5644	887,040	500,645	1' 839,542
4	0.4665	887,040	413,804	2' 253,346
5	0.3855	887,040	342,840	2' 596,186
6	0.3186	887,040	282,610	2' 878,796
7	0.2633	887,040	233,557	3' 112,353
8	0.2176	887,040	193,019	3' 605,372
9	0.1798	887,040	159,489	3' 764,861
10	0.1486	887,040	131,814	3' 896,375

PROYECCION COSTOS DE OPERACION INCINERADOR V.S. SISTEMA ACTUAL



AT'N. : ING. TERESA ALCOBE LOPEZ.

PRESUPUESTO No. IGI-540/91

Un incinerador marca Goodrid modelo INC-550-G, para orgánicos con una capacidad de 550 Kgs/Hr, utilizando gas como combustible.

IMPORTE:..... \$ 169' 500,000
(CIENTO SESENTA Y NUEVE MILLONES QUINIENTOS MIL PESOS 00/100 M.N.) + 15 % DE I.V.A.

Precio L.A.B. en México, D.F.

NOTAS:

1. El precio indicado comprende la fabricación e instalación del equipo.
2. No se incluye tanque de combustible.
3. El presupuesto se mantendrá vigente mientras no exista aumento en Mercado Nacional de la mano de obra y materiales, así como se mantenga estable el deslizamiento entre el peso y el dólar.
4. No se incluye los servicios indicados en las hojas de especificaciones del Incinerador.
5. Tiempo de entrega: 6 meses a partir de su orden y anticipo.
6. Condiciones de pago : 50% Anticipo.
30% Al tener los materiales en obra.
20% Al terminar la instalación.

Anexo : Hojas de especificaciones del INC-550-G.

A T E N T A M E N T E

ING. JAIME RODRIGUEZ ROJAS
GTE. DIVISION MECANICA.

CAPITULO VII

RECOMENDACIONES

7.1. RECOMENDACIONES.

1. Los métodos existentes para el tratamiento primario de aguas residuales son:

- Cribado.
- Flotación.
- Neutralización e igualación.
- Sedimentación.

Dependiendo el tipo de contaminante contenido en el agua se debe seleccionar el método de tratamiento más adecuado.

2. Los residuos sólidos obtenidos por el tratamiento primario al agua residual se conocen como fango o lodos residuales.

Existen varias alternativas para el tratamiento de los lodos residuales, dependiendo de su naturaleza fisicoquímica:

- Espesamiento.
- Deshidratación.
- Secado.
- Procesos de conversión térmica.

La disposición final de los lodos puede ser en la tierra, agua o aire, dependiendo el grado de conversión que presenten.

3. La tecnología que existe actualmente para el manejo y conversión de los lodos residuales nos proporciona una variedad muy amplia de equipos que se adecuan perfectamente a las necesidades de las empresas, desde un equipo muy simple (fosa de arena para concentrar los lodos) hasta una ultracentrifugación.

4. En base a las características fisicoquímicas del lodo residual que se maneja en la planta de resinas sintéticas, se recomienda el proceso de conversión térmica, conocido como incineración.

5. Se recomienda un incinerador Marca Goodrid Mod INC/550/I/C con capacidad de incineración de 550 Kg/hr. y un costo de inversión total de \$186'450,000.00; y con un estimado de costos de operación de \$62'056,000.00 el cual representa un ahorro considerable en los gastos de operación actuales, además de que la necesidad de tirar los desperdicios se reduce de 308 Kg/hr. de lodo a 5.5 Kg/hr. de cenizas inertes.

APENDICE A

NORMA. Técnica Ecológica NTE-CCAT-009/88, que establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de partículas sólidas de fuentes fijas.

Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice: Estados Unidos Mexicanos- Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología.

