



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO**

Facultad de Química

110
2ej

**MANEJO Y DISPOSICION DE SOLIDOS
PROVENIENTES DE TRATAMIENTO DE
EFLUENTES INDUSTRIALES**

**TRABAJO MONOGRAFICO DE
ACTUALIZACION**

Que para obtener el Título de:

INGENIERO QUIMICO

P r e s e n t a :

MANUEL JACOBO NOFFAL NUÑO

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**
México, D. F.



1993



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

**Manejo y Disposición de sólidos provenientes de
tratamiento de efluentes industriales.**

CONTENIDO
CAPITULO I

PROBLEMATICA.

1.1. INTRODUCCIÓN.	1
1.2. OBJETIVOS Y ALCANCES.	2
1.3. LIMITACIONES	3
1.4. DELIMITACION DEL PROBLEMA.	4
1.4.1. Composición de un efluente doméstico.	5
1.4.2. Composición de un efluente Industrial.	5
1.5. CLASIFICACION DE LOS RESIDUOS SOLIDOS QUE SE GENERAN EN LA INDUSTRIA.	6
1.6. PROBLEMATICA.	8
1.6.1. Problemática mundial.	8
1.6.1.1. Africa.	8
1.6.1.2. Europa.	8
1.6.1.3. Oceanía.	9
1.6.1.4. Sudamérica.	9
1.6.1.5. Centroamérica.	10
1.6.1.6. Norteamérica.	11
1.6.1.7. Asia.	12
1.6.2. Problemática nacional.	12
1.6.2.1. Uso industrial del agua.	12
1.6.2.2. Fuentes de contaminación.	13
1.6.2.2.1. Contribución del sector social	

como generadores de contaminación del agua.	13
1.6.2.2.2. Sector agropecuario.	14
1.6.2.2.3. Sector industrial.	15
1.6.2.3. Análisis de la problemática nacional.	17
1.6.2.3.1. Aguascalientes.	17
1.6.2.3.2. Baja California Norte.	17
1.6.2.3.3. Baja California Sur.	19
1.6.2.3.4. Campeche.	19
1.6.2.3.5. Coahuila.	19
1.6.2.3.6. Colima.	20
1.6.2.3.7. Chiapas.	20
1.6.2.3.8. Chihuahua.	20
1.6.2.3.9. Distrito Federal.	21
1.6.2.3.10. Durango.	22
1.6.2.3.11. Estado de México.	22
1.6.2.3.12. Guanajuato.	25
1.6.2.3.13. Guerrero.	25
1.6.2.3.14. Hidalgo.	26
1.6.2.3.15. Jalisco.	27
1.6.2.3.16. Michoacán.	28
1.6.2.3.17. Morelos.	29
1.6.2.3.18. Nuevo León.	32
1.6.2.3.19. Oaxaca.	33
1.6.2.3.20. Puebla.	33
1.6.2.3.21. Querétaro.	35
1.6.2.3.22. Quintana Roo.	37
1.6.2.3.23. San Luis Potosí.	37
1.6.2.3.24. Sinaloa.	38

1.6.2.3.25. Sonora.	39
1.6.2.3.26. Tabasco.	39
1.6.2.3.27. Tamaulipas.	39
1.6.2.3.28. Tlaxcala.	40
1.6.2.3.29. Veracruz.	41
1.6.2.3.30. Yucatán.	42

CAPITULO II

LEGISLACION

2.1 INTRODUCCION.	44
2.1 LEGISLACION EN LOS ESTADOS UNIDOS DE AMERICA.	45
2.1.1 Manejo de residuos peligrosos en los Estados Unidos de América.	45
2.1.2 Acciones administrativas de los E.U.A.	46
2.1.2.1. La Ley de Conservación y Recuperación de Recursos (RCRA).	46
2.1.2.1.1. Los objetivos del RCRA.	46
2.1.2.1.2. Estructura del RCRA.	47
2.1.2.2. Ley General de Respuesta, Compensación y Responsabilidad Ambiental (CERCLA).	47
2.1.2.2.1. Principales disposiciones del CERCLA	48
2.1.3. Generación y procedencia de los residuos en E.U.A.	48
2.1.4. Manejo y Control del residuos peligrosos en E.U.A.	49
2.1.4.1. Control de generadores y compañías o personas relacionadas con el manejo de residuos peligrosos.	49
2.1.4.2. Mecanismo Legal de Control del Manejo y Disposición de Residuos Peligrosos.	50
2.1.4.2.1. Normas para generadores y	

transportistas de residuos peligrosos.	50
2.1.4.2.2. Normas para instalaciones de tratamiento, almacenamiento y/o eliminación.	51
2.1.5. Cronología de legislación ambiental en los Estados Unidos de América.	53
2.2. LEGISLACION EN MEXICO.	54
2.2.1 Síntesis de la problemática ambiental en México.	54
2.2.1.1. Procedencia y generación de desechos. .	54
2.2.1.2. Cuantificación de las descargas residuales en México.	54
2.2.1.3. Tratamiento de efluentes en México. . .	55
2.2.1.4. Cuantificación y destino de los residuos sólidos en México.	55
2.2.2. Legislación referente al manejo y disposición de lodos de tratamiento de efluentes industriales en México.	56
2.2.3. Cronología de las publicaciones legales referentes al manejo y disposición de residuos peligrosos en México.	57
2.2.4. Organismos involucrados en manejo y disposición de lodos de tratamiento de efluentes industriales.	60

CAPITULO III

CARACTERIZACION

3.1 OBJETIVOS DE LA CARACTERIZACION.	61
3.2 MUESTREO.	61
3.2.1. Responsables del muestreo de un lodo.	61
3.2.2. Métodos de muestreo.	61
3.2.2.1. Muestreo de lodos acuosos.	61
3.2.2.1.1. Período de muestreo de lodos acuosos.	62
3.2.2.2. Muestreo de lodos secos en lechos.	62
3.2.2.3. Muestreo de "tortas" de filtros.	62
3.2.2.4. Método de cuarteo.	63
3.2.2.5. Muestras alteradas e inalteradas.	63
3.2.2.5.1. Muestras Inalteradas.	64
3.2.2.5.1.1. Protección de las muestras.	65
3.2.2.5.2. Muestras alteradas.	65
3.2.2.6. Dispositivos utilizados para muestreo.	66
3.3. CARACTERIZACION DE LODOS.	66
3.3.1. Principales generadores de carga contaminante en descargas industriales en México.	66
3.3.2. Perfil contaminante de las descargas industriales.	69
3.3.3. Equipo empleado en análisis de lodos.	70
3.4. METODOS ANALITICOS DE CONTROL.	70

3.4.1. Análisis inorgánicos.	70
3.4.1.1. Espectroscopía de absorción atómica. . .	70
3.4.1.2. Espectroscopía de emisión óptica . . .	72
3.4.1.3. Espectroscopía de emisión de flama. . .	72
3.4.1.4. Espectrofotometría y Espectrofotometría Ultravioleta.	72
3.4.1.5. Analizador de carbono total.	73
3.4.2. Análisis orgánicos.	73
3.4.2.1. Espectroscopía Infrarroja.	73
3.4.2.2. Resonancia Magnética Nuclear.	73
3.4.2.3. Cromatografía de líquidos.	74
3.4.2.4. Cromatografía de gases.	74
3.4.3. Pruebas que se efectúan a los lodos.	76
3.4.4. Caracterización de un lodo de tratamiento de efluentes industriales aplicando las metodologías descritas en las normas mexicanas.	77
3.4.4.1. Criterios C.R.E.T.I.	78
3.4.4.1.1. Corrosividad.	78
3.4.4.1.2. Reactividad.	78
3.4.4.1.3. Explosividad.	79
3.4.4.1.4. Inflamabilidad.	79
3.4.4.1.5. Toxicidad.	80
3.4.4.2. Determinación de la composición química global del residuo de acuerdo con los parámetros establecidos en la legislación.	80
3.4.4.2.1. Normas para determinar compuestos inorgánicos.	80
3.4.4.2.2. Normas para determinar la composición global orgánica.	82

CAPITULO IV

TRATAMIENTO DE LODOS.

4.1. LODOS DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES.	83
4.1.1. Generalidades.	83
4.1.1.1. Procedimientos para tratar lodos según sea la etapa de tratamiento de efluentes.	83
4.1.1.2. Lodos "crudos".	84
4.1.2. Contenido de materia sólida en los lodos procedentes de diferentes tratamientos.	84
4.1.3. Objetivos en el tratamiento de lodos.	85
4.1.4. Problemas en el manejo de los lodos.	86
4.2 ESPESAMIENTO.	86
4.2.1. Espesamiento según el tipo de lodos.	86
4.2.2. Métodos empleados de espesamiento.	87
4.2.2.1. Asentamiento por gravedad.	87
4.2.2.2. Espesamiento por flotación.	87
4.2.2.2.1. Espesamiento por electroflotación.	88
4.2.3. Equipos para espesamiento.	88
4.2.3.1. Espesador continuo.	88
4.2.4. Espesamiento por gravedad y estabilización del residuo usando ozono.	89
4.2.5. Destino del sobrenadante de los equipos de espesamiento.	90
4.3. ESTABILIZACION.	90

4.4. DIGESTION ANAEROBIA.	90
4.4.1. Proceso de digestión.	90
4.4.1.1. Medio metanogénico.	91
4.4.2. Tipo de lodos a estabilizar por ésta vía. . .	92
4.4.3. Mecanismo de tratamiento anaeróbico.	92
4.4.3.1. Fermentación ácida.	93
4.4.3.1.1. Conversión del material orgánico en la fermentación ácida.	93
4.4.3.1.2. Productos de la fermentación ácida.	94
4.4.3.1.3. El pH en la fermentación ácida.	95
4.4.3.1.4. Bacterias que toman parte en la fermentación ácida.	96
4.4.3.2. Fermentación metanogénica.	96
4.4.3.2.1. Pasos de la degradación metanogénica.	97
4.4.3.2.2. Características distintivas de la fermentación metanogénica.	100
4.4.3.2.3. Producción de metano.	100
4.4.4. Toxicidad en el tratamiento anaerobio. . .	101
4.4.4.1. Efecto de los cationes en el tratamiento anaeróbico.	101
4.4.4.2. Efecto del amoníaco.	102
4.4.4.3. Efecto de los sulfuros.	103
4.4.4.4. Efecto de los metales pesados.	103
4.4.5. Causa de sistemas anaeróbicos no balanceados.	105
4.4.5.1. Control de sistemas anaeróbicos no balanceados.	105

4.4.6. Riesgos y medidas de seguridad en el manejo de los gases de los lodos.	106
4.4.6.1. Riesgos de exposición y manejo de biogás.	106
4.4.6.2. Medidas de seguridad para el manejo de biogás.	107
4.4.7. Digestores anaeróbios.	108
4.4.7.1. Tipos de digestores para lodos.	108
4.4.8. Variables de control en los digestores.	110
4.4.8.1. Temperatura.	110
4.4.8.1.1. Control de la temperatura.	111
4.4.8.1.2. Medios de calentamiento.	111
4.4.8.2. Control del pH.	112
4.4.8.3. Mezclado y siembra.	113
4.4.8.3.1. Siembra.	113
4.4.8.3.2. Propósitos del mezclado.	114
4.4.8.3.3. Métodos empleados en el mezclado.	114
4.4.8.3.4. Características del mezclado.	114
4.4.8.3.5. Agitación.	115
4.4.8.3.6. Suministro de alimentos.	115
4.4.9. Procedimiento para el control en tanques de digestión de lodos separados.	116
4.4.9.1. Bombeo de los lodos.	116
4.4.9.2. Selección de equipo de bombeo.	117
4.4.10. Descarga del sobrenadante.	118
4.4.11. Descarga de lodos digeridos.	120
4.4.12. Ventajas y Desventajas de Procesos Anaeróbios de Estabilización.	121

4.4.12.1. Ventajas.	121
4.4.12.2. Desventajas.	121
4.4.13. Resumen del Mecanismo de Degradación. . .	122
4.5. DIGESTION AEROBIA.	123
4.5.1. Proceso de Lodos Activados.	123
4.5.1.1. Pasos de degradación aerobia. . . .	123
4.5.1.2. Descarga de lodos de desecho. . . .	124
4.5.1.3. Características de los lodos. . . .	124
4.5.1.4. Lodos primarios.	125
4.5.1.5. Procedimiento de siembra.	125
4.5.1.6. Proceso global de aereación.	125
4.5.1.7. Relación entre los costos y los nutrientes asociados al proceso de aereación.	126
4.5.1.8. Balance de nutrientes en el proceso de aereación.	127
4.5.1.9. Características esenciales del proceso de lodos activa-dos.	128
4.5.1.10. Sistemas de aereación.	128
4.5.1.11. Operación de un sistema de lodos activados.	128
4.5.1.12. Mezcla de un sistema de lodos activados.	129
4.5.1.12.1. Mezcla en flujo pistón. . .	129
4.5.1.13. Parámetros de operación.	129
4.5.1.13.1. D.B.O como parámetro de operación en un sistema aeróbio. .	129
4.5.1.13.2. Concentración de los lodos.	130

4.5.1.13.3. Tiempo de residencia de los lodos (T.R.L)	131
4.5.1.13.4. Nivel de carga de la planta.	133
4.5.1.13.4.1. Relación de alimentos a los microorganismos.	133
4.5.1.13.5. Tiempo de retención.	134
4.5.1.14.1. Procesos a tasa alta.	136
4.5.1.14.2. Procesos a tasa baja.	136
4.5.1.14.3. Respiración endógena.	136
4.5.1.15. Procesos a diferentes niveles de carga.	137
4.5.1.15.1. Tratamiento convencional de lodos activados en efluentes diversos.	137
4.5.1.15.1.1. Tiempo de residencia de los lodos en sistemas a diferentes niveles de carga.	138
4.5.1.15.1.2. Consumo de oxígeno asociado al crecimiento microbiano.	139
4.5.1.15.1.3. Tiempo de retención utilizado en el tratamiento convencional.	139
4.5.1.15.1.4. Tiempos de retención en algunos efluentes industriales.	140
4.5.1.15.1.5. Balance de nutrientes.	140
4.5.1.15.1.6. Remoción de D.B.O.	141
4.5.1.16. Tratamiento a alta tasa.	141
4.5.1.16.1. Niveles de carga en tratamientos	

a alta tasa.	141
4.5.1.16.1.2. Consumo de oxígeno en sistemas a alta tasa.	142
4.5.1.16.1.3. Tiempo de retención en sistemas a alta tasa.	142
4.5.1.16.1.4. Utilización de sistemas a alta tasa.	142
4.5.1.17. Aereación con crecimiento disperso o sistemas a tasa ultra alta.	143
4.5.1.17.1. Características de la aereación con crecimiento disperso.	143
4.5.1.17.2. Utilización de procesos a tasa ultra alta.	144
4.5.1.17.3. Procedimiento de operación de sistemas a tasa ultra alta.	144
4.5.1.17.4. Remoción de la D.B.O.	145
4.5.1.17.5. Ventajas de los sistemas a ultra alta tasa.	145
4.5.1.18. Aereación Prolongada o sistemas de tratamiento a baja tasa.	145
4.5.1.18.1. Relación entre el tiempo de residencia y la producción de lodos en sistemas de aereación prolongada.	145
4.5.1.18.2. Relación de costos con la producción de lodos.	146
4.5.1.18.3. Sedimentación en sistemas a baja tasa.	146
4.5.1.18.4. Ventaja de los procesos a baja tasa.	147

4.5.1.18.5. Utilización del proceso a baja tasa.	147
4.5.1.19. Estabilización por contacto.	147
4.5.1.19.1. Proceso de estabilización por contacto.	147
4.5.1.20. Regímenes de mezcla.	148
4.5.1.20.1. Sistema de aereación a flujo pistón.	149
4.5.1.20.1.1. Reducción de nutrientes en los sistemas de flujo pistón.	149
4.5.1.20.1.2. Demanda de oxígeno en sistemas de aereación de flujo pistón.	150
4.5.1.20.2. Sistema de aereación a régimen de mezcla completa.	150
4.5.1.21. Zanjias de oxidación.	151
4.5.1.21.1. Ventajas de las zanjias de oxidación.	151
4.5.1.22. Unidades compactas de lodos activados.	151
4.5.1.23. Modo de operación de los sistemas de lodos activados.	152
4.5.1.24. Sistemas de aereación.	152
4.5.1.24.1. Transferencia de oxígeno para los diferentes sistemas de aereación.	152
4.5.1.24.2. Eficiencia de oxigenación en los diferentes sistemas de aereación.	153
4.5.1.24.3. Aereación por burbujas.	154
4.5.1.24.4. Tamaño de las burbujas en	

relación a el método de aereación utilizado.	154
4.5.1.24.5. Relación entre la eficiencia de los sistemas de aereación y el tamaño de las burbujas generadas.	155
4.5.1.24.6. Distribución de los equipos de aereación.	156
4.5.1.24.6.1. Patrón de flujo que imparten las diferentes distribuciones de difusores.	156
4.5.1.24.6.2. Mantenimiento de los difusores.	156
4.5.1.24.7. Difusores de burbujas finas.	157
4.5.1.24.8. Difusores de burbuja media.	158
4.5.1.24.9. Dispositivos de burbuja gruesa.	158
4.5.1.24.10. Dispositivos de cortante hidráulico.	159
4.5.1.24.11. Sistema de gas disuelto.	160
4.5.1.24.12. Sistemas de aereación mecánica.	161
4.5.1.24.13. Aereadores superficiales.	162
4.5.1.24.14. Aereadores de paletas.	162
4.5.1.24.14.1. Eficiencia de oxigenación en el tanque.	163
4.5.1.24.15. Aereadores de turbina.	163
4.5.1.24.15.1. Aereador "Simcar".	164
4.5.1.24.15.1.1. Utilización del aereador "Simcar".	164

4.5.1.24.15.1.2.	Aereación graduada obtenida por aereadores "Simcar".	165
4.5.1.24.15.1.3.	Sistema "Carrusel".	165
4.5.1.24.16.	Sistemas combinados de agitación y aereación por aspersión.	166
4.5.1.24.17.	Chorros de líquido.	166
4.5.1.24.17.1.	Desventaja de la utilización de chorros de agua.	167
4.5.2.	Características de los lodos.	167
4.5.2.1.	Floculación.	168
4.5.2.1.1.	Problemas causados por la floculación de los lodos.	169
4.5.2.1.2.	Microorganismos que generan flóculos en los lodos.	170
4.5.2.2.	Protozoarios en los lodos.	171
4.5.2.2.1.	Efecto de la cantidad de protozoarios que contienen los lodos.	171
4.5.3.	Problemas con los lodos.	172
4.5.3.1.	Esponjamiento de un lodo.	173
4.5.3.1.1.	Microorganismos asociados con el esponjamiento.	173
4.5.3.1.2.	Diferentes condiciones que se asocian con el comienzo de los lodos esponjosos.	175
4.5.3.2.	Desfloculación.	175
4.5.3.3.	Flóculo punta de alfiler.	176
4.5.3.4.	Lodo ascendente.	177
4.5.3.4.1.	Condiciones para evitar el	

fenómeno de lodos ascen-dentes. . .	177
4.5.3.5. Formación de espuma espesa.	178
4.5.3.6. Hongos de aguas negras.	178
4.5.4. Actividad de los lodos.	179
4.5.4.1. Integración de un lodo activado. . .	179
4.5.4.2. Factores que inciden en la proporción de organismos presentes en un lodo activado.	179
4.5.4.3. Determinación de la actividad de un lodo.	180
4.5.4.3.1. Actividad de un lodo respecto a la cantidad de sustancias de origen biológico presente.	181
4.5.4.3.2. Organismos viables como función del tiempo de residencia de los lodos.	182
4.5.4.4. Importancia de las propiedades de los lodos.	182
4.5.5. Descarga de lodos.	183
4.5.6. Procesos avanzados de lodos activados. . .	183
4.5.6.1. Enriquecimiento de sistema con oxígeno.	183
4.5.6.2. Toxicidad tolerable del oxígeno para éstos sistemas.	184
4.5.6.3. Proceso de "Tiro profundo".	184
4.5.6.4. Sistemas de oxígeno de alta pureza.	185
4.5.6.4.1. Clasificación de sistemas de lodos activados con oxígeno de alta pureza.	186
4.5.6.4.1.1. Sistemas cerrados. . .	186

4.5.6.4.1.1.1.	Riesgos y medidas para la utilización de oxígeno en los sistemas cerrados.	187
4.5.6.4.1.1.2.	Sistema "Unox". . .	187
4.5.6.4.1.1.3.	Dispositivos para la transferencia de oxígeno. . .	188
4.5.6.4.1.1.4.	Sistema "Oases". . .	189
4.5.6.4.1.1.5.	Otros sistemas cerrados.	190
4.5.6.4.1.2.	Sistemas de tanque abierto.	191
4.5.6.4.1.2.1.	El sistema "Vitox".	191
4.5.6.4.1.2.1.1.	El sistema Vitox 1	192
4.5.6.4.1.2.1.2.	El sistema Vitox 2	192
4.5.6.4.1.2.2.	El proceso "Megox".	193
4.5.6.4.1.2.3.	El proceso "Primox".	194
4.5.6.4.1.2.4.	El proceso "Marox".	194
4.6.	ELUTRIACION.	196
4.6.1.	Ventajas de la elutriación.	196
4.7.	FILTRACION AL VACIO.	197
4.7.1.	Operación de un filtro al vacío.	197
4.7.1.1.	Condiciones para operar un filtro al vacío en forma óptima.	198
4.7.2.	Filtros de correa.	198
4.8.	DESAGUADO.	199

4.9. ACONDICIONAMIENTO QUIMICO.	200
4.9.1. Objetivos del acondicionamiento.	200
4.9.2. Productos utilizados comunmente para acondicionar un lodo.	200
4.9.2.1. Coagulantes y Floculantes.	200
4.9.2.2. Coagulación y Floculación.	201
4.9.2.2.1. Mecanismo de coagulación. . .	201
4.9.2.2.2. Mecanismo de floculación. . .	204
4.9.2.2.2.1. Influencia de las fuerzas de Van der Waals en la floculación.	204
4.9.2.2.2.2. Efecto de enmallado en la floculación.	205
4.9.2.2.2.3. Fenómeno de quimisorción dado en la floculación. . . .	205
4.10. CARACTERISTICAS Y TRATAMIENTOS MAS COMUNES PARA DIFERENTES EFLUENTES INDUSTRIALES.	205
4.11. TRATAMIENTO INDUSTRIAL PARA ELIMINACION DE DIFERENTES CONTAMINANTES.	209
4.11.1. Remoción de plomo.	209
4.11.2. Remoción de nitrógeno y fósforo de lodo orgánico.	209
4.11.3. Tratamiento de lodos de aguas residuales por solidificación.	210
4.11.4. Desintoxicación de residuos industriales conteniendo metales pesados.	210

4.11.5. Tratamiento de efluentes de blanqueo de pulpa de papel mediante lodos activados, precipitación, ozonación e irradiación.	210
4.11.6. Tratamiento mediante el uso de lodos activados para efluentes de plantas de papel Kraft y blanqueo mediante oxígeno.	211
4.11.7. Tratamiento de efluentes de destintado de telas con el proceso de lodos activados. . .	211
4.11.8. Tratamiento de lodos industriales de Galvanoplastia en Portugal.	212
4.11.9. Estudios de planta piloto sobre agua residual de tenerías con objeto de reducir la producción de lodo.	212
4.11.10. Tratamiento biológico de residuos peligrosos, lodos y aguas residuales.	213
4.11.11. Licuefacción directa de lodo activado de efluentes de almidón de maíz.	213
4.11.12. Mejoramiento de eliminación de D.Q.O en plantas de tratamiento de lodos activados para aguas residuales de pulpa y papel.	214
4.11.13. Tratamiento de agua residual en un sistema de lodos activados con sistemas de carbón activado en polvo (P.A.C).	215
4.11.14. Tratamiento de aguas residuales de pulpa con membranas de ultrafiltración.	215
4.11.15. Inmovilización de microorganismos por uso en tratamiento de aguas residuales.	216
4.11.16. Descomposición de pentaclorofenol por digestión anaerobia.	216

4.11.17. Estabilización de tóxicos inorgánicos para disposición.	217
4.11.18. Reactor Biológico de Disco Rotatorio. . .	217
4.11.19. Tratamiento de lodos con enzimas.	218
4.11.20. Remoción de cromo hexavalente de efluentes ácidos industriales.	218
4.11.21. Tratamiento de lodos que contienen metales pesados.	219
4.11.22. Tratamiento de agua residual que contiene fluor y metales pesados.	219
4.11.23. Desaguado y utilización de lodo en tratamiento de agua residual.	220
4.11.24. Desaguado de lodo granulado.	220
4.11.25. Proceso de desaguado de un lodo biológico.	220
4.11.26. Solidificación y estabilización de lodos peligrosos con cemento Portland.	221
4.11.27. Coagulantes para tratamiento de lodo oloroso.	221
4.11.28. Coagulante inorgánico y su uso en tratamiento de aguas residuales.	222
4.11.29. Potencial de generación de olor de aguas residuales.	222
4.11.30. Deodorización de gases de fermentación de residuos orgánicos.	223
4.11.31. Desodorante para lodos.	223
4.11.32. Tratamiento de lodos residuales de impresión.	223
4.11.33. Tratamiento de lodos.	224
4.11.34. Tratamiento de lodos residuales.	224

4.11.35. Remoción de cianuros de efluentes. . . .	225
4.11.36. Solidificación y reutilización de lodos de la industria del acero.	225
4.11.37. Remoción de plomo y cadmio de efluentes industriales.	226
4.11.38. Método y aparato para remoción de metales pesados de lodos y lamas.	226
4.11.39. Tratamiento de lodos industriales. . . .	227
4.11.40. Método para separación de cromo trivalente de lodo.	227
4.11.41. Tratamiento de efluentes y lodos de recubrimientos de plata.	228
4.11.42. Solidificación de lodos.	228
4.11.43. Manufactura de combustible a partir de lodos.	228
4.11.44. Uso de lodos de tratamiento de efluentes como materia prima para cemento.	229
4.11.45. Estabilización de Residuos en Nueva Zelanda.	230
4.11.45.1. Proyecto de Composteo.	230

CAPITULO V

ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE.

5.1. ALMACENAMIENTO.	231
5.1.1. Necesidad de almacenamiento.	231
5.1.2. Temporalidad.	231
5.1.3. Tipo de almacenamiento.	231
5.1.3.1. Tipos de Unidades de Almacenamiento.	232
5.1.4. Requerimientos de Funcionabilidad.	232
5.1.5. Manejo de los Lodos.	233
5.1.5.1. Alojamiento.	233
5.1.5.2. Incompatibilidad.	233
5.1.5.3. Consideraciones Generales de Seguridad.	234
5.1.5.4. Destino de los lodos.	234
5.2. TRANSPORTE.	235
5.2.1. Medios de Transporte.	235
5.2.1.1. Tipos de unidades.	235
5.2.1.2. Tipos de Servicio.	235
5.2.1.3. Requerimientos Administrativos.	236
5.2.1.3.1. Permisos de dependencias.	236
5.2.1.3.2. Permisos Internacionales.	236
5.2.1.3.3. Trámites Adicionales.	236
5.2.2. Requerimientos Técnicos para Transportación.	236
5.2.2.1. Criterios de selección de contenedores.	237
5.2.2.2. Carga de lodos para transportación.	237

5.2.3. Características de Algunos Medios de Transporte.	238
5.2.3.1. Vehículos con contenedores especiales.	238
5.2.3.2. Camión de Volteo.	238
5.2.3.3. Vehículos de Redilas.	239
5.2.3.4. Vehículos tipo "Pick-Up".	239
5.2.3.5. Transporte vía acuática.	239
5.2.3.6. Requerimientos Administrativos.	240
5.2.3.7. Pipas.	240
5.2.4. Carga de Lodos para Transporte.	241
5.2.4.1. Carga manual.	241
5.2.4.2. Bombeo o Succión al Vacío.	241
5.2.4.2.1. Equipos de succión de lodos.	241
5.2.4.2.2. Carga de lodos para transporte en ferrocarril.	241
5.3. SEGURIDAD E HIGIENE PARA EL MANEJO DE LODOS.	242
5.3.1. Medidas de seguridad personal en el manejo de lodos.	242
5.3.2. Material de fabricación de los contenedores.	242
5.4. REQUERIMIENTOS LEGALES.	242
5.4.1. Aspectos a considerar para la transportación de un lodo de tratamiento de efluentes industriales.	243
5.5. SISTEMA DE TRANSPORTE PROPUESTO PARA RESIDUOS PELIGROSOS EN MEXICO.	244

CAPITULO VI

DISPOSICION FINAL.

6.1. DISPOSICION FINAL DE LODOS DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES

INDUSTRIALES.	245
6.1.1. Sitios No Autorizados.	245
6.1.1.1. Características de un sitio de disposición final no autorizado.	245
6.1.1.1.1. Del lugar.	245
6.1.1.1.2. De los residuos.	246
6.1.1.1.3. De operación.	246
6.1.1.1.4. Sanitarias.	246
6.1.1.1.3. Ecológicas.	247
6.1.1.2. Restauración de un Sitio No Controlado.	247
6.1.1.2.1. Objetivos de la restauración.	247
6.1.1.2.2. Criterios.	247
6.1.1.2.3.1. Investigación de soluciones.	248
6.1.1.2.3.1. Planeación.	248
6.1.1.2.3.2. Objetivos de la investigación en el campo.	248
6.1.1.2.3.3. Monitoreo.	249
6.1.1.2.3.4. Pruebas de bombeo y Permeabilidad.	249
6.1.1.2.4. Identificación de la información necesaria para determinar la técnica de restauración.	249

6.1.1.2.4.1. Información Requerida.	249
6.1.2. Acciones de educación a la comunidad en Canadá.	252
6.1.3. Confinamiento controlado.	252
6.1.3.1. Requerimientos para la Construcción de un Relleno Sanitario.	252
6.1.3.2. Diseño y Construcción.	253
6.1.3.3. Definición de un Relleno Sanitario.	254
6.1.3.4. Materiales no aceptados en un confinamiento controlado.	256
6.1.3.5. Compatibilidad de los residuos a confinar.	256
6.1.3.6. Recepción de los residuos lodosos en las celdas de confinamiento.	256
6.1.3.7. Impermeabilización de la Celda.	257
6.1.3.7.1. Impermeabilización Natural.	257
6.1.3.7.1.1. ventajas.	257
6.1.3.7.1.2. Desventajas.	257
6.1.3.7.2. Impermeabilización sintética.	258
6.1.3.7.2.1. Ventajas.	258
6.1.3.7.2.2. Desventajas.	258
6.1.3.7.3. Selección de Impermeabilizantes.	258
6.1.3.7.3.1. Resistencia química.	259
6.1.3.7.3.2. Residuos Pretratados.	259
6.1.3.7.3.3. Resistencia al Lixiviado.	259
6.1.3.7.4. Materiales Comunes de Impermeabilizantes.	260

6.1.3.8. Captación de Lixiviados.	260
6.1.3.9. Métodos de Confinamiento.	261
6.1.3.10. Método de Trinchera.	261
6.1.3.11. Método de área.	261
6.1.3.12. Método Combinado.	262
6.1.3.12.1. Ventajas del método combinado.	262
6.1.3.13. Equipos utilizados para la construcción de un confinamiento controlado.	263
6.1.3.14. Confinamientos Controlados Instalados de Servicio Público para Control de Residuos Peligrosos.	266
6.2. INCINERACION.	267
6.2.1. Combustión.	267
6.2.1.1. Productos de combustión.	267
6.2.1.2. Productos de energía.	267
6.2.1.3. Combustible.	267
6.2.1.4. Ecuaciones de Combustión.	268
6.2.1.5. Combustión de residuos sólidos. . .	268
6.2.1.6. Formas en que se lleva a cabo la combustión.	269
6.2.1.6.1. Forma de combustión continua.	269
6.2.1.6.2. Forma de combustión por hornadas.	270
6.2.1.7. Factores que afectan la combustión.	270
6.2.2. Ventajas y desventajas de la incineración.	270
6.2.2.1. Ventajas de la incineración.	270
6.2.2.2. Desventajas de la incineración. . .	271
6.2.3. Tipos de incineradores.	271

6.2.3.1. Incinerador de parrillas.	271
6.2.3.2. Incinerador rotatorio.	271
6.2.3.3. Horno de lecho fluidizado.	273
6.2.3.4. Horno de pirólisis.	274
6.2.3.4.1. Productos de la pirólisis.	274
6.2.4. Condiciones generales de operación de los incineradores.	274
6.2.5. Criterios de selección para la incineración.	274
6.2.6. Tratamiento de Residuos Peligrosos en Horno Cementerio en Noruega.	275
6.2.6.1. Detalles sobre el uso de horno cementerio.	275
6.2.6.1.1. Producción de cemento mediante proceso líquido.	275
6.2.6.1.2. Producción de cemento mediante proceso en seco.	276
6.2.6.1.3. Características generales de la incineración en un horno cementero.	276
6.2.6.2. Establecimiento del plan de incineración mediante el uso del horno cementero.	276
6.2.6.3. Plan de recolección y transporte.	277
6.2.6.4. Principios de tratamiento de los residuos.	277
6.2.6.5. Organización y Planificación.	277
6.2.6.6. Plan de almacenamiento y manejo.	278
6.2.6.7. Pruebas de incineración.	278
6.2.6.7.1. Pruebas y control en la incineración de residuos en el horno cementerio.	279

6.2.6.7.2. Destrucción de dioxinas en el horno cementero.	280
6.2.6.7.4. Pruebas en la calidad del aire.	281
6.2.7. El horno cementero como opción en el tratamiento de efluentes industriales en México.	281
6.2.7.1. Países que utilizan el horno cementero para incinerar sus residuos.	281
6.2.7.2. Beneficios de la utilización de hornos cementeros para incinerar residuos. . .	282

CAPITULO VII

Conclusiones y Recomendaciones.