GABINO FRAGA MOURET, SECRETARIO DE DESARROLLO URBANO Y ECOLOGIA, CON FUNDAMENTO EN LOS ARTICULOS 37 FRACCIONES XVI Y XVII DE LA LEY ORGANICA DE LA ADMINISTRACION PUBLICA FEDERAL; 5º FRACCION VIII, 8º FRACCION VII, 36, 37, III FRACCION I Y 113 DE LA LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLOGICO Y LA PROTECCION AL AMBIENTE. HE DICTADO ACUERDO POR EL QUE SE EXPIDE LA NORMA TECNICA ECOLOGICA NTE-CCAT-009/88, QUE ESTABLECE LOS NIVELES MAXIMOS PERMISIBLES DE EMISION A LA ATMOSFERA DE PARTICULAS SOLIDAS PROVENIENTES DE FUENTES FIJAS, CON BASE EN LOS SIGUIENTES:

CONSIDERANDOS

Que la Ley general del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente prevé que las emisiones a la atmósfera deberán sujetarse a las normas técnicas ecológicas en las que se determinen los niveles máximos permisibles de emisión por contaminante y por fuente de contaminación a fin de asegurar una calidad del aire satisfactoria para el bienestar de la población y para conservar el equilibrio ecológico.

Que algunas fuentes fijas generen contaminantes, dentro de los que se encuentran, entre otros, las partículas. Estos materiales al combinarse con la atmósfera con otros contaminantes pueden causar un daño mayor al ambiente.

Que la emisión de partículas sólidas produce deterioro a la calidad del aire si rebasa ciertos límites, por lo que es necesario el control de dichas emisiones, a través del establecimiento de los niveles máximos permisibles, que aseguren que no se originarán alteraciones significativas al ambiente.

Que para la determinación de los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera previstos en esta norma se tomó en consideración la ubicación de la fuente fija, asimismo como el desarrollo tecnológico actual que permite reducir dichas emisiones, a través de la aplicación de técnicas adecuadas, la modificación de tecnologías, de procesos industrial a la instalación de equipos de control.

Que la formulación de la presente norma participe la Secretaría de Salud en lo referente a la salud humana.

En mérito de lo anterior he tenido a bien dictar el siguiente:

ACUERDO

ARTICULO PRIMERO. Se expide la norma técnica ecológica NTE-CCAT-009/88, que establezca los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de partículas sólidas provenientes de fuentes fijas, con excepción de las originadas en los hornos de calcinación de la industria del cemento, así como en los procesos de combustión.

ARTICULO SEGUNDO. Esta norma técnica ecológica es de orden público e interés social, así como de observancia obligatoria para los responsables de las fuentes fijas referidas en el artículo primero.

ARTICULO TERCERO. Para los efectos de esta norma técnica ecológica, se consideran las definiciones contenidas en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al ambiente, y las siguientes:

Flujo de gases.- Cantidad de gases que fluyen por un conducto por unidad de tiempo.

Fuente fija.- Es todo establecimiento que tenga como finalidad desarrollar operaciones o procesos industriales, comerciales, de servicios o actividades que generen o puedan generar emisiones contaminantes a la atmósfera.

Zona crítica.- Aquella en la que por sus condiciones topográficas y meteorológicas se dificulte la dispersión o se registren altas concentraciones de contaminantes a la atmósfera.

ARTICULO CUARTO. Los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de partículas sólidas provenientes de las fuentes a que se refieren el artículo 1º de acuerdo con el flujo de gases son:

NIVELES MAXIMOS PERMISIBLES DE EMISION DE PARTICULAS SOLIDAS.

FLUJO DE GASES EN LA FUENTE m ³ /min.	ZONAS CRITICAS Mg/m ³	RESTO DEL PAIS Mg/m ³
5	1536	2304
10	1148	1722
20	858	1287
30	724	1086
40	641	962
50	584	876
60	541	811

FLUJO DE GASES EN LA FUENTE m ³ /min.	ZONAS CRITICAS Mg/m ³	RESTO DEL PAIS Mg/m ³
80	479	719
100	437	655
200	326	439
500	222	333
800	182	273
1000	166	249
3000	105	157
5000	84	127
8000	62	104
10000	63	95
20000	47	71
30000	40	60
50000	32	48

La interpolación y extrapolación de los datos no contenidos en esta tabla para zonas críticas está dada por la ecuación:

$$E = 3020 (C) (\exp-0.42)$$

y para el resto de país :

$$E = 4529.7 (C) (\exp-0.42)$$

Donde :

E = Nivel máximo permisible de emisión en miligramos por metro cúbico normal.