7.1. CONCLUSIONES. 283

7.2. RECOMENDACIONES. 285

ANEXO I

LEGISLACION.

A.1.1. LEGISLACION EN LA REPUBLICA FEDERAL ALEMANA (R.F.A).	288
A.1.1.1. Constitución del aparato responsable de la normatividad en la R.F.A.	288
A.1.1.2 Normas establecidas para regular los residuos en la R.F.A.	288
A.1.1.3. Sistemas autorizados para el manejo de residuos en la R.F.A.	289
A.1.1.4 Manejo de residuos en la R.F.A.	289
A.1.1.4.1. Identificación de residuos.	289
A.1.1.4.2. Volumen y disposición de residuos en la R.F.A.	290
A.1.2 LEGISLACION EN LOS PAÍSES BAJOS.	291
A.1.2.1. Marco Jurídico.	291
A.1.2.2. Ley sobre residuos químicos.	291
A.1.2.2.1. Obligaciones del generador.	292
A.1.2.2.2. Facultades de las autoridades.	292
A.1.2.2.3. Licencias de tratamiento de residuos.	293
A.1.3 LEGISLACION EN EGIPTO.	294
A.1.3.1. Contexto Legal.	294
A.1.3.1.1. Limitaciones.	294
A.1.3.2. Estrategias de resolución.	294

A.1.3.2.1. Establecimiento de tarifas.	295
A.1.4 LEGISLACION EN JAPON.	296
A.1.4.1 Acciones administrativas sobre residuos peligrosos en Japón.	296
A.2.4.1.1 Establecimiento de medidas.	296
A.1.4.1.2. Clasificación de las normas.	296
A.1.4.2. Establecimiento de los parámetros a utilizar en las normas.	297
A.1.4.3. Establecimiento de estándares.	299
A.1.5 LEGISLACION EN POLONIA.	300
A.1.5.1. Producción de residuos en Polonia.	300
A.1.5.2. Procedencia de los residuos.	300
A.1.5.3. CLASIFICACION DE RESIDUOS PELIGROSOS EN POLONIA.	301
A.1.5.3.1. Criterios de clasificación de desechos.	301
A.1.5.3.2. Indicadores en detalle.	302
A.1.5.3.3. Tipos de desechos.	307
A.1.6 LEGISLACION EN FRANCIA.	308
A.1.6.1 Leyes y reglamentos sobre residuos industriales en Francia.	308
A.1.6.1.1. Ley sobre establecimientos clasificados.	308
A.1.6.1.2. La ley sobre eliminación de residuos y	

recuperación de materiales.	309
A.1.6.1.3. La ley de protección del agua.	311
A.1.6.1.4. Leyes sobre protección de los mares contra la contaminación por residuos.	311
A.1.6.2. Organismos Implicados.	312
A.1.6.2.1. Ministerio del Ambiente.	312
A.1.6.2.2. DII (Direcciones Interdepartamentales de la Industria).	312
A.1.6.2.3. ANRED	313
A.1.6.2.4. Agencias Financieras de las Cuencas .	314
A.1.6.3. Proceso de autorización para unidades de tratamiento y confinamiento de residuos en Francia.	314

ANEXO II

TRATAMIENTO DE LODOS.

A.2.1. REFERENCIAS PUBLICADAS SOBRE TRATAMIENTOS INDUSTRIALES.....	316
--	-----

ANEXO III

DISPOSICION FINAL.

A.3.1. EJEMPLOS REALES DE LA PROBLEMATICA QUE REPRESENTAN LOS TIRADEROS A "CIELO ABIERTO".	332
A.3.2. NECESIDAD DE IMPLANTACION DE CONFINAMIENTOS CONTROLADOS EN MEXICO.	335

LISTA DE CUADROS FIGURAS Y TABLAS

TABLA 1.5.1. PRINCIPALES CATEGORÍAS DE DESECHOS INDUSTRIALES.	7
FIGURA 1.6.2.2.3.1. VOLUMEN DE AGUA UTILIZADO EN LA INDUSTRIA.....	16
CUADRO 1.6.2.3.15.1. GENERACION DE RESIDUOS INDUSTRIALES EN GUADALAJARA.....	28
TABLA 2.1.1.1.1. CANTIDADES ESTIMADAS DE RESIDUOS SOLIDOS GENERADOS EN ESTADOS UNIDOS EN 1977.....	45
CUADRO 2.1.5.1. CRONOLOGIA DE LEGISLACION AMBIENTAL EN LOS ESTADOS UNIDOS DE AMERICA.....	53
CUADRO 3.3.1.1. PRINCIPALES GIROS INDUSTRIALES RESPONSABLES DE LAS MAYORES DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES EN MEXICO.....	68
TABLA 3.3.2.1. PERFILES DE LAS AGUAS CRUDAS DE DESECHO PARA INDUSTRIAS SELECCIONADAS.....	69
TABLA 3.3.3.1. METODOS ANALITICOS DE CONTROL.....	70
CUADRO 3.4.1.1.1. ANALISIS QUE SE EFECTUAN EN ESPECTROSCOPIA DE ABSORCION ATOMICA.....	71
CUADRO 3.4.4.2.1.1. CONCENTRACION MAXIMO PERMISIBLE DE CACIONES.....	81
CUADRO 3.4.4.2.1.2. LIMITES DE DETECCION DE ELEMENTOS EN EQUIPOS DE PRECISION.....	82
TABLA 4.1.2.1. PORCENTAJE DE MATERIA SOLIDA EN LOS LODOS DEPENDIENDO SU PROCEDENCIA.....	85
TABLA 4.4.3.1.2.1. FERMENTACION A METANO DE ACIDOS VOLATILES.....	95

FIGURA 4.4.3.2.1. FERMENTACION A METANO DE ACIDOS VOLATILES.....	99
FIGURA 4.4.3.2.2. PATRON DE FERMENTACION DE RESIDUOS COMPLEJOS.....	99
TABLA 4.4.4.1.1. EFECTO DE ALGUNOS CATIONES SOBRE LA ACTIVIDAD BIOLOGICA ANAEROBIA.....	101
CUADRO 4.4.4.2.1. EFECTOS DEL AMONIACO EN LA ACTIVIDAD BIOLOGICA.....	102
CUADRO 4.4.4.4.1. PRECIPITACION DE SULFUROS DE METALES PESADOS.....	104
CUADRO 4.10.1. DESECHOS INDUSTRIALES Y SUS CARACTERISTICAS.....	104
TABLA 6.1.3.1. FACTORES DE EVALUACION PARA LA SELECCION DE UN SITIO DE DISPOSICION FINAL.....	255
CUADRO 6.1.3.7.4.1. RECOMENDACIONES DE USO DE IMPERMEABILIZANTES.....	260
TABLA 6.1.3.12.1.1. MATERIALES DE CUBIERTA.....	263
FIGURA 6.1.3.13.1. COMPARACION DE EQUIPOS PARA EL RELLENO SANITARIO.....	265
FIGURA 6.2.3.2.1. PLANTA INCINERADORA DE HORNO ROTATORIO..	272
FIGURA 6.2.3.3.1. PLANTA DE INCINERACION DE LECHO FLUIDIZADO.....	273
TABLA 6.2.6.7.1. COMPONENTES ORGANICOS PESADOS EN EL GAS.	279
TABLA 6.2.6.7.2. EMISIONES DE COMPUESTOS CLORADOS EN LOS GASES DE LA CHIMENEA.....	280
CUADRO 6.2.6.7.2.1. ANALISIS DE CLORO PRODUCTO DE LA INCINERACION DE PCB.....	280

CUADRO A.1.4.2.1. NORMAS DE CALIDAD DEL AMBIENTE EN JAPON RELATIVAS A LA PROTECCION A LA SALUD.....	297
TABLA A.1.4.2.1. NIVELES DE EMISION REGLAMENTADOS PARA EL CONTROL DE LA CONTAMINACION EN JAPON.....	298

CAPITULO I

PROBLEMATICA.

1.1. INTRODUCCIÓN.

La contaminación del aire, agua y suelo es un problema añejo que se remonta al origen de la vida. En forma natural un volcán, un huracán o un incendio puede devastar lo que a su paso encuentre, envenenando la biosfera.

Pero la capacidad de recuperación es relativamente rápida a causa de una catástrofe de estas dimensiones, siendo esto parte de un equilibrio natural. Sin embargo cuando un factor ajeno interviene en combinación con las fuerzas naturales, el resultado es desastroso. La actitud del hombre, que por ignorancia, irresponsabilidad o simplemente descuido ha sido nefasta para él y su medio.

La contaminación del ambiente es creciente, por lo que hasta hace unos veinticinco años a la fecha los países industrializados tomaron medidas al respecto y los países en vías de desarrollo desde unos quince años hasta ahora, teniendo mayor actividad últimamente en relación a los problemas que se derivan por la falta de una educación ambiental y en consecuencia la carencia de un control de la contaminación a nivel doméstico, industrial y rural. (Carrasco, 1991).

Por otro lado la demanda de viviendas, servicios y empleos aumenta, debido al acelerado crecimiento de la población, en áreas urbanas e industriales.

Por consiguiente, la generación de residuos derivados de los asentamientos humanos, se incrementa siendo un problema su disposición final.

1.2. OBJETIVOS Y ALCANCES.

- * Abordar el problema de la contaminación en el agua y suelos debida a las descargas municipales e industriales, tanto en México como en el resto del mundo.

- * Dar un panorama general de la problemática en México y en algunos países del mundo.

- * Analizar y concientizar sobre los problemas que enfrenta México por falta de recursos, capacidad y responsabilidad para controlar las descargas industriales.

- * Analizar las limitaciones que hay para el manejo y disposición los lodos de tratamiento de aguas residuales industriales.

- * Revisar la legislación en México y en algunos países sobre manejo y disposición de residuos peligrosos.

- * Mostrar diversas formas de caracterización, manejo, disposición o uso que se hace a los lodos de tratamiento de efluentes industriales.

- * Exponer que se hace en México acerca del manejo y disposición de lodos provenientes del tratamiento de efluentes industriales.

- * Dar algunas alternativas a personas involucradas en la resolución de problemas sobre manejo y disposición de lodos provenientes de tratamiento de efluentes industriales.

- * Mostrar alternativas que publicadas para manejo y disposición de lodos, tomando en cuenta su factibilidad para su aplicación en México.

- * Señalar las opciones que otorga la literatura como alternativa recuperación de compuestos que pudiesen reciclarse en el proceso, o bien, tratamientos para el acondicionamiento del residuo para ulteriores usos.

1.3. LIMITACIONES

El proyecto no es un manual de procedimientos para resolver problemas específicos en el manejo y disposición de lodos de tratamiento de efluentes industriales.

Lo vasto del problema hace que no se contemplen prácticas experimentales que pudiesen resultar de interés, pero se da la pauta para elaborar trabajos posteriores.

Debido a la cantidad de información publicada, solo se expone lo más importante sin abundar en muchos detalles.

Se omiten muchos tratamientos específicos para cada tipo de manufactura y componentes de residuos provenientes de efluentes industriales.

Las cifras utilizadas no podrán ser empleados como base para estudios específicos de algún tipo de industria, ya que los datos están redondeados.

El panorama de la problemática está sujeto a las publicaciones de los diferentes diarios de circulación en el Distrito Federal.

El proyecto omite residuos radiactivos.

1.4. DELIMITACION DEL PROBLEMA.

El objetivo principal del tratamiento de aguas, es acondicionar el agua residual para beneficio del hombre y su medio por medio de la remoción de sólidos suspendidos totales, grasas, aceites y metales pesados.

El problema es el manejo y disposición de todos los contaminantes eliminados, a través de las diferentes operaciones unitarias que integran un proceso de limpieza del agua.

Un lodo puede provenir de un albañal doméstico, un efluente industrial o un conjunto de descargas mixtas.

Un lodo proveniente de tratamiento de efluentes industriales, concentra organismos patógenos e inofensivos, partículas tóxicas e inócuas inorgánicas y compuestos orgánicos, por lo que se hace

necesario caracterizar, estabilizar y acondicionar el residuo para disponer de él en una forma adecuada para que no afecte al medio.

1.4.1. Composición de un efluente doméstico.

La composición de una descarga doméstica se determina por sus ingredientes como: De 40 a 600 mg/ L de sólidos disueltos, así como orina, heces fecales, papel, jabones, constituyentes de detergentes sintéticos, restos de animales, comida, tierra, grasa, cosméticos, agua de lluvia, sales, aceites, y otros contaminantes. (Benn, McAuliffe, 1975).

La turbulencia dada por el paso a través del sistema de "cloacas", tiende a deshacer toda la materia formando una suspensión de color oscuro, que posteriormente se incorpora a algún receptor (Benn, McAuliffe, 1975).

1.4.2. Composición de un efluente Industrial.

El volumen que utiliza la industria, es de una magnitud similar al que se emplea para propósitos domésticos, y su descarga también se realiza en albañales o en aguas naturales. Estas generalmente provienen de manufacturas de papel y celulosa, petróleo, azúcar, textil, siderúrgica, eléctrica y de alimentos. En general, las descargas originadas por el desarrollo de actividades correspondientes a la extracción y transformación de recursos naturales en bienes de consumo y satisfactores para la población (Fuad, 1991).

1.5. CLASIFICACION DE LOS RESIDUOS SOLIDOS QUE SE GENERAN EN LA INDUSTRIA.

A grandes rasgos, se generan, como se mencionó antes, residuos orgánicos, inorgánicos, volátiles y no volátiles, según su origen.

Una de las más importantes características de los desechos sólidos es su diversidad, y en este rubro la "Oficina de Administración de los Desechos Sólidos del Departamento de Salud, Educación y Bienestar Social de Estados Unidos." publicó una tabla de categorías de desechos industriales (ver tabla 1.5.1).

Los residuos listados podrían ser parte de un lodo originado por un proceso de limpieza de un efluente industrial, que se clasifica según el marco legal como residuo peligroso, ya que se aplican los criterios de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad e inflamabilidad, que caracteriza a un desecho que representa un riesgo para la salud y el ambiente (Espinosa, 1991).

TABLA 1.5.1.

PRINCIPALES CATEGORIAS DE DESECHOS INDUSTRIALES.