C = Al flujo de gases en la fuente en metros cúbicos normales por minuto.

La emisión esta referida a condiciones normales de temperatura 208° K (25° C) y presión de 101.325 unidades Pascal (760 mm Hg) base seca.

ARTICULO QUINTO. Para los efectos de cuantificación de las emisiones de partículas sólidas a la atmósfera deberán utilizarse los procedimientos establecidos en las Normas Oficiales Mexicanas correspondientes, o en su caso las que expida la autoridad competente.

TRANSITORIO

UNICO.- El presente acuerdo entrará en vigor al día siguiente de su publicación en el Diario Oficial de la Federación. Ciudad de México, a 7 de octubre de mil novecientos ochenta y ocho.- El Secretario de Desarrollo Urbano y Ecología Gabino Fraga Mouret.- Rúbrica

En donde:

- VPM1 = Volumen proyectado de venta para el modelo i.
- RE1 = Resultado en emisiones del modelo i.
- NE1 = Niveles máximos permisibles de emisión para el tipo de modelo i.
- VTE = Volumen total proyectado de venta de unidades por la planta.
- i = Modelo a producir por la planta (i=1,2,3....n)?

$$\sum_{i=1}^n \quad = \text{operador sumatoria}$$

Al final de cada año-modelo se deberá cumplir con la siguiente fórmula:

$$\frac{\sum_{i=1}^n \text{VRM (RE)}_i}{\text{VRE}} \quad \frac{\sum_{i=1}^n \text{VRM (NE)}_i}{\text{VRE}}$$

En donde:

- VRMi = Volumen real de venta para el modelo i.
- REi = Resultado en emisiones del modelo i.
- NE = A niveles máximos permisibles de emisiones para el tipo

de modelo i.

VRE = Volumen total real de venta de unidades por la planta.

i = Modelo a producir por la planta (i=1,2,3.....n).

$$\frac{\sum_{i=1}^n}{i=1} = \text{Operador sumatoria}$$

TRANSITORIO

UNICO.- El presente acuerdo entrará en vigor al día siguiente de su publicación en el Diario Oficial de la Federación.

México, D.F., a 7 de octubre de 1988.

NORMA Técnica ecológica NTE-CCAT-008/88, que establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de partículas, monóxido de carbono, bióxido de azufre y óxidos de nitrógeno provenientes de procesos de combustión de gas natural en fuentes fijas.

Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice: Estados Unidos Mexicanos.- Secretaria de Desarrollo Urbano y Ecología.

GABINO FRAGA MOURET, SECRETARIO DE DESARROLLO URBANO Y ECOLOGIA, CON FUNDAMENTO EN LOS ARTICULOS 37 FRACCIONES XVI Y XVII DE LA LEY ORGANICA DE LA ADMINISTRACION PUBLICA FEDERAL; 5º FRACCION VIII, 8º FRACCION VII, 36, 37, III FRACCION I Y 113 DE LA LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLOGICO Y LA PROTECCION AL AMBIENTE. HE DICTADO ACUERDO POR EL QUE SE EXPIDE LA NORMA TECNICA ECOLOGICA NTE-CCAT-009/88, QUE ESTABLECE LOS NIVELES MAXIMOS PERMISIBLES DE EMISION A LA ATMOSFERA DE PARTICULAS SOLIDAS PROVENIENTES DE FUENTES FIJAS, CON BASE EN LOS SIGUIENTES:

CONSIDERANDOS

Que la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, prevé que todas las emisiones a la atmósfera deberán sujetarse a las normas técnicas ecológicas en las que se determinen los niveles máximos permisibles de emisión, por

contaminante o por fuente de contaminación, a fin de asegurar una calidad del aire satisfactoria para el bienestar de la población y para conservar el equilibrio ecológico .

Que algunas fuentes fijas que usan gas natural como combustible generan contaminantes, dentro de los que se encuentran, entre otros, las partículas, el monóxido de carbono, el bióxido de azufre y los óxidos de nitrógeno. Algunos de éstos contaminantes reaccionan con otros compuestos, formando otros contaminantes con características toxicológicas más severas al ambiente que aquéllos.

Que la emisión de dichos contaminantes produce deterioro a la calidad del aire si rebasa ciertos límites, por lo que es necesario el control de dichas emisiones a través del establecimiento de los niveles máximos permisibles que aseguren que no se originen alteraciones significativas al ambiente.

Que para la determinación de los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera previstos en ésta norma, se tomó en consideración la utilización de gas natural únicamente, la

optimización de los procesos de combustión, las tecnologías de control, así como la aplicación de combustibles de la mejor calidad.

Que en la formulación de la presente norma participó la Secretaría de Salud, en lo referente a la salud humana.

En mérito de lo anterior, he tenido a bien dictado el siguiente:

ACUERDO

ARTICULO 1o. Se expide la norma técnica ecológica NTE-CCAT-008/88 que establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de partículas, monóxido de carbono, bióxido de azufre y óxido de nitrógeno, provenientes de procesos de combustión en fuentes fijas que utilicen gas natural como combustible, cuando los gases de combustión no estén en contacto directo con los materiales de proceso.

ARTICULO 2o. Esta norma técnica ecológica es de orden público e interés social así como de observancia obligatoria para los responsables de fuentes fijas referidas en el artículo 1o.

ARTICULO 3o. Para los efectos de ésta norma técnica ecológica, se considerarán las definiciones contenidas en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, y las siguientes:

Combustión. Oxidación rápida, que consiste en una combinación del oxígeno con aquellos materiales o sustancias capaces de oxidarse, dando como resultado la generación de gases, luz y calor.

Gas natural. Mezcla de gases combustibles con un contenido mínimo de 70% de gas metano.

Fuente fija. es todo establecimiento que tenga como finalidad desarrollar operaciones o procesos industriales, de servicios o actividades que generen o puedan generar emisiones contaminantes a la atmósfera.

Proceso de combustión. Procedimiento mediante el cual un sistema de equipos efectúan la combustión de un combustible.

Operación de arranque de equipo de combustión. Inicio de operación de los procesos de combustión.

Operación de soplado. Aquella que consiste en limpiar de hollín los tubos de una caldera acuotubular, mediante la inyección de aire o vapor a presión.

ARTICULO 4.- Los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de partículas, monóxido de carbono, bióxido de azufre y óxidos de nitrógeno, provenientes de procesos de combustión de gas natural en fuentes fijas referidas en el artículo 1o. de ésta norma son:

CONTAMINANTES	NIVELES MAXIMOS PERMISIBLES DE EMISION EN KG/10 m3 (a)
Partículas	100
Monóxido de carbono	500 (c) 640 (d)
Bióxido de azufre	10
Oxidos de nitrógeno (b)	2250 (c) 9000 (d)

(c) Kilogramo de contaminante por cada millón de metros cúbicos de gas natural consumido a 1 Kg. por centímetro cuadrado (98060 Pa) y 293 K° (20°C).

(b) Los óxidos de nitrógeno expresados como bióxido de nitrógeno.

Los niveles máximos permisibles se especifican de acuerdo al tamaño del equipo, en dos grupos:

(c) Para equipos de combustión de capacidad hasta de 106X10 joules/hora.

(d) Para equipos de combustión de capacidad mayor de 106X10 joules/hora.