Acetileno, desechos.	Hidrógeno, fluoruro, escoria
Agrícolas, desechos.	hierro.
Almidón.	Hojas.
Algodón.	Hortaliças, desechos.
Alimentos, preparación, desechos.	Inorgánicos, residuos.
Aluminio.	Ladrillos, manufactura, dese.
Ampolla.	Lana.
Animales, productos, residuos	Latón.
Antimonio.	Lechería, desechos.
Avena.	Madera, desechos.
Arroz.	Magnesio.
Asbesto.	Manganeso.
Asfalto.	Melazas.
Azúcar, fibra de caña.	Mica.
Azúfre.	Mineral, lana.
Bauxita, residuo.	Molibdeno.
Berilio.	Muebles.
Bismuto.	Municipales, desechos.
Brunco.	Nílon.
Cadmio.	No ferroso, metal viejo.
Cañá.	Nueces.
Calcio.	Orgánicos, desechos.
Calcio.	Papel.
Cáñamo.	Pescado.
Carbónáceos, conchas.	Pescado y mariscos.
Carbón.	Potrileo, residuos.
Carisuras.	Piedra, astillas.
Caucho.	Pintura.
Cenizas, escoria y polvos de chimenea.	Pirita, escoria y desechos.
Cenizas, muy fina.	Plástico.
Cerámica, desechos.	Plomo.
Cerveza, desechos de destilación y ferment	Preciosos, metales.
Cinc.	Pulpas y papel.
Circonio.	Químicos, desperdicios.
Cobalto.	Refractario.
Cobre.	Sal, destilaciones.
Coque, residuos de gas de estufa.	Salmuera, líquido.
Cromo.	Sisal.
Cuero, fabricación y curtido, desechos.	Sódio.
Chatarra.	Tabaco.
Chimenes, polvo.	Ténilo.
Desechos de papel.	Tejas.
Destilación, desechos.	Tetraetilplomo.
Diamante, polvo de rueda de esmerilar.	Textiles.
Escorias	Titanio.
Estañó	Tungstenó.
Fermentación, desechos.	Uranio.
Fluor, desechos.	Vidrio, lana de
Fotográfico, papel.	Yaso.
Fruta, desechos.	Ytrio.
Fundición, desechos.	Zircon, aleación.
Galvanización, residuos.	
Germanio.	

Fuente: Espinosa, 1991.

1.6. PROBLEMATICA.

1.6.1. Problemática mundial.

En todo el mundo existe el problema del manejo y disposición de los residuos peligrosos y con base en las publicaciones periódicas (revistas y diarios), se puede tener un panorama de la magnitud y la dificultad para disponer los residuos peligrosos, y cómo los países desarrollados y los que están en vías de desarrollo confrontan este punto.

1.6.1.1. Africa.

"Egipto devuelve 950 toneladas de residuos tóxicos procedentes de Alemania." Fuente: La Jornada, Sección El País, pag 14, 13-3-1992.

Las industrias se concentran en las áreas metropolitanas del Cairo, el Delta y Alejandría, siendo esta última el puerto marino más grande, centro vacacional de los países del Mediterráneo y zona industrial, haciendo de esta región una de las más contaminadas de Africa. Se detectó en el lago Mayrut la presencia de plaguicidas clorados en los peces, mal olor, crecimiento de hierba y desechos domésticos e industriales (Hamza, 1983).

1.6.1.2. Europa.

"Holanda es uno de los países más contaminados del mundo, por que a pesar de los proyectos de lucha por la defensa del ambiente, este país enfrenta debido a su industrialización y a la concen-

tración de millones de toneladas de desperdicios domiciliarios e industriales al año, además de residuos agrícolas". Fuente: El Universal, Sección Internacional, 25-6-1991.

"Moscú sufre por contaminación de 300,000 toneladas de residuos arrojados sin tratamiento por las industrias locales. Estadísticas oficiales indican que menos de la mitad de los desechos recibe tratamiento, quedando el resto sin control". Fuente: Excelsior, Sección Contornos, pag 2, 2-9-1992.

"En Schoenberg Alemania se localiza el mayor depósito de residuos domésticos e industriales, el cual no cuenta con un buen sistema de impermeabilización, además de emanar olores a varios kilómetros de distancia". Fuente: Excelsior, Sección Cuarta, pag 2, 6-7-1992.

1.6.1.3. Oceanía.

"El problema de almacenaje de desechos peligrosos lo hace nocivo para poblaciones aledañas. En Melbourne, Australia, se incendió una bodega de residuos químicos, afectando a toda la ciudad". Fuente: El Universal, Sección Resto del Mundo, pag 4, 23-8-1991.

1.6.1.4. Sudamérica.

"En Argentina y otros países latinoamericanos, se introducen ilegalmente residuos que contienen materiales utilizados en galvanoplastia y petroquímica entre otros, procedentes de Europa". Fuente: Excelsior, Sección Primera, pag 25, 17-12-1991.

"En Buenos Aires, Argentina se producen 350,000 toneladas de lodos tóxicos, 550,000 toneladas de solventes diluidos y 500,000 toneladas de solventes con metales pesados, generado por 7,300 establecimientos industriales". Fuente: La Jornada, Sección El Mundo, pag 34, 20-2-1992.

"En Uruguay piden la prohibición del tráfico de desechos".
Fuente: El Universal, Sección Primera, pag 4, 9-12-1992.

La armada de Colombia impidió la descarga de desechos que iba a realizar un buque de Estados Unidos. Fuente: El Universal, Sección América, pag 3, 30-7-1992.

1.6.1.5. Centroamérica.

"En Nicaragua se impide a empresas de Estados Unidos que descarguen o utilicen su suelo como depósito de residuos".
Fuente: Excelsior, Sección Primera, pag 2, 26-10-1992.

"El tráfico de desechos tóxicos en Honduras, Panamá y Belice procedente de Canadá y Estados Unidos, es alarmante, ya que las compañías presentan a los gobiernos "planes humanitarios y de desarrollo", siendo un engaño para introducirlos libremente".
Fuente: Excelsior, Sección Primera, pag 2, 30-8-1991.

"En Guatemala las aguas están muy contaminadas, y el riesgo de infecciones a la población es muy alto, debido a la falta de tratamiento". Fuente: Excelsior, Sección Primera, pag 2, 21-10-1991.

1.6.1.6. Norteamérica.

"Los Estados Unidos de América se comprometen a frenar el flujo ilegal de desechos peligrosos hacia México". Fuente: Excelsior, Sección Primera, pag 1, 2-8-1991.

"La Agencia de Protección al Ambiente de los Estados Unidos de América informa que cuenta con sólo un agente y dos investigadores para implementar estatutos relativos a residuos peligrosos en los estados de la frontera con México". Fuente: Uno más uno, Sección Nacional, 23-4-1991.

"Metalclad Corporation en coordinación con empresarios mexicanos, acordaron la construcción de una planta que trate los residuos peligrosos provenientes de fundidoras, teniendo capacidad de procesar 120,000 toneladas por año, con un costo estimado de 25 millones de Dólares". Fuente: Excelsior, Sección Primera, pag 5, 10-1-1992.

"Texcor y la Chemical Waste Management desde el 14 de septiembre de 1988 iniciaron el diseño para la operación de dos confinamientos con capacidad de 20 millones de toneladas de residuos peligrosos, previendo una operación de 30 años. Los lodos provenientes de tratamiento de efluentes es uno de los productos que alojarían". Fuente: La Jornada, Sección El País, pag 19, 13-3-1992.

1.6.1.7. Asia.

En Japón la explotación de las minas de cobre causaban serios daños a granjas, bosques y a la vida acuática en las partes bajas del río Watarase. (Ichikawa, 1982).

Las montañas que rodean las minas en Ashio quedaron desnudas. La mina de zinc de Kamioka, vertía efluentes hacia el río Zintsu.

El agua de este río se utiliza como riego en arrozales y para beber. (Ichikawa, 1982).

En 1919 se dice que un paciente presentó síntomas parecidos a la enfermedad de Itai-Itai, la cual es causada por envenenamiento por cadmio. (Ichikawa, 1982).

El brote de la enfermedad de Minamata, causada por alquil mercurio, ocurrió en el sur de la isla de Kyushu en 1956. (Ichikawa, 1982.)

1.6.2. Problemática nacional.

1.6.2.1. Uso industrial del agua.

Resulta difícil precisar la cantidad de agua requerida para producir un determinado artículo, pero de acuerdo a la información existente, se requiere un metro cúbico de agua para obtener: 30 kg de acero, 70 kg de pulpa de madera, 12 kg de hule sintético, 50 L de gasolina, 29 kg de productos petroquímicos, 18 L de cloro, 4 kg de tela, esto da una idea del volumen que se utiliza en cada manufactura. (Carrasco, 1991).

Se estima que en 1980 se ocupó un volumen anual de 4600 millones de m³. (Carrasco, 1991).

Los consumos para 1990 y 2,000 de acuerdo a la información existente, se obtuvieron en forma aproximada mediante proyecciones de crecimiento de la demanda de productos y el volumen requerido para no declinar la tasa de desarrollo general, son de 9,500 y 22,700 millones de m³ respectivamente. (Carrasco, 1991).

1.6.2.2. Fuentes de contaminación.

En México como en muchos países, las principales fuentes de contaminación se agrupan de acuerdo a su procedencia y se agrupan en tres grandes sectores que son: social, industrial y agrícola. (Fuad, 1991).

1.6.2.2.1. Contribución del sector social como generadores de contaminación del agua.

El sector social contribuye con cargas de origen doméstico y público que constituyen aguas residuales municipales. La generación es importante en el contexto nacional porque se relaciona con la cobertura de servicios de agua potable y alcantarillado con que cuentan las poblaciones, favorecida en los grandes asentamientos, teniendo un rezago en las zonas rurales y pequeñas ciudades. (Fuad, 1991).

En la República la migración a las grandes ciudades se incrementó de 50 % en 1960 a 70 % en 1986 sin lograr un freno. La población está distribuida en 125,300 localidades, destacando que el 50.73 % se asienta en 98 de ellas. (Fuad, 1991).

Los lugares que concentran la mayor proporción de habitantes, son aquellos donde está la mayor parte de las actividades industriales, y son las que disponen de mayor cobertura de servicios de agua potable y alcantarillado, constituyéndose como una fuente de generación de aguas residuales. (Fuad, 1991).

Las zonas localizadas en la Ciudad de México, Monterrey y Guadalajara, y sus respectivas áreas conurbadas se generan 46, 8.5 y 8.2 m³/seg respectivamente, correspondiendo a el 34 % del total generado en el país, estimando en 184 m³/seg de los cuales 105 corresponden a la población y el resto a la industria. (Fuad, 1991).

Se espera que en generación de aguas residuales para el año 2000 sea 207 m³/seg, correspondiendo 118.4 a la población y 89.4 a la industria. (Fuad, 1991).

1.6.2.2.2. Sector agropecuario.

Este sector está representado por afluentes dedicadas a crianza y engorda de ganado, así como aguas de retorno de los campos agrícolas. (Fuad, 1991).

Se estima que en este rubro en el país se consumen el 82 % del agua aplicada, lo que proporciona un indicador de la generación de aguas residuales, estimando para 1990 en 8,345 m³ por año y de 11,085 m³/año en el año 2,000. (Fuad, 1991).

Las aguas de retorno agrícola constituyen una fuente de contaminación, manifestándose ampliamente, sobre todo en los cuerpos de agua. (Fuad, 1991).

1.6.2.2.3. Sector industrial.

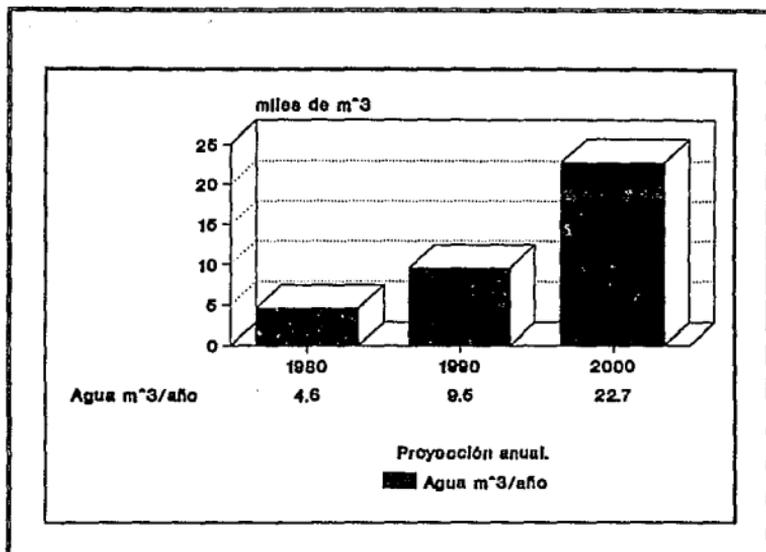
Representado por descargas de actividades correspondientes a la extracción y transformación de recursos naturales.

En México se logró un ritmo de crecimiento superior al 8 % hasta 1979, lo que permitió el surgimiento de una fuerte planta productiva, la cual se desarrolló con una alta concentración en las ciudades de México, Monterrey y Guadalajara. (Fuad, 1991).

El sector industrial mexicano se integra en 39 grupos, señalando en el cuadro 1.6.2 los principales giros responsables de mayores descargas residuales, como: Azúcar, química, papel y celulosa, petróleo, bebidas, textil, siderúrgica, eléctrica y alimentos. Como se observa corresponde a 82% del total de aguas residuales generadas por este sector, destacando industria del azúcar y química con el 59.8% del total. (Fuad, 1991).

FIGURA 1.6.2.2.3.1.

VOLUMEN DE AGUA UTILIZADO
EM LA INDUSTRIA.



Fuente: Fuad, 1991.

1.6.2.3. Análisis de la problemática nacional.

De la misma forma que se tiene la información de diversas partes del mundo, es de mucha importancia un análisis de la situación en México, utilizando información de los propios estados de la República y sus municipios, haciendo un listado de cada entidad.

1.6.2.3.1. Aguascalientes.

"En Aguascalientes se proyecta operar una planta de tratamiento de aguas negras para el 15 de diciembre de 1991, ante la falta de agua para riego, y potable para el consumo humano". FUENTE: Excelsior, Sección Estados, pag 2, 18-11-1992

1.6.2.3.2. Baja California Norte.

"En Baja California Norte existe tráfico ilegal de 260,000 toneladas al año de residuos peligrosos procedente de los Estados Unidos de América a México". Fuente: Comisión Ambiental de la Asociación Nacional de la Industria Maquiladora.

"Los depósitos de residuos de la empresa Alco Pacifico, contaminó mantos freáticos del municipio Ojo de Agua, de donde reporta la muerte de reses".

Fuente: Uno más uno, Sección Provincia, pag 15, 13-3-1992.

"En la frontera el almacenaje de residuos peligrosos es inadecuado y el tráfico ilegal se incrementó de 190 toneladas en 1987 a 2,400 en 1990". Fuente: Uno más uno, Sección Política Nacional, pag 27, 28-2-1992.

"En septiembre de 1988 la Dirección de Prevención de la Contaminación de la SEDUE otorgó la licencia para instalar una empresa que incinerará materiales clorados, y que se planea arrancar en diciembre de 1992". Fuente: La Jornada, Sección El País, pag 36, 15-11-1991.

"En contraposición a la ubicación de esta planta, la población se manifiesta para que no se instale esta incineradora".

Fuente: La Jornada, Sección El País, pag 14, 26-3-1992.

El Universal, Sección Estados, pag 1, 30-10-1991.

La Jornada, Sección Estados, pag 17, 17-2-1992.

"Ante la demanda de la población y la falta de un estudio confiable, y por mandato de la presidencia, la licencia fue revocada. La SEDUE ignora si esta planta solicitara su reubicación en otra zona del país".

Fuente: Excelsior, Sección Estados, pag 1, 3-4-1992.

El Universal, Sección Primera, pag 1, 3-4-1992.

Uno más uno, Sección Economía, pag 19, 3-4-1992.

El Financiero, Sección Ecología, pag 41, 3-4-1992.

1.6.2.3.3. Baja California Sur.

"La SEDUE clausura dos hoteles que arrojaban desechos al mar en la zona de Los Cabos". Fuente: El Universal, Sección Estados, pag 5, 31-10-1991.

1.6.2.3.4. Campeche.

"La falta de tratamiento de aguas, residuos de congeladoras, hoteles, astilleros, restaurantes y de dependencias como PEMEX y C.F.E hacen en la temporada de lluvias que la bahía rebase los niveles permitidos de toxicidad y se contaminen los mantos freáticos". Fuente: El Universal, Sección Estados, pag 1, 4-7-1990.

"La SEDUE clausuró una fabrica de vinos que vertía sus aguas residuales a la bahía de Campeche". Fuente: El Universal, Sección Estados, pag 1, 18-12-1991.