ARTICULO 5.- Los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera establecidos en el artículo anterior, podrán rebasarse en caso de las operaciones de arranque y soplado del equipo de combustión, siempre y cuando no excedan períodos mayores de 10 minutos y no se presenten más de tres veces al día.

ARTICULO 6.- Para los efectos de cuantificación de las emisiones de partículas, monóxido de carbono, bióxido de azufre y óxidos de nitrógeno, deberán utilizarse los procedimientos establecidos en las normas oficiales mexicanas correspondientes, o en su caso las que expida la autoridad competente.

TRANSITORIO

UNICO.- El presente acuerdo entrará en vigor al día siguiente de su publicación en el Diario Oficial de la Federación.

APENDICE B
REGLAMENTO PARA LA PREVENCIÓN
Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN
DE AGUAS.

CAPITULO 1

DISPOSICIONES GENERALES.

ARTICULO 1.- El presente reglamento tiene por objeto proveer en la esfera administrativa, a la observancia de la Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación ambiental en toda la República, en lo que se refiere a la prevención y control de la contaminación de las aguas, cualquiera que sea su régimen legal.

ARTICULO 2.- El Consejo de Salubridad General podrá dictar sus disposiciones generales para prevenir y controlar la contaminación ambiental a que se refiere este Reglamento. Su aplicación compete al Ejecutivo Federal, por conducto de la Secretaría de Salubridad y Asistencia en coordinación con la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Las demás autoridades que dependan de Ejecutivo Federal, de los Ejecutivos de los Estados, de los Territorios y de los Ayuntamientos, auxiliarán a las mencionadas anteriormente, en la aplicación de este Reglamento, sin perjuicio de las atribuciones que les son propias.

ARTICULO 3.- La Secretaría de Salubridad y Asistencia, en su caso, coordinadamente con la de Agricultura y Recursos Hidráulicos, en lo no previsto por este Reglamento, dictará las disposiciones técnicas a que deberán sujetarse las personas físicas o morales de carácter público o privado, cuyas actividades puedan causar contaminación de las aguas.

ARTICULO 4.- Las Secretarías de Salubridad y Asistencia, de Agricultura y Recursos Hidráulicos y de Industria y Comercio, se coordinarán para expedir dentro de sus respectivas competencias, los instructivos y circulares necesarios a fin de proveer al cumplimiento de este reglamento, que se publicarán en el Diario Oficial de la Federación para su debida observancia.

ARTICULO 5.- El Ejecutivo Federal dictará o promoverá ante el Congreso de la Unión, en su caso, las medidas fiscales convenientes para procurar la descentralización industrial; así como para facilitar a las industrias establecidas y las que en lo futuro se establezcan la fabricación, adquisición e instalación de equipos y aditamentos que tengan por objeto controlar o abatir la contaminación del agua.

Para estos propósitos, las Secretarías de Hacienda y Crédito Público y de Industria y Comercio, realizarán los estudios conducentes particularmente aquellos que tiendan a facilitar la fabricación de equipos o la importación de los que no se produzcan en el país; la exención o reducción de impuestos, la autorización para depreciar aceleradamente con fines fiscales los equipos sustituidos o de nueva adquisición y otras franquicias.

CAPITULO II

DE LA PREVENCIÓN Y CONTROL

DE LA CONTAMINACIÓN DE AGUAS

ARTICULO 6.- La prevención y control de la contaminación de las aguas, para preservar y restaurar la calidad de los cuerpos receptores, deberá realizarse, en los términos de este Reglamento, mediante los siguientes procedimientos:

I.- Tratamiento de las aguas residuales para el control de sólidos sedimentales, grasas y aceites, materia flotante, temperatura y potencial hidrógeno (pH); y

II.- Determinación y cumplimiento de las condiciones particulares de las descargas de aguas residuales mediante el tratamiento de estas, en su caso, de acuerdo con el resultado de los estudios que la autoridad competente realice de los cuerpos receptores, su capacidad de asimilación, sus características de dilución y otros factores.

ARTICULO 7.- Las descargas de aguas residuales, con excepción de las provenientes de usos puramente domésticos, deberán registrarse en la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, dentro de los plazos establecidos en el artículo 10.

El cumplimiento de esta obligación, corresponde a los propietarios, encargados o representantes de establecimientos, servicios o instalaciones, públicos o privados, que originen o motiven las descargas

ARTICULO 8.- La Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos suministrará a los responsables de las descargas gratuitamente, las formas de solicitudes para efectuar el registro, en las cuales deberán proporcionar lo siguiente:

- I.- Nombre y domicilio,
- II.- Punto de la descarga, acompañado plano o croquis de los terrenos donde ésta se localice;
- III.- Características físicas, químicas y bacteriológicas de las aguas residuales;
- IV.- Gastos máximos, promedio y mínimo, de las aguas residuales; y
- V.- Descripción general de los dispositivos y plantas de tratamiento, en su caso.

Para que los responsables de las descargas estén en condiciones de proporcionar los informes y documentos anteriores, dispondrán de los plazos a que se refiere el artículo 10.

ARTICULO 9.- En las formas para efectuar el registro de las descargas, el responsable de éstas deberá manifestar si desea que desde luego se le fijen las condiciones de la misma, en los términos del artículo 24.

ARTICULO 10.- Los plazos para el registro de las descargas de aguas residuales serán los siguientes:

I. Seis meses para las descargas existentes de aguas residuales provenientes de usos públicos o industriales, que se viertan en los alcantarillados de las poblaciones;

II. Seis meses para las descargas existentes de aguas residuales, con excepción de las provenientes de usos puramente domésticos, que no se viertan en los alcantarillados de las poblaciones;

III. Seis meses para las descargas de los sistemas de alcantarillados que se vierten en cuerpos receptores;

IV. Cuatro meses para las nuevas descargas de aguas residuales provenientes de usos públicos o industriales que vayan a los alcantarillados de las poblaciones, a partir de la fecha de su inicio;

V. Cuatro meses para las nuevas descargas de aguas residuales con excepción de las provenientes de usos puramente domésticos que no vayan a los alcantarillados de las poblaciones, a partir de la fecha de su inicio.

En los casos de las fracciones IV y V, los responsables de las nuevas descargas antes del inicio de éstas deberán presentar a las Secretarías de Salubridad y Asistencia y de Agricultura y Recursos Hidráulicos un aviso previo con los datos comprendidos en las fracciones I y II del artículo 8.

ARTICULO 11.- La Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos efectuará el registro, con base en la solicitud presentada y enviará los datos de aquél, a la Secretaría de Salubridad y Asistencia, con copia de la documentación exhibida.

Transcurrido el plazo del registro, la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, sin perjuicio de aplicar las sanciones procedentes, registrará a los omisos requiriéndolos para que proporcionen información a que se refiere el artículo 8.

ARTICULO 12.- El registro de las descargas de aguas residuales, tendrá por objeto contribuir a los estudios para determinar la calidad de los cuerpos receptores y las condiciones particulares que deban cumplir las propias descargas; así como la programación a corto plazo de la acción para prevenir y abatir la contaminación de las aguas.

ARTICULO 13.- Los responsables de las descargas de aguas residuales que no sean arrojadas en el alcantarillado de las poblaciones, deberán, dentro de un plazo de tres años contados a partir de la fecha del registro de la descarga, ajustarla a la siguiente.

TABLA No. 1
DE MAXIMOS TOLERABLES

I.	Sólidos sedimentales	1.0 ml/l
II.	Grasas y aceites	70 mg/l
III.	Materia flotante	Ninguna que quede retenida por malla de 3 mm. de claro libre cuadro
IV.	Temperatura	35 °C
V.	Potencial Hidrógeno pH	4.5-10.0

Los métodos de muestreo de análisis de laboratorio para comprobar que los responsables de las descargas se ajustan a la tabla anterior, serán fijados por la Secretaría de Industria y Comercio, mediante instructivo que se publicará en el Diario Oficial de la Federación.