1.6.2.3.5. Coahuila.

"De 800 industrias, tan solo de 50 a 60 son consideradas potencialmente contaminantes, pero aún así no se cuenta con el personal suficiente para su vigilancia". Fuente: El Universal, Sección Estados, pag 5, 2-4-1992.

1.6.2.3.6. Colima.

"En este estado se tiran los desechos peligrosos a los ríos, y arroyos. Lo que hace que la necesidad de una disposición final controlada sea imperativa". Fuente: El Universal, Sección Estados, pag 1, 10-3-1992.

1.6.2.3.7. Chiapas.

"Registros de los últimos cinco años indican que además de la mortandad de peces, 291 niños fallecieron debido a la contaminación del río Huehuetan". Fuente: El Universal, Sección Estados, pag 1, 21-6-1991.

"Ejidatarios afectados en 2,000 hectáreas de terreno, incluyendo ganadería, por consumir agua contaminada que causa un ingenio que afecta al río Blanco y arroyos adyacentes". Fuente: El Universal, Sección Estados, pag 5, 21-1-1992.

1.6.2.3.8. Chihuahua.

"Aguas negras provenientes de Ciudad Juárez afectan cultivos de algodón, alfalfa, sorgo y trigo en Valle de Juárez, provocando daños en 3,000 hectáreas de 1,200 campesinos". Fuente: El Universal, Sección Estados, pag 1, 13-11-1991.

"Instalarán 5 plantas de tratamiento de aguas en Chihuahua, siendo las dos primeras una para Ciudad Juárez y la otra para la capital". Fuente: Excelsior, Sección Estados, pag 4, 21-2-1992.

"Ponderosa Industrial invertirá 36 mil millones de pesos en proyectos ambientales". Fuente: Excelsior, Sección Segunda, pag 48, 27-11-1991.

1.6.2.3.9. Distrito Federal.

"El agua que se consume extraída de pozos en Iztapalapa, es amarillenta y maloliente, y ocasiona epidemias de enfermedades gastrointestinales". Fuente: El Financiero, Sección Salud, pag 63, 29-10-1991.

"Se estima en un millón y medio de toneladas de desechos se generan y arrojan al drenaje las industrias en el D.F.

De todos los desechos generados 66 % se concentran en Azcapotzalco, Gustavo A Madero e Iztacalco con 738,503, 448,250, 329,250 y 207,919 toneladas anuales respectivamente y se requiere tratarlos". Fuente: La Jornada, Sección La Capital, pag 13, 20-6-1991.

1.6.2.3.10. Durango.

"En esta localidad la empresa Lechebuena contribuye con la venta de producto contaminado con restos de roedores". Fuente: El Universal, Sección Estados, pag 1, 10-12-1991.

El Universal, Sección Estados, pag 1, 12-12-1991.

1.6.2.3.11. Estado de México.

"De 14,000 industrias con las que cuenta el estado, 10,000 se encuentran en Naucalpan, Ecatepec y Tlalnepantla". Fuente: El Universal, Sección Estados, pag 1, 22-8-1991.

"Los ríos del estado se utilizan como "tiraderos" de 10,000 industrias. No hay autoridad que obligue la instalación de confinamientos controlados". Fuente: Excelsior, Sección Estados, pag 1, 22-8-1991.

"En el río de Los Remedios se derraman solventes, combustóleo y gasolina". Fuente: Excelsior, Sección Estados, pag 1, 22-8-1991.

"El único depósito de residuos peligrosos controlado por la empresa Deminsa, en Toluca, se cerró en enero de 1991, confinando ahora los desechos en lotes baldíos de San Mateo Atenco, Metepec, Lerma y otros". Fuente: El Universal, Sección Estados, pag 3, 22-8-1991.

"El lago de Guadalupe transformado en depósito de residuos industriales de Cuautitlán Izcalli, Villa Nicolás Romero y Atizapán entre otros". Fuente: Excelsior, Sección Estados, pag 1, 17-9-1991.

"Colonos de Naucalpan impiden la instalación de un relleno sanitario ubicado en Santiago Tepetlaxco, por falta de autorización de la SEDUE se teme a que se contaminen los mantos freáticos y la presa Madín que surte a Ciudad Satélite". Fuente: La Jornada, Sección El País, pag 18, 10-2-1992.

El Universal, Sección Edo de México, pag 3, 10-11-1992.

"Las aguas residuales contaminan el agua potable de San Salvador Atenco".

Fuente: Excelsior, Sección Estados, pag 3, 27-9-1991.

Excelsior, Sección Segunda, pag 48, 13-3-1992.

"60 % de las industrias de Toluca vierten sus desechos a las aguas del río Lerma". Fuente: Uno más uno, Sección Provincia, pag 15, 30-3-1992.

"Muchos municipios del Estado de México tienen contaminación a niveles alarmantes. No hay técnicas suficientes para el control ambiental de la zona". Fuente: El Universal, Sección Edo de México, pag 3, 17-10-1991.

"En la zona conurbada se pondrán en marcha disposiciones para cerrar tiraderos a cielo abierto". Fuente: El Universal, Sección Edo de México, pag 3, 7-2-1992.

"La zona conurbada al D.F. genera diariamente 20,000 toneladas de basura". Fuente: El Universal, Sección Edo de México, pag 3, 14-2-1992.

"No hay control sobre desechos fabriles en Edo de México, y no existe certidumbre en el destino de estos".

Fuente: El Universal, Sección Edo de México, pag 3, 19-11-1992.

El Universal, Sección Edo de México, pag 3, 14-5-1992.

"Desechos industriales contaminan el canal que separa Santa María y El Carmen de San Pedro Totoltepec, al igual que en Ixtapaluca, suman más de 10,000 habitantes afectados". Fuente: El Universal, Sección Edo de México, pag 3, 16-1-1992.

"En el Estado de México y el D.F. se generan de 17,000 toneladas de desechos industriales". Fuente: Excelsior, Sección Estados, pag 3, 24-1-1992.

"57 industrias envenenan los canales de Cuautitlán". Fuente: El Universal, Sección Edo de México, pag 3, 2-3-1992.

"El daño al lago de Guadalupe afecta a horticultores al igual que en el río Lerma. 800 Hectáreas dañadas". Fuente: El Universal, Sección Primera, pag 6, 30-3-1992.

"La iniciativa privada operará 4 plantas tratadoras de aguas".
Fuente: El Universal, Sección Estados, pag 3, 29-7-1991.

"Invertirán 100 mil millones de viejos pesos para dos plantas tratadoras de aguas residuales en el Estado de México con objeto de sanear el río Lerma". Fuente: Excelsior, Sección Estados, pag 3, 7-2-1992.

1.6.2.3.12. Guanajuato.

"La C.N.A clausuró 28 industrias en Guanajuato en 1991, por afectar cultivos regados con aguas negras". Fuente: Excelsior, Sección Estados, pag 3, 3-3-1992.

"En Guanajuato, se tratan previamente 90 % de las aguas que se arrojan a la cuenca del río Lerma". Fuente: Excelsior, Sección Estados, pag 2, 11-11-1991.

1.6.2.3.13. Guerrero.

"Embotelladoras y habitantes contribuyen a la contaminación en ríos, arroyos y mantos freáticos en Guerrero". Fuente: Uno más uno, Sección La Provincia, pag 14, 5-11-1992.

"Aguas contaminadas afectan la bahía de Zihuatanejo". Fuente: El Universal, Sección Estados, pag 4, 18-3-1992.

1.6.2.3.14. Hidalgo.

"Se reducirá el uso de aguas negras para riego, en el Valle del Mezquital". Fuente: La Jornada, Sección Ultima Plana, pag 44, 24-9-1991.

"La C.N.A cobrará a 2,000 fábricas que descargan en ríos que afectan principalmente los municipios de Tula, Actopan, Tizayuca e Ixquimilpan, teniendo como base monitoreos de grasas, ácidos, metales pesados y detergentes entre otros". Fuente: Excelsior, Sección Estados, pag 3, 11-3-1992.

"En este estado se prohibió desde el 3 de julio de 1991 el riego con aguas negras, como medida preventiva contra epidemias". Fuente: La Jornada, Sección El País, pag 12, 11-3-1991.

"Los habitantes cercanos a la laguna de Zumpango sufren infecciones en la piel, por el llenado de ésta con aguas negras". Fuente: Uno más uno, Sección Regiones y Mpios, pag 14, 4-7-1991.

"Residuos químicos de 35,000 empresas asentadas en el Valle del Mezquital contaminan 108 hectáreas de terreno agrícola". Fuente: El Universal, Sección Estados, pag 5, 8-12-1992.

1.6.2.3.15. Jalisco.

"Se clausuraron Tenerías en Jalisco por descargar al drenaje, sin tratar previamente su efluente". Fuente: Excelsior, Sección Estados, pag 1, 23-1-1992.

"El 16 % de las industrias que arrojan sus desechos al ambiente, se registraron y presentaron proyectos a la C.N.A en Jalisco". Fuente: El Universal, Sección Estados, pag 6, 9-10-1991.

"En esta entidad existen laboratorios que engañan a industrias al presentar estudios y análisis de la contaminación de aguas". Fuente: Excelsior, Sección Estados, pag 2, 18-11-1991.

"Se redujo al 50 % la carga de contaminación en la cuenca Lerma-Chapala, gracias a inversiones en obras que ascienden a 213,000 millones de viejos pesos".

Fuente: Excelsior, Sección Segunda, pag 43, 13-3-1992.

La Jornada, Sección Economía, pag 4, 13-3-1992.

"1,160 toneladas mensuales produce la zona metropolitana de Guadalajara en residuos peligrosos, que van a parar en basureros municipales o clandestinos, dado que no existe en el estado ningún lugar para depositarlos.

Estudiando 93 factorías se destaca:

CUADRO 1.6.2.3.15.1.**GENERACION DE RESIDUOS INDUSTRIALES
EN GUADALAJARA.**

RESIDUO	GENERACIÓN Ton/mes
Anilinas	352
Bases	6.5
Mat.Inflamable	273.53
Mat.Reactivo	29.05
Mat.Tóxica	51.32
Varios.Peligros	357
Acidos	90.35
Total	1,159.75

Por lo que la construcción de un confinamiento es necesaria.

SEDUE ofrece 12 opciones de diferentes terrenos con características propias para construir un relleno". Fuente: El Financiero, Sección Ecología, pag 46, 7-4-1992.

1.6.2.3.16. Michoacán.

"30 % de los michoacanos bebe agua no potable, porque carecen de sistemas de desinfección". Fuente: El Universal, Sección Estados, pag 1, 16-3-1990.

"Las aguas negras del puerto Lázaro Cárdenas se vierten sin tratamiento a la cuenca del río Balsas, siendo 24,000 m³/día de líquido que desemboca al mar". Fuente: El Universal, Sección Estados, pag 1, 9-1-1992.

1.6.2.3.17. Morelos.

"La empresa textil Montan S.A. desecha a "Cielo abierto" residuos químicos tóxicos, en Jiutepec". Fuente: El Universal, Sección Estados, pag 6, 26-6-1990.

"El 40 % de 244,000 viviendas particulares en Cuernavaca carecen de drenaje". Fuente: El Universal, Sección Morelos, pag 7, 30-3-1992.

"Clausuran 2 empresas que arrojaban aguas residuales al río Cuautla". Fuente: El Universal, Sección Morelos, pag 6, 19-11-1991.

"Clausuran la empresa Montan por carecer de sistemas de tratamiento de aguas". Fuente: El Universal, Sección Morelos, pag 6, 14-11-1991.

"Se invertirán 10,197 millones de pesos para construir un sistema que abata el deterioro ecológico del río Cuautla". Fuente: Excelsior, Sección Estados, pag 3, 28-1-1992.

"La empresa Convimar conectó su drenaje a un manantial, y causa mortandad en los peces, en el Parque Nacional Chapultepec".

Fuente: Excelsior, Sección Estados, pag 1, 17-12-1991.

"Industrias en CIVAC arrojan descargas a los ríos "El Pollo" y el de "La Barranca"". Fuente: Excelsior, Sección Estados, pag 1, 17-12-1991.

"Clausura parcial a la planta de "COCA COLA" en Cuautla, por no contar con tratamiento de aguas y no cumplir en 100 % con las condiciones de descarga fijadas por SEDUE". Fuente: El Universal, Sección Morelos, pag 6, 18-3-1992.

"No es suficiente la planta que controla la contaminación en CIVAC, ya que los niveles de salinidad, entre otros parámetros, son muy altos". Fuente: Excelsior, Sección Estados, pag 3, 20-5-1991.

"10,000 millones de viejos pesos es la inversión para la compañía ECCACIV en CIVAC". Fuente: Excelsior, Sección Estados, pag 1, 12-3-1991.

"Los manantiales de Cuautla, Villa de Ayala tienen los niveles más agudos de contaminación, debido a la falta de protección de los mismos". Fuente: El Universal, Sección Estados, pag 4, 26-6-1991.

"Campesinos rechazan la prohibición de regar cultivos con aguas negras". Fuente: El Universal, Sección Morelos, pag 6, 5-12-1991.

"Cerca de 2,000 campesinos quedarán sin ingresos por la contaminación del agua del canal de Tenango, en donde recibe descargas de aguas negras crudas de Agua Hedionda, impidiendo regar los cultivos de cebolla de Jonacatepec".

Fuente: El Universal, Sección Morelos, pag 6, 5-12-1991.

El Universal, Sección Morelos, pag 6, 19-3-1992.

"Los ríos Amacuzac y Apatlaco sufren de polución gracias a la indolencia y apatía oficial".

Fuente: El Universal, Sección Morelos, pag 6, 5-9-1991.

El Universal, Sección Morelos, pag 6, 2-4-1992.

"En peligro de contaminarse el manto freático que surte a CIVAC".

Fuente: El Universal, Sección Morelos, pag 6, 11-2-1992.

"Colonos de CIVAC piden la instalación de una planta tratadora de aguas negras". Fuente: El Universal, Sección Morelos, pag 7, 12-2-1992.

"Conectan drenajes al canal de aguas pluviales de CIVAC".

Fuente: El Universal, Sección Estados, pag 7, 27-11-1991.

"El 15 % de la producción de arroz fue regada con aguas negras".

Fuente: El Universal, Sección Estados, pag 6, 5-9-1991.

"El 64 % de las aguas residuales son generados por las industrias".

Fuente: El Universal, Sección Estados, pag 6, 5-9-1991.

"Evitaran contaminar en el ingenio azucarero Emiliano Zapata".

Fuente: El Universal, Sección Morelos, pag 7, 5-9-1991.

"Concesionaran la construcción de plantas tratadoras de aguas residuales en el estado". Fuente: El Universal, Sección Morelos, pag 6, 3-12-1991.

"Empresas empiezan a tratar sus aguas residuales". Fuente: El Universal, Sección Morelos, pag 6, 17-10-1991.

"Las aguas negras domésticas e industriales han sido letales para el sector agrícola en Morelos".

Fuente: El Universal, Sección Morelos, pag 6, 17-10-1991.

El Universal, Sección Morelos, pag 7, 24-2-1992.

El Universal, Sección Estados, pag 7, 2-3-1992.

1.6.2.3.18. Nuevo León.

"Estados Unidos pretende instalar bajo el auspicio de la "Chemical Waste Management Corporation" un confinamiento con la frontera con Nuevo León".

Fuente: Uno más uno, Sección Provincia, pag 14, 9-3-1992.

El Universal, Sección Estados, pag 1, 24-2-1992.

"Se detectaron 3 millones de toneladas de residuos procedentes de los Estados Unidos introducidas ilegalmente, en el confinamiento de la empresa MULTIQUM en el municipio de Mina". Fuente: El Universal, Sección Primera, pag 1, 18-3-1991.

"Industrias contaminan los mantos freáticos de Apodaca, Nuevo León". Fuente: El Universal, Sección Estados, pag 5, 15-5-1991.

1.6.2.3.19. Oaxaca.

"Afectan derrames de hidrocarburos al río de Jumapa, municipio de Matías Romero en el istmo de Tehuantepec".

Fuente: Excelsior, Sección Estados, pag 1, 2-3-1992.

1.6.2.3.20. Puebla.

"Arrojan industrias residuos alcalinos en cultivos". Fuente: El Universal, Sección Puebla-Tlaxcala, pag 2, 13-9-1991.

"Urge en Palmar de Bravo una planta de aguas residuales".

Fuente: El Universal, Sección Puebla-Tlaxcala, pag 2, 13-2-1992.

"Culpan a la SEDUE de utilizar la barranca Xaltonatl como tiradero a cielo abierto". Fuente: El Universal, Sección Puebla-Tlaxcala, pag 2, 27-11-1992.

"Unas 15,000 familias de La Joya están en peligro de salud por el paso de aguas negras cerca de la localidad". Fuente: El Universal, Sección Puebla-Tlaxcala, pag 2, 10-12-1991.

"En los últimos 14 meses se clausuraron 220 establecimientos industriales". Fuente: El Universal, Sección Puebla-Tlaxcala, pag 2, 4-3-1992.

"Riegan con aguas negras cultivos de alfalfa en Tecamachalco. Existe la posibilidad de concentraciones altas de mercurio." Fuente: Excelsior, Sección Estados, pag 1, 6-3-1992.

"Los peces de Valsequillo presentan un contenido elevado de metales pesados cuatro veces mayor a lo aceptable". Fuente: Excelsior, Sección Estados, pag 3, 6-4-1992.

"Xicotepec irriga con aguas negras el río San Marcos". Fuente: El Universal, Sección Estados, pag 2, 16-1-1992.

"Contarán industrias automotrices con plantas de tratamiento de aguas residuales". Fuente: El Universal, Sección Estados, pag 3, 1-8-1992.

"En agosto de 1990 quedará saturado el basurero de Puebla y no se cuenta con otro". Fuente: El Universal, Sección Estados, pag 2, 28-6-1990.

"En abril de 1992, se reabrirá un relleno sanitario para la ciudad de Puebla". Fuente: El Universal, Sección Puebla-Tlaxcala, pag 2, 19-3-1991.

"Se instalará una planta incineradora de desechos sólidos".

Fuente: El Universal, Sección Puebla-Tlaxcala, pag 2, 5-3-1992.

"Refresqueras afectan tierras de cultivo en San Lorenzo".

Fuente: Excelsior, Sección Primera, pag 1, 5-6-1991.

"El depósito de Xaltonatl, quedó saturado".

Fuente: El Universal, Sección Puebla-Tlaxcala, pag 2, 14-11-1992.

"Clausura SEDUE un ducto por contaminar las aguas del río Totolpa". Fuente: Excelsior, Sección Estados, pag 1, 26-9-1991.

"Carece Puebla de depósitos de desechos tóxicos.

Industrias y hospitales generan 8 toneladas diarias de residuos".

Fuente: El Universal, Sección Estados, pag 4, 5-6-1991.

"Exigen a la SEDUE que cierre el basurero de Cuetzalan".

Fuente: El Universal, Sección Estados, pag 6, 14-10-1991.

"Clausuran 60 fábricas por no tratar sus aguas residuales".

Fuente: El Universal, Sección Estados, pag 2, 14-10-1991.

1.6.2.3.21. Querétaro.

"Urge controlar los desechos industriales en Querétaro. En el estado se depositan en tiraderos 500 toneladas de basura al día, constituyendo un peligro para los habitantes de los municipios de Tequisquiapan, San Juan del Río y Corregidora.

Se calcula que en la entidad se mezclan 100 toneladas de residuos industriales en 750 toneladas de desechos municipales diariamente, teniendo así la necesidad de poner en marcha un proyecto de confinación de estos". Fuente: El Universal, Sección Estados, pag 5, 25-2-1992.

"En el municipio de Cadereyta, se consume agua contaminada con mercurio". Fuente: El Universal, Sección Estados, pag 1, 16-1-1992.

"En los municipios de Cadereyta, Tolimán, Peña Miller y San Joaquín, se encontraron sales, plomo, arsénico y flúor en el agua". Fuente: El Universal, Sección Estados, pag 1, 5-11-1991.

"Querétaro enfrenta graves problemas ambientales.

Acumula 850 toneladas de basura al día, incrementando el deterioro de los suelos". Fuente: El Universal, Sección Estados, pag 1, 8-11-1991.

"1,500 industrias afectan la cuenca Lerma-Chapala, vierten sin tratar 600 L /seg de descargas". Fuente: El Universal, Sección Estados, pag 1, 12-11-1991.

"Clausura SEDUE 3 empresas que no contaban con sistemas de tratamiento de aguas, y por lo mismo no reportaban sus análisis de la composición química y biológica de sus efluentes". Fuente: La Jornada, Sección El País, pag 2, 30-10-1992.

"Empresas se comprometen a tratar sus aguas, para no contaminar cuerpos receptores de agua".

Fuente: Excelsior, Sección Estados, pag 3, 27-3-1992.

El Universal, Sección Primera, pag 30, 9-9-1991.

1.6.2.3.22. Quintana Roo.

"30 drenajes clandestinos vierten sus aguas negras a la laguna de Nichupté, en plena zona hotelera de Cancún". Fuente: Excelsior, Sección Estados, pag 1, 3-2-1992.

1.6.2.3.23. San Luis Potosí.

"Fallas en un canal operado por la C.N.A, ocasiona inundaciones de aguas negras en 3 poblados de Soledad, San Luis Potosí". Fuente: Excelsior, Sección Estados, pag 1, 13-2-1992.

"El problema más grave en la región, es la contaminación del agua. PRONAPADE descarga 30,000 m³/día en el municipio de Villa de Reyes, y como efecto existe contaminación por cromo y cadmio".

Fuente: El Universal, Sección Estados, pag 5, 22-4-1991.

"La utilización de aguas negras para el riego de hortalizas. Los ríos que cruzan Ciudad Valles, están casi muertos por los efluentes de cuatro ingenios azucareros y una planta de fibracel, afectando la cuenca del Pánuco". Fuente: El Universal, Sección Estados, pag 5, 22-4-1991.

"En Santa María del Río no instalarán planta de desechos".

Fuente: El Universal, Sección Estados, pag 1, 15-1-1992.

"En Guadalupe están expuestos al aire libre 32,000 toneladas de desechos nocivos". Fuente: Excelsior, Sección Estados, pag 2, 16-5-1991.

"Las descargas de la planta de Fibracel al río Valles, ha causado mortandad de diversas especies de peces". Fuente: El Universal, Sección Estados, pag 1, 30-6-1991.

"Los mantos acuíferos de la entidad se recargan por descargas al drenaje, teniendo altos niveles de contaminación del agua en diversos municipios". Fuente: Excelsior, Sección Estados, pag 1, 23-3-1992.

1.6.2.3.24. Sinaloa.

"Infectan con descargas de aguas negras, las playas de Mazatlan, causando problemas en la piel de los habitantes, así como riesgo de epidemias". Fuente: Excelsior, Sección Estados, pag 1, 17-2-1992.

"En Sinaloa algunos alimentos se encuentran contaminados con agroquímicos". Fuente: El Universal, Sección Estados, pag 4, 26-3-1992.

"El gobierno federal y el sector agrícola invertirán 3 millones de dólares para la construcción de un confinamiento controlado de residuos peligrosos". Fuente: El Universal, Sección Estados, pag 1, 18-3-1992.

1.6.2.3.25. Sonora.

"El agua de riego está contaminada con agroquímicos tóxicos en el sur de Sonora". Fuente: Excelsior, Sección Estados, pag 1, 8-10-1991.

"El estado de Sonora se opone a la creación de confinamientos de desechos peligrosos en la frontera". Fuente: Excelsior, Sección Estados, pag 1, 23-3-1992.

1.6.2.3.26. Tabasco.

"PEMEX encabeza la lista de empresas contaminantes en el estado. Más de 100 descargas de efluentes industriales afectan a 5 ríos, y esto proveniente de 20 empresas, siendo el mayor volumen generado por la paraestatal". Fuente: El Universal, Sección Estados, pag 1, 4-3-1992.

1.6.2.3.27. Tamaulipas.

"Maquiladoras depositan sus desechos en tiraderos clandestinos en Matamoros". Fuente: La Jornada, Sección El País, pag 6, 5-3-1992.

"El estuario de Topila, registra la muerte de cientos de peces, presuntamente ocasionado por el "Fomento Azucarero"". Fuente: Excelsior, Sección Estados, pag 1, 5-3-1992.

"La comisión de ecología del congreso del estado, pidió la construcción de un confinamiento de residuos peligrosos". Fuente: Uno más uno, Sección La Provincia, pag 14, 15-4-1992.

"Maquiladoras arrojan 36,000 L /hora de desechos al río Bravo". Fuente: Excelsior, Sección Primera, pag 1, 10-3-1992.

1.6.2.3.28. Tlaxcala.

"La industria contaminó 400 hectáreas de terreno agrícola en Papalotla". Fuente: Excelsior, Sección Estados, pag 3, 28-8-1991.

"La cuenca de Atoyac y Zahuapan están contaminadas y afectan áreas de riego en la zona, afectando a 2,000 campesinos.

La C.N.A ha prohibido utilizar el agua del río Zahuapan para riego, ya que contiene detergentes y desechos industriales en su cauce".

Fuente: El Universal, Sección Puebla Tlaxcala, pag 2, 7-1-1992.

El Universal, Sección Puebla Tlaxcala, pag 2, 28-1-1992.

El Universal, Sección Puebla Tlaxcala, pag 2, 24-2-1992.

Excelsior, Sección Estados, pag 1, 1-10-1991.

"Se arrojan 3 toneladas diarias de desechos hospitalarios en tiraderos clandestinos". Fuente: Excelsior, Sección Estados, pag 1, 12-3-1992.

"Una fábrica de yogurt de la cadena "Chambourcy", descarga sus aguas residuales en la reserva ecológica de Xicotencatl". Fuente: Excelsior, Sección Estados, pag 1, 7-8-1991.

1.6.2.3.29. Veracruz.

"Consumen agua contaminada en 10 municipios aledaños a Jalapa". Fuente: Excelsior, Sección Estados, pag 1, 6-11-1991.

"Se perjudicaron 2,000 pescadores por la contaminación de los ríos Blanco, Coataxtla, Papaloapan y Jamapa que desembocan al mar".

Fuente: El Universal, Sección Estados, pag 6, 30-3-1992.

El Universal, Sección Estados, pag 5, 31-3-1992.

"PEMEX contamina las lagunas de La Mancha y El Llano del municipio de Actopan, laguna Colorado, además del mar en el puerto de Veracruz, Boca del Río, Antón Lizardo y el puerto de Alvarado".

Fuente: Excelsior, Sección Estados, pag 1, 22-1-1992.

El Universal, Sección Estados, pag 1, 22-1-1992.

"Los desechos industriales contaminan los ríos Pánuco y Coatzacoalcos, que a su vez envenenan el golfo de México". Fuente: Excelsior, Sección Estados, pag 1, 19-3-1992.

"La cuenca del río Coatzacoalcos tardará diez años en descontaminarse, si se aplica un programa donde participarán 15 empresas asentadas en la zona". Fuente: Excelsior, Sección Estados, pag 1, 26-8-1991.

"Españoles invertirán en construcción y operación de una planta de desechos petroquímicos". Fuente: Excelsior, Sección Estados, pag 2, 20-1-1992.

"Instalarán 2 plantas tratadoras de aguas residuales, con lo que se evita la contaminación del río Blanco en 80 %". Fuente: Excelsior, Sección Estados, pag 2, 2-7-1990.

1.6.2.3.30. Yucatán.

"El 52 % de los residuos líquidos que arrojan industrias en Yucatán no tienen tratamiento.

La entidad cuenta con 350 empresas de las cuales 50 son excesivamente contaminantes". Fuente: Excelsior, Sección Estados, pag 2, 2-10-1991.

"El agua que se bebe en Mérida está infectada con carga orgánica, amenazando la salud de 560,000 habitantes, es decir, 42 % de la población de Yucatán". Fuente: Excelsior, Sección Estados, pag 1, 29-11-1991.

"65 empresas fueron emplazadas a reubicarse o adquirir equipos anticontaminantes". Fuente: El Universal, Sección Estados, pag 5, 15-1-1992.

Esto fue una revisión de más de un año, en cada uno de los estados, dando un panorama general de la situación nacional.

La variedad de artículos publicados correspondientes a la grave contaminación que sufren los municipios conurbados, merece que se tome en cuenta, ya que los sitios afectados son siempre los mismos.

CAPITULO II LEGISLACION.

2.1 INTRODUCCION.

El desarrollo industrial genera una cantidad y diversidad de residuos, entre ellos tenemos a los lodos de tratamiento de aguas que al igual que cualquier desecho peligroso, requiere de un tratamiento especial antes de enviarlos a una disposición final.

El transporte, manejo y disposición de estos sólidos puede causar daños a la salud y a la calidad del ambiente, por lo que el problema requiere de una solución legal porque es un hecho conocido que podría causar deterioros a la naturaleza como resultado de un mal manejo o ignorancia en su disposición (Carrasco, 1991).

A pesar de que existen soluciones nacionales a estos problemas, estas difieren de acuerdo a las constituciones y sistemas legislativos de los países implicados y reflejan consideraciones tales como: Nivel de industrialización, densidad de población, condiciones geológicas y climatológicas de cada país.

A continuación se expone una revisión de la legislación en los Estados Unidos de América y en México.

2.1 LEGISLACION EN LOS ESTADOS UNIDOS DE AMERICA. (Skinner, 1983).

2.1.1 Manejo de residuos peligrosos en los Estados Unidos de América.

En los Estados Unidos de América, cada año se generan de 5 a 6 mil millones de toneladas de desechos sólidos.

Estos incluyen sedimentos de drenajes, residuos agrícolas, residuos mineros, desechos patológicos, basura doméstica común y residuos industriales que contienen sustancias peligrosas.

TABLA 2.1.1.1.

CANTIDADES ESTIMADAS DE RESIDUOS SOLIDOS GENERADOS EN ESTADOS UNIDOS EN 1977.

FUENTE	TONELADAS(millones)	PORCENTAJE DEL TOTAL.
Municipal	180	3.1
Industrial	350	6.4
Minería/Fundición	2,000	39.0
Agrícola	2,300-3,000	50.3
Centrales productoras de energía	70	1.2
Total	4,900-5,700	100

Fuente: Agencia de Protección del Ambiente. Solid Waste Data. JRB y Asociados. Oficina de Desechos Sólidos. (Washington. D.C agosto de 1981)

2.1.2 Acciones administrativas de los E.U.A.

Para enfrentar el problema, el Congreso de los Estados Unidos promulgó dos leyes importantes sobre el ambiente: la Ley de Conservación y Recuperación de Recursos (RCRA) de 1976 y la Ley General sobre Respuesta, Compensación y Responsabilidad Ambiental (CERCLA), promulgada en 1980.

La Agencia de Protección al Ambiente (E.P.A.) es la responsable de la ejecución de los programas instituidos bajo estos dos estatutos.

2.1.2.1. La Ley de Conservación y Recuperación de Recursos (RCRA).

La RCRA es un estatuto con vistas al futuro, en el sentido de que plantea programas que permitirán el control de prácticas existentes y futuras de manejo de residuos sólidos.

La RCRA se encarga de instalaciones de manejo de sólidos existentes (Skinner, 1983).

2.1.2.1.1. Los objetivos del RCRA. (Espíndola, Tellez, 1992).

Protección de la salud humana.

Reducción de residuos para preservar los recursos naturales y energéticos.

Reducción o eliminación de residuos peligrosos tanto como sea posible.

La ley RCRA se enmendó en 1984, aumentando su alcance de control para residuos peligrosos.

2.1.2.1.2. Estructura del RCRA.

Se divide en diez subtítulos, que van de la "A" a la "J". Los incisos de la "A", "B", "E", "F", "G" y "H" delimitan disposiciones generales, que incluyen disposiciones generales, autoridad del administrador, obligaciones de la Secretaría de Comercio, responsabilidades federales, previsiones misceláneas, alcance, desarrollo, demostración e información (RCRA Orientation Manual, 1990).

2.1.2.2. Ley General de Respuesta, Compensación y Responsabilidad Ambiental (CERCLA).

El objetivo de la CERCLA, por otro lado, es el de responder a los problemas de las prácticas de eliminación de desechos sólidos. Esta ley trata emisiones peligrosas de los vertederos abandonados. Cantidades de Residuos Peligrosos y Magnitud de la Industria Regulada.

2.1.2.2.1. Principales disposiciones del CERCLA

Las principales disposiciones indicadas en ésta ley son:

Establecer un fondo ("SUPERFUND") para pagar investigaciones y remedios de los sitios donde no se encuentre un responsable o que éste no se pague voluntariamente.

Establecer una lista de prioridades para la limpieza de los sitios inactivos o abandonados de residuos peligrosos (Lista de prioridad Nacional).

Establecer mecanismos de acción de sitios abandonados e inactivos. (Plan Nacional de Contingencia).

Establecer las obligaciones para aquellos responsables de la limpieza (David, Cornwell, 1991).

2.1.3. Generación y procedencia de los residuos en E.U.A.

De los 300 a 400 millones de toneladas de residuos industriales generados en Estados Unidos, se calcula que 42 millones son desechos peligrosos de acuerdo con las normas de la U.S.E.P.A.

De esta cantidad el 62 % se genera en las industrias de productos químicos, 10 % en las industrias de metales primarios, 5 % en la producción de petróleo y productos carboníferos y 5 % de la producción de metal fabricado. El restante 18 % se divide entre 25 industrias adicionales. (United States Environmental Protection Agency, Hazardous Waste Generation and Commercial Hazardous Waste Management Capacity. Report SW-894, 1980).

2.1.4. Manejo y Control del residuos peligrosos en E.U.A.

2.1.4.1. Control de generadores y compañías o personas relacionadas con el manejo de residuos peligrosos.

El 19 de agosto de 1980, se solicitó a todas las personas implicadas en el manejo de residuos una notificación a la E.P.A.

Del número de notificaciones, se calcula cuantos establecimientos individuales se sujetan a los reglamentos de la RCRA.

Aproximadamente 54,000 establecimientos notificaron a la E.P.A que generan residuos peligrosos, 13,000 establecimientos notificaron su participación como transportistas o cargadores y casi 10,000 instalaciones tratan, almacenan o eliminan estos residuos.

En los Estados Unidos hay más de 2,100 instalaciones que eliminan desechos peligrosos en el suelo (relleno sanitario, depósitos superficiales, pozos de inyección e instalaciones de tratamiento de tierra).

Hay más de 350 incineradores de estos desechos y más de 650 instalaciones que los almacenan o tratan en contenedores, tanques, depósitos y otros medios.

2.1.4.2. Mecanismo Legal de Control del Manejo y Disposición de Residuos Peligrosos.

2.1.4.2.1. Normas para generadores y transportistas de residuos peligrosos.

Las normas de la RCRA empiezan con el generador o la persona que produce inicialmente el residuo peligroso.

El generador tiene la responsabilidad de determinar si su desecho es o no peligroso.

Si el generador almacena desechos debe cumplir con las normas técnicas para tratar, almacenar y/o eliminar, debiendo contar con un permiso o licencia para ejercer éstas prácticas.

El generador tiene la obligación de identificar plenamente su residuo etiquetando y señalando debidamente su contenido, además de empacarse de una forma segura para su transporte.

Una vez que se identificado el residuo, se debe cumplir con los requerimientos del sistema de manifiestos de carga.

2.1.4.2.2. Normas para instalaciones de tratamiento, almacenamiento y/o eliminación.

Los propietarios y operadores de instalaciones para tratar, almacenar o eliminar residuos deben poseer un permiso, el cual contendrá un diseño detallado y un manual de operación del establecimiento.

Para recibir un permiso se debe contar con:

Capacitación del personal.

Contar con planes de contingencia ante accidentes.

Suficientes medidas de seguridad.

Capacidad de analizar los residuos.

Las instalaciones que almacenen desechos en el subsuelo, deben

informar que impacto tendrá esta práctica en el medio, además de diseñarse para un período de operación y vigilancia no mayor a 30 años, dando garantía de que se contará con fondos necesarios para el momento del cierre de la planta.

Una vez que se cuenta con todos los requisitos, se solicita a la E.P.A el permiso correspondiente.

2.1.5. Cronología de legislación ambiental en los Estados Unidos de América.

CUADRO 2.1.5.1. CRONOLOGIA DE LEGISLACION AMBIENTAL EN LOS ESTADOS UNIDOS DE AMERICA.

Año de promulgación	Disposiciones
1899	Disposiciones generales para ríos y puertos.
1948	Disposiciones para control de la contaminación del agua(WPCA)
1952	Enmienda menor al (WPCA).
1961	Enmienda mayor al (WPCA).
1967	Disposiciones para la calidad del aire.
1969	Plan de acción nacional para la protección al ambiente.
1970	Enmiendas en las disposiciones de calidad del aire. Disposición para confinamiento de desechos sólidos.
1972	Ley para mejorar la calidad del aire.
1974	Decreto para control del ruido. Ley de seguridad para el agua potable.
1976	Enmiendas mayores al (WPCA). Ley general de conservación y recuperación de recursos (RCRA). Ley de control de substancias tóxicas.
1980	Ley general de respuesta, compensación y responsabilidad ambiental. (CERCLA o Superfund)(Comprehensive Environmental Response Compensation and Liability Act).
1987	Edicto para limpiadores de tanques sépticos. Normas de control para solventes en pinturas.

Fuente: Gloyna, 1990.

2.2 LEGISLACION EN MEXICO. (Aguilar, Carrasco, 1991).

2.2.1 Síntesis de la problemática ambiental en México.

2.2.1.1. Procedencia y generación de desechos.

La producción industrial en México, a partir de los años cincuenta aumenta en una tasa mayor a la de crecimiento demográfico y aunado al centralismo alrededor de las ciudades del país, traen el crecimiento desordenado de sus tres principales zonas metropolitanas: Guadalajara, México y Monterrey.

México, Guadalajara y Monterrey arrojan 46, 8.5 y 8.2 m³/seg de aguas residuales, dando el 34 % del total nacional, que son 184 , m³/seg, distribuidos en 105 m³/seg en descargas municipales y 79 m³/seg en descargas industriales.

2.2.1.2. Cuantificación de las descargas residuales en México.

El contaminante principal de ambos tipos de descargas es la materia orgánica, expresada como D.B.O, D.Q.O y carbono orgánico total (C.O.T). Referida a toneladas por año, la carga orgánica de las aguas residuales representa un total de 2,265,000 toneladas de D.B.O, de las cuales 65 % es de origen industrial y 35 % municipal. De las 200,000 descargas industriales registradas en México, 5,000 genera el 80 % de la D.B.O industrial.

2.2.1.3. Tratamiento de efluentes en México.

Se cuenta con 400 plantas de tratamiento, de las cuales 223 son municipales diseñadas para 16 m³/seg y 177 son industriales diseñadas para tratar 12.2 m³/seg, pero desgraciadamente operan a un 56 % de su capacidad instalada, dando un total de 16 m³/seg de aguas residuales tratadas a nivel nacional.

Del total de plantas un 20 % operan en forma adecuada, 35 % son ineficientes y el 45 % restante están fuera de operación.

2.2.1.4. Cuantificación y destino de los residuos sólidos en México.

En lo que respecta a residuos sólidos de todo tipo de fuentes, son 58,000 toneladas de desechos sólidos municipales y 400,000 toneladas de residuos industriales. (Carrasco, 1991).

De las 58,000 toneladas se recolecta el 70 %, y de éstas el 33.3% (13,000 toneladas) se depositan en 44 rellenos que operan en el país. (Carrasco, 1991).

De las 400,000 toneladas diarias de residuos industriales, 300,000 corresponden a actividades mineras extractivas y 14,000 a materiales peligrosos de acuerdo al criterio C.R.E.T.I. (Carrasco, 1991).

Hasta la fecha lo tradicional ha sido que los residuos industriales se depositen en terrenos baldíos, la mayoría de las veces en forma clandestina.

2.2.2. Legislación referente al manejo y disposición de lodos de tratamiento de efluentes industriales en México.

México comienza a incursionar en la legislación sobre residuos peligrosos y en materia específica sobre lodos provenientes de tratamiento de aguas residuales tanto municipales como industriales se mencionan en los listados de la norma técnica ecológica NTE-CRP-001/88 y en el proyecto de norma oficial mexicana NOM-PA-CRP-001/93 tomándose en cuenta que además pueden presentar características corrosivas, reactivas, de explosividad, toxicidad, de inflamabilidad y/o biológicos infecciosos en la mismas, incluyendo asimismo en las tablas de incompatibilidad con otras sustancias establecidos en los apéndices de la legislación citada.

En el reglamento para la prevención y control de la contaminación de aguas, el artículo 18 fracción 3 indica la obligación para el generador para presentar un proyecto para que en su caso, instale sistemas de disposición de lodos que se produzcan durante el tratamiento de las aguas residuales, así como la caracterización. En la misma legislación se indica el método de disposición en relleno sanitario, señalando las características de las instalaciones, forma de operación y control.

En México las disposiciones para el control de la contaminación del agua, suelo y aire que pudiese provocar una mala disposición de estos residuos están comprendidas en:

-Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al ambiente.

-Ley Federal de Protección al Ambiente.

-Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación de aguas.

2.2.3. Cronología de las publicaciones legales referentes al manejo y disposición de residuos peligrosos en México.

Viernes.
25 de noviembre de 1988.
Pag.52

Reglamento del equilibrio ecológico y la protección al ambiente en materia de residuos peligrosos.

Lunes
6 de junio de 1988

NTE-CRP-001/88.
Establece los criterios para la determinación de residuos peligrosos y el listado de los mismos.

Lunes
6 de junio de 1988

NTE-CRP-008/88.
Establece los requisitos que deben reunir los sitios destinados al confinamiento de residuos peligrosos excepto los radiactivos.

Miércoles
14 de diciembre de 1988

NTE-CRP-002/88.
Establece los procedimientos para llevar a cabo la prueba de extracción para determinarlos constituyentes que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente.

Miércoles
14 de diciembre de 1988

NTE-CRP-003/88
Establece el procedimiento para determinar la incompatibilidad entre dos o más de los residuos considerados como peligrosos por la norma técnica ecológica NTE-CRP-001/88.

Miércoles
14 de diciembre de 1988

NTE-CRP-010/88
Establece los requisitos que deben observarse en el diseño, construcción y operación de celdas de confinamiento controlado para residuos peligrosos determinados en la norma técnica ecológica NTE-CRP-001/88.

Viernes
8 de septiembre de 1989

NTE-CRP-009/89
Establece los requisitos para el diseño y construcción de las obras miércoles de un confinamiento controlado para residuos peligrosos.

Miércoles
13 de diciembre de 1989

NTE-CRP-011/88
Establece los requisitos para la operación de un confinamiento controlado de residuos peligrosos.

Viernes
10 de noviembre de 1989

Acuerdo.
Formato para la manifestación de Bifenilos Policlorados provenientes de equipos eléctricos.

Viernes
6 de abril de 1990

Procedimientos.
Autorización de la importación y exportación de materiales y residuos peligrosos.

Miércoles
3 de mayo de 1991

Acuerdo.
Se dan a conocer los formatos en los que la industria nacional debe declarar el volumen y tipo de generación de residuos peligrosos, señalados en el reglamento:

Manifiesto para empresas de residuos peligrosos.

Manifiesto de entrega, transporte y recepción de residuos peligrosos.

Manifiesto para casos de derrame de residuos peligrosos por accidente.

Reporte semestral de residuos peligrosos enviados para su reciclaje, tratamiento, incineración o confinamiento.

Reporte mensual de residuos peligrosos confinados en sitios de disposición final.

Reporte semestral de residuos peligrosos recibidos para su reciclaje o tratamiento.

Viernes
2 de julio de 1993.

Proyecto de Norma Oficial Mexicana NOM-PA-CRP-001/93 que establece las características de los residuos peligrosos y el listado de los mismos.

Fuente: Aguilar, 1991.

2.2.4. Organismos involucrados en manejo y disposición de lodos de tratamiento de efluentes industriales.

- Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología. *(S.E.D.U.E).
- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos.
(S.A.R.H).
- Comisión Nacional del Agua. (C.N.A).
- Comisiones de Ecología de las Cámaras de Diputados Estatales y Federales.
- Asamblea de representantes del Distrito Federal.
- ** (A.R.D.F).
- * A partir de Mayo de 1992 es Secretaría de Desarrollo Social. (SEDESOL).
- ** Exclusivamente para el Distrito Federal.

CAPITULO III

CARACTERIZACION.

3.1 OBJETIVOS DE LA CARACTERIZACION.

El propósito de caracterizar un lodo de tratamiento de efluentes industriales, es la de describirlo en forma física y química.

El estudio sirve al generador como orientación para realizar un tratamiento, o bien, cuando éste lo envía en recipientes, necesita detallar la composición del residuo que viene en los contenedores para el lugar destinado para disposición final.

3.2 MUESTREO.

3.2.1. Responsables del muestreo de un lodo.

La caracterización y muestreo de un lodo se lleva a cabo por el generador y por el receptor del mismo.

Si el generador confina el residuo, este se sujeta a lo establecido en la normatividad para su muestreo y caracterización.

3.2.2. Métodos de muestreo.

Para muestrear lodos de tratamiento de efluentes se utilizan diferentes métodos dependiendo de la cantidad producida y del sitio donde se recoge.

3.2.2.1. Muestreo de lodos acuosos.

La recolección de las muestras de lodo se realizan cuando éste se está descargando o bombeando.

Se recogen en forma instantánea y del mismo tamaño en un cucharón (Departamento de Sanidad de Nueva York, 1990).

3.2.2.1.1. Período de muestreo de lodos acuosos.

Las muestras se toman al empezar, durante y al final del período de descarga; se mezclan las muestras y se toma la cantidad que requiera el laboratorio para su análisis (Departamento de Sanidad de Nueva York, 1990).

3.2.2.2. Muestreo de lodos secos en lechos.

Para muestras de lodo secos en lechos, se toman porciones del mismo tamaño de diversos puntos distribuidos sobre el lecho, teniendo cuidado de no incluir arena; se mezcla bien después de pulverizar.

Normalmente se recomienda utilizar 500 g de muestra para el laboratorio.

3.2.2.3. Muestreo de "tortas" de filtros.

Las muestras de tortas de filtros se recogen cortando porciones de la torta de lodo a medida que se desprende del filtro; hacien-

do esto con una espátula se pueden obtener de manera conveniente porciones del mismo tamaño en proporciones iguales.

Estas porciones se examinan por separado, o se mezclan en una muestra integrada.

El examen debe realizarse lo más pronto posible, después de su recolección.

3.2.2.4. Método de cuarteo.

Otro método que se puede utilizar para muestrear un lodo es el de cuarteo, referido en la norma oficial mexicana NOM-AA-15-1985 que se utiliza en sólidos municipales, pero haciendo algunas modificaciones es perfectamente aplicable para este tipo de residuos que se reciben a granel.

Consiste en agrupar el lodo por medio de una pala, en forma de un cono truncado de unos 15 cms de altura y se divide en cuatro cuadrantes por medio de una regla adecuada. Se mezcla el material de dos cuadrantes opuestos y se repite la operación hasta obtener la cantidad deseada de muestra para las pruebas a ejecutar (López, Estrada, Quintero, 1991).

3.2.2.5. Muestras alteradas e inalteradas.

Existen otros métodos de muestreo aplicados en la exploración de suelos, y que son aplicables en el análisis de lodos frescos, así

como en el terreno que se utilizó para relleno con este material. En el muestreo de suelos se pueden tomar muestras alteradas e inalteradas.

La muestra alterada es aquella que no guarda las mismas condiciones que cuando se encontraba en el terreno de donde procede.

La muestra inalterada es aquella que guarda las mismas condiciones que cuando se encontraba en el terreno (Crespo, 1979).

3.2.2.5.1. Muestras Inalteradas.

Para obtener muestras inalteradas, el caso más simple corresponde al cortar un determinado trozo del suelo del tamaño deseado (normalmente de 0.3 m * 0.3 m * 0.3 m) cubriéndolo con parafina para evitar pérdidas de humedad y empacándolo debidamente para su envío al laboratorio.

El procedimiento para la obtención de muestras inalteradas es el siguiente:

- a) Se limpia y se alisa la superficie del terreno y se marca el contorno del trozo.
- b) Se excava una zanja alrededor de esto.
- c) Se ahonda la excavación y se cortan los lados del trozo utilizando un cuchillo de hoja delgada.

d) Se corta el trozo con el cuchillo y se retira del hoyo hecho.

e) La cara del trozo extraído que corresponda al nivel del terreno, se marca con una señal cualquiera para que se conozca la posición que ocupaba en su lugar de origen. Inmediatamente se achaflanar las aristas de la muestra y se le aplican tres capas de parafina caliente con una brocha.

f) Si la muestra no va a ser analizada pronto, necesita una protección adicional a las tres capas de parafina ya indicadas.