ARTICULO 14.- Los responsables de las descargas de aguas residuales que sean arrojadas en el alcantarillado de las poblaciones, dentro de un plazo de tres años contados a partir de la fecha del registro de la descarga deberán sujetarse a las normas establecidas en el artículo anterior.

Asimismo podrán optar dentro de un plazo de diez meses, contados a partir de la fecha del registro de la descarga, por el pago de las cuotas que como derechos fijen las disposiciones locales correspondientes, para cubrir los costos de operación del tratamiento de las aguas residuales del alcantarillado que efectúen las propias autoridades.

En este último caso, en el mismo plazo, los responsable de las descargas deberán presentar un informe preliminar de ingeniería que contenga exclusivamente la fase de trabajos internos a que se refieren los artículos 16 Fracción I, 17 fracciones I y II y 21 fracción I, por cuanto a la medición y muestreo de la descarga.

La vigilancia del cumplimiento de éstas obligaciones estará a cargo de las autoridades municipales correspondientes o del Departamento del Distrito Federal como responsables de las descargas de aguas provenientes de las redes del alcantarillado.

ARTICULO 15.- Los responsables de las descargas de aguas residuales que hubieran optado en los términos del artículo anterior por el pago de las cuotas que como derechos fingen las disposiciones locales para cubrir los costos de operación del tratamiento de las aguas residuales del alcantarillado, dejarán de pagarlas, cuando se ajusten las descargas a las normas establecidas en este reglamento, previo aviso a las autoridades correspondientes con 10 meses de anticipación.

ARTICULO 16.- Los responsables de las descargas de aguas residuales, que requieran obras o instalaciones de purificación para cumplir con lo dispuesto para cumplir con lo dispuesto con el de un plazo de 10 meses contados a partir de la fecha del registro, presentar un Informe Preliminar de Ingeniería (I.P.I.) que contenga las siguientes fases sucesivas:

- I. De trabajos internos;
- II. De trabajos externos;
- III. De adquisiciones;
- IV. De construcción; y
- V. De cumplimiento.

El informe deberá ser autorizado por un profesional de la materia, con cédula expedida por la Secretaría de Educación Pública.

ARTICULO 17.- El informe preliminar de ingeniería en cuanto a los trabajos internos comprenderá :

- I. Revisión de los sistemas de recolección de aguas residuales (pluviales, sanitarias y del proceso en su caso) que componen la o las descargas finales;
- II. Muestreo y análisis de calidad de cada una de las descargas de los sistemas de recolección;
- III. Proyecto de los cambios que fueren necesarios en los sistemas de recolección de aguas residuales; incluyendo la determinación del gasto o flujo de diseño del sistema de tratamiento;
- IV. Determinación del costo de cambios necesarios; y
- V. Plazo de terminación de los cambios en los sistemas de recolección de aguas residuales.

ARTICULO 18.- El informe preliminar de ingeniería en cuanto a los trabajos externos comprenderá :

- I. En caso de ser necesario, proyecto del sistema de tratamiento o modificaciones al o los existentes;
- II. Caracterización de los residuos;
- III. Proyecto, en su caso, del sistema de disposición de los lodos que puedan producirse durante el tratamiento;
- IV. Lista del equipo que se utilizará en el sistema de tratamiento;
- V. Terreno y localización del lugar donde se instalará la planta de tratamiento;
- VI. Punto de la descarga final; y
- VII. Plazo de terminación de la fase.

ARTICULO 19.- El informe preliminar de ingeniería en cuanto a las adquisiciones comprenderá:

- I. Fecha en el que se fincarán el o los pedidos de compra del equipo que se utilizará en los sistemas de tratamiento; y
- II. Fecha en que se espera su total entrega.