3.2.2.5.1.1. Protección de las muestras.

La protección adicional consiste en envolver la muestra con una tela blanda amarrándola con un cordel.

Después se sumerge la muestra entera en parafina fundida, repetidas veces. Esta puede alcanzar un espesor de unos 3 mm (1/8") que es suficiente para garantizar su impermeabilidad.

Si las muestras inalteradas necesitan enviarse a un laboratorio distante del lugar de extracción de las mismas, entonces la protección es mayor.

La protección mencionada consiste en recubrir la mezcla con 1.27 cm (1/2"), como mínimo de parafina y empacarla con aserrín, paja o papel en una pequeña caja (Crespo, 1979).

3.2.2.5.2. Muestras alteradas.

Las muestras alteradas se colectan utilizando el método de cuarteo.

3.2.2.6. Dispositivos utilizados para muestreo.

Los dispositivos utilizados en el muestreo de suelos son barrenas, tubos muestreadores de diferentes tipos y posteadoras. Para muestras inalteradas se utilizan tubos muestreadores conocidos como tubos Shelby (Crespo, 1979).

3.3. CARACTERIZACION DE LODOS.

Un lodo proveniente de tratamiento de efluentes industriales contiene los contaminantes que se removieron del agua que se trató y, por tanto una revisión al análisis del efluente a la entrada y a la salida del tratamiento da un panorama de la carga que retiene.

La carga contenida en un lodo depende directamente de lo que se produce y cuanto se genere en la industria que se vaya a estudiar, del tipo de tratamientos que den a las aguas de desecho y la relación de materia orgánica procedente del agua de servicios que se mezcla a la corriente a tratar.

3.3.1. Principales generadores de carga contaminante en descargas industriales en México.

Es importante hacer notar que un lodo proveniente de tratamiento de efluentes estará compuesto de los residuos del proceso. Por lo cual las industrias que consuman y descarguen más agua serán las que más volumen de lodos generen.

CUADRO 3.3.1.1.

PRINCIPALES GIROS INDUSTRIALES RESPONSABLES
DE LAS MAYORES DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES EN MEXICO.

INDUSTRIA	EXTRACCION % RELATIVO	CONSUMO % RELATIVO	DESCARGA % RELATIVO
AZUCAR	35.2	22.3	38.8
QUIMICA	21.7	24.4	21.0
PAPEL/CELULOSA	8.2	16.1	6.0
PETROLEO	7.2	3.7	8.2
BEBIDAS	3.3	6.4	2.4

CUADRO 3.3.1.1.

PRINCIPALES GIROS INDUSTRIALES RESPONSABLES
DE LAS MAYORES DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES EN MEXICO.

INDUSTRIA	EXTRACCION % RELATIVO	CONSUMO % RELATIVO	DESCARGA % RELATIVO
TEXTIL	2.6	2.4	2.7
SIDERURGICA	2.5	5.5	1.7
ELECTRICA	1.5	4.7	0.7
ALIMENTOS	0.2	0.3	0.2
RESTO DEL SECTOR	0.17	14.1	18.1

FUENTE: Fuad, 1991.

3.3.2. Perfil contaminante de las descargas industriales.

TABLA 3.3.2.1. PERFILES DE LAS AGUAS CRUDAS DE DESECHO PARA INDUSTRIAS SELECCIONADAS.

Contaminantes	Alimentos	Química	Papel	Petróleo	Textil
Sólidos suspendidos	M	C	M	C	C
Salinidad	V	C	C	C	C
Aceites Grasas	V	M	I	M	C
Metales Pesados	I	V	V	V	I
Cianuros	I	V	I	C	I
Tiocianatos	I	V	I	C	I
Cromatos	I	C	I	C	V
Fosfatos	V	V	V	V	V
Productos orgánicos	M	M	M	M	M
Fenólicos	I	V	V	C	I

M = Mayor factor.

C = Contribuye al problema.

I = Insignificante.

V = Varía en la industria, puede contribuir.

Fuente: Manual del Agua de NALCO, 1989.

3.3.3. Equipo empleado en análisis de lodos.

Para efectuar la caracterización física y química de un lodo, es indispensable la utilización de equipo específico de laboratorio, para la aplicación de los diversos métodos analíticos de control en la identificación integral del residuo.

TABLA 3.3.3.1. METODOS ANALITICOS DE CONTROL.

	TIPO	DETERMINACIONES
1	Volumétrico	Cloruros, sulfuros, quelatos, sulfitos, zinc.
2	Espectrofotométrico	Fosfatos, hierro, manganeso, cromatos, sílice, nitratos, etc.
3	Instrumental	Turbiedad, conductividad.
4	Extracción	Aceite, sustancias orgánicas.
5	Incubación	cuentas bacterianas en placas.

Fuente: Manual del agua de Nalco, 1989.

3.4. METODOS ANALITICOS DE CONTROL.

3.4.1. Análisis inorgánicos.

3.4.1.1. Espectroscopía de absorción atómica.

La espectroscopía de absorción atómica es una técnica empleada para medir metales específicos tanto en sistemas acuosos, como no acuosos.

Bajo este método de análisis se pueden determinar cerca de 68 elementos diferentes con diversos grados de sensibilidad por debajo de 1 mg/ L.

Los resultados son precisos dentro de 5 % de los valores verdaderos.

La técnica está relativamente libre de interferencias en comparación con los procedimientos químicos por vía húmeda y es mucho más rápida.

El uso de esta técnica crece a medida que aumenta la importancia de medir metales pesados en diferentes corrientes de desechos.

**CUADRO 3.4.1.1.1. ANALISIS QUE SE EFECTUAN EN ESPECTROSCOPIA DE
DE ABSORCION ATOMICA.**

a	Agua cruda	Trazas de metales y dureza.
b	Salmueras y salcs.	Metales pesados y otros.
c	Efluentes de plantas.	Contaminantes tales como cromo, estaño, manganeso, plomo y mercurio
d	Agua tratada.	Hierro, cromo y dureza.

Fuente: Manual del agua de Nalco, 1989.

3.4.1.2. Espectroscopía de emisión óptica.

La espectroscopía de emisión óptica es una herramienta para el análisis elemental cualitativo y cuantitativo de materiales sólidos, líquidos y gaseosos.

Se emplea en el control de calidad de metales en industrias del acero, aluminio y otros metales.

El empleo conjunto con el equipo de absorción atómica, proporciona un alto grado de efectividad en el monitoreo de aguas residuales, para un cuadro cualitativo y cuantitativo de los constituyentes que influyen en el tratamiento.

3.4.1.3. Espectroscopía de emisión de flama.

Proporciona un método sensible y rápido para analizar metales alcalinos en el agua.

La ventaja del método es la rapidez con la que se realizan los análisis, pero es propenso a interferencias y es de menor sensibilidad que el de absorción atómica.

3.4.1.4. Espectrofotometría y Espectrofotometría Ultravioleta.

Es un análisis útil para la determinación de compuestos inorgánicos y aplicable en la determinación de material orgánico, especialmente en la región ultravioleta.

3.4.1.5. Analizador de carbono total.

El analizador de carbono total se emplea para determinar cuantitativamente el material carbonáceo en un medio acuoso.

Para preparar las muestras para el analizador se dispersa y disuelve la materia en forma homogénea.

La ventaja de este método es su rapidez, ya que tan solo se necesitan de 5-10 minutos por muestra, incluyendo tratamiento previo.

3.4.2. Análisis orgánicos.

3.4.2.1. Espectroscopía Infrarroja.

La espectroscopía infrarroja se emplea para identificar la presencia de grupos funcionales como: $-\text{COOH}$, $-\text{CHO}$, $-\text{CH}_3$, $-\text{OH}$, entre otros.

3.4.2.2. Resonancia Magnética Nuclear.

Completa la labor de la espectroscopía infrarroja, mostrando la "huella digital" de la materia orgánica presente, que se compara con patrones de compuestos conocidos.

La Resonancia Magnética Nuclear discrimina elementos estructurales en moléculas orgánicas, utilizando energía de radiofrecuencia.

3.4.2.3. Cromatografía de líquidos.

Se emplea para separar y determinar un material específico en una muestra líquida.

Inyectando la muestra en la cabeza de una columna de separación rellena de un lecho de material absorbente. Se introduce un líquido en la columna para que los componentes se discriminen en bandas (analitos) separadas en el lecho.

Un detector a la salida analiza las bandas a medida que salen de la columna.

Los detectores empleados comúnmente son espectrofotómetros ultravioleta.

3.4.2.4. Cromatografía de gases.

Se utiliza para determinar los materiales volátiles en muestras de agua. Algunos de ellos se pueden medir directamente; otros requieren de una separación o preparación especial.

Cuando el analito (banda) no es lo bastante volátil para extraerse del agua, entonces se trata con reactivos químicos para hacer un compuesto volátil.

Para fraccionar una muestra, ésta se vaporiza y barre en la columna del cromatógrafo por una corriente de gas inerte.

Los componentes se separan en bandas a medida que el gas portador pasa a través del empaque de la columna y se miden en el otro extremo de la columna por diferentes tipos de detectores.

Como ejemplo de algunos compuestos que se pueden detectar en un análisis por cromatografía de gases, están plaguicidas y solventes clorados entre otros.

El detector que comúnmente se emplea es el espectrómetro de masas que identifica la estructura de los compuestos.

Los gases son muestras ideales para el espectrómetro de masas, que opera bombardeando las moléculas gaseosas con partículas energéticas cargadas eléctricamente.

La energía transferida a las moléculas del gas las fragmenta en partículas cargadas más pequeñas en una forma reproducible.

La masa y la abundancia relativa de estos fragmentos cargados se determina por un instrumento explorador que produce el espectro de masas del analito (Manual del agua de NALCO, 1989).

3.4.3. Pruebas que se efectúan a los lodos.

1.- Pruebas que registran la concentración de lodos y sedimentos:

a) Pruebas para el contenido de materia sólida o agua, residuo total, humedad y peso específico; ofensividad potencial al sentido de la vista.

b) Pruebas para la materia orgánica y ofensividad potencial al sentido del olfato, residuo volátil y contenido de grasa.

2.- Pruebas que identifican la composición del lodo o sedimento:

a) Pruebas para el contenido de materia orgánica, residuo volátil, grasas, incluyendo hidrocarburos, D.B.O, nitrógeno total y orgánico.

b) pH, alcalinidad y acidez del licor de los lodos incluyendo ácidos grasos solubles e insolubles en agua y compuestos volátiles.

c) Pruebas para amoníaco.

3.- Pruebas que miden la condición del lodo o sedimento:

a) Pruebas para el aspecto, (color y olor descriptivos).

b) Pruebas químicas D.B.O y nitrógeno.

c) Pruebas biológicas (flora y fauna de los fondos como función del estado contaminante de las aguas examinadas).

4.- Pruebas relacionadas con los procesos de tratamiento específicamente, con el proceso de lodos activados:

- a) Pruebas para la materia suspendida y su sedimentabilidad
- b) Pruebas para el volumen y densidad relativos de los lodos,
(índice de volumen y densidad del mismo).

5.- Pruebas funcionales:

- a) Degradabilidad de los lodos y sedimentos mediante la determinación de D.B.O. o Warburg, o mediante la producción de gas y su descomposición, Ph, y contenido de ácido orgánicos;
- b) Pruebas para la filtrabilidad del lodo y anticipación a la filtración por vacío o al secado;
- c) Pruebas para el contenido calorífico del lodo secado;
- d) Pruebas para los constituyentes fertilizantes nitrógeno, fosfato y potasio(Fair; Geyer; Okun, 1989).

3.4.4. Caracterización de un lodo de tratamiento de efluentes industriales aplicando las metodologías descritas en las normas mexicanas.

Para establecer la peligrosidad de un residuo, y la prevención de accidentes al ambiente, se aplican los criterios de corrosi-

vidad, reactividad, explosividad, toxicidad e inflamabilidad, descritos en la legislación y conocidos en su conjunto como C.R.E.T.I.

3.4.4.1. Criterios C.R.E.T.I.

Son criterios de peligrosidad de un residuo por sus características de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad e inflamabilidad.

3.4.4.1.1. Corrosividad.

Cuando el residuo en estado líquido o en solución acuosa presenta un pH en un intervalo ≤ 2 o ≥ 12.50 , mediante el método expresado en la norma NOM-AA-25-1984 que se refiere a la determinación de pH en el potenciómetro, o bien cuando es capaz de corroer el acero al carbón (SAE 1020) a una velocidad de 6.35 mm/año a 55°C.

3.4.4.1.2. Reactividad.

Cuando el residuo bajo condiciones de golpe, presión, temperatura o de forma espontánea se descompone, combina o polimeriza vigorosamente.

Si es normalmente inestable y se combina o transforma violentamente sin detonación.

Si reacciona con el agua y forma mezclas potencialmente explosivas o genera vapores o humos en cantidades suficientes para provocar un desequilibrio ecológico.

Si posee en su constitución sustancias que cuando se exponen a condiciones de Ph adecuados puede generar gases, vapores o humos en cantidades suficientes para provocar un desequilibrio ecológico.

Si es capaz de producir radicales libres.

3.4.4.1.3. Explosividad.

Si es más sensible a golpes o fricción que el nitrobenzeno.

Si es capaz de producir una reacción o descomposición detonante o explosiva a 25°C y 1 atm de presión (1.033 kg/cm²).

3.4.4.1.4. Inflamabilidad.

Si el residuo tiene un punto de inflamación abierta a 60°C, su solución acuosa contiene más de 24% de alcohol en su volumen, o causa ignición por fricción, absorción de humedad o por cambios químicos espontáneos.

3.4.4.1.5. Toxicidad.

Cuando al hacer la prueba de extracción para verificar la toxicidad del residuo conforme a la norma NTE-CRP-002/88, aparezca uno o más de los constituyentes que se enlistan en las normas ecológicas correspondientes y que además se presenten en concentraciones iguales o mayores señaladas en la legislación.

3.4.4.2. Determinación de la composición química global del residuo de acuerdo con los parámetros establecidos en la legislación.

3.4.4.2.1. Normas para determinar compuestos inorgánicos.

Cloruros (Cl^-) (NOM-AA-73-1981).

Fosfatos (PO_4^{3-}) (NOM-AA-032-1976).

Carbonatos (CO_3^{2-}) Método adicional a las normas.

Sulfatos (SO_4^{2-}) (NOM-AA-014-1981).

Cianuros (CN^-) (NOM-AA-081-1986).

Nitratos (NO_3^-) (NOM-AA-1986).

Calcio (Ca^{2+}) Coloración a la flama.

Magnesio (Mg^{2+}) Coloración a la flama.

Resultados expresados en porciento en peso.

CUADRO 3.4.4.2.1.2.

LIMITES DE DETECCION DE ELEMENTOS
EN EQUIPOS DE PRECISIÓN.

LIMITES DE DETECCION	
Bario.....	1 mg/ L
Calcio....	0.04 mg/ L
Cromo....	0.024 mg/ L
Mercurio...	0.1 mg/ L
Plata.....	0.04 mg/ L
Selenio....	0.3 mg/ L
Arsénico.	0.025 mg/ L

Fuente: Espinosa, González, González, Rojas, 1991.

3.4.4.2.2. Normas para determinar la composición global orgánica.

Análisis hechos en cromatografía de gases con detectores de ionización de flama, conductividad térmica y captura de electrones para la determinación de compuestos orgánicos tóxicos (NTE-CRP-001/88), cuantificar agua y plaguicidas clorados. (Espinosa, González, González, Rojas, 1991).

CAPITULO IV

TRATAMIENTO DE LODOS.

4.1. LODOS DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES.

4.1.1. Generalidades.

Los procesos biológicos de tratamiento de aguas residuales producen, en mayor o menor grado, alguna forma de lodo, conocido como el "concentrado de la contaminación", siendo el manejo y disposición el mayor problema en la actualidad, por ser éste el residuo en el procesamiento de las aguas residuales.

4.1.1.1. Procedimientos para tratar lodos según sea la etapa de tratamiento de efluentes.

Los procedimientos para tratar lodos varían