ARTICULO 20.- El informe preliminar de ingeniería en cuanto a la construcción comprenderá :

- I. Fechas de iniciación y terminación de las construcciones e instalaciones que se requieren de acuerdo con la fase de los trabajos internos; y
- II. Fechas de iniciación y terminación de las construcciones e instalaciones que se requieren de acuerdo con la fase de trabajos externos.

ARTICULO 21.- El informe preliminar de ingeniería en cuanto a su cumplimiento comprenderá :

- I. Fecha en que se iniciará la operación de dispositivos de medición y muestreo de la descarga; y
- II. Fecha estimada para que la descarga se ajuste a las condiciones señaladas en el artículo 13, dentro del plazo que el mismo establece.

ARTICULO 22.- Los responsables de las descargas de aguas residuales que en los términos de este reglamento deban instalar

sistemas de tratamiento, estarán obligados a cumplir en sus fechas con el programa contenido en el informe preliminar de ingeniería.

La Secretaría Agricultura y Recursos Hidráulicos vigilará el cumplimiento de esta obligación y en su caso, impondrá las sanciones que correspondan.

ARTICULO 23.- Las Secretarías de Agricultura y Recursos Hidráulicos y de Salubridad y Asistencia realizarán los estudios de los cuerpos receptores a que se refiere este Reglamento, a fin de clasificar las aguas en función de sus usos, conocer su capacidad de asimilación y de dilución, así como para señalar las condiciones particulares de las descargas de aguas residuales.

ARTICULO 24.- Con base en el dictamen que emita la Secretaría de Salubridad y Asistencia y en los estudios a que se refiere el artículo anterior, de una cuenca o región, la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos fijará las condiciones particulares de las descargas de aguas residuales, de acuerdo con la clasificación del agua del cuerpo receptor, su volumen o gasto y las tolerancias fijadas.

BIBLIOGRAFIA

1. Metcalf and Eddy Boston. Wastewater Engineering, Collection, Treatment, Disposal. New York. Mc Graw-Hill, 1972.
2. Diario Oficial de la Federación. México, miércoles 19 de Octubre de 1988. Norma NTE. CLAT-009/88. Págs. 23-25.
3. Lorenzen/Conway/Jackson/Hamza. Hazardous and Industrial Solid Waste Testing and Disposal v-6. Editor ASTM Special Technical Publication. Págs. 177-191. 1986.
4. Weber, Walter J., Et. al, Control de la Calidad del Agua. Procesos Físicoquímicos. Versión Española por Jorge Bessaverte. Editorial Reverte. México, 1976.
5. Ricardo A. Zetina. La Contaminación Atmosférica en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. Tesis. G. 1989.
6. J. Gullet. Polymer Science and Technology v-3. Plenum Press. New York, 1973. Págs. 81-92.
7. S.T. Kolaczowski and B.D. Crittenden. Management of Hazardous and Toxic Wastes in the Process Industries. 1987. Págs. 628-635.
8. J.S. . Estimator's Manual of Equipment and Installation Costs. Gulf Publishing Co. Houston, Texas, 1963.
9. Annual Book of ASTM Stands. Designation: 03974-81, D-3975-80. 1989. Págs 735-867.
10. Kern,D.Q.. Process Heat Transfer. Editorial Mac Graw-Hill. Tokyo, 1950. Apéndice.
11. Perry, R.M. y Chilton. C.H. Chemical Engineer's Hand Book. Editorial Mac Graw-Hill. Chemical Engineering Series 5th. Ed. Tokyo, 1973. Capítulo 13.
12. Schmidt, A. y List. H.L. Material and Energy Balances. Prentice Hall Inc. 1962. Capítulo 8.
14. Olaf A. Hougen, Kenneth M. Watson, Roland A. Ragatz. Chemical Process Principles, Part I. Ed. John Wiley and sons. 2a Edición. New York.
15. Granados Romero Bertoldo, Juárez Sicardo Pedro. Estudio Técnico para la Disposición Final de la Basura en el D.F.. Tesis. México, 1989. Facultad de Química de la UNAM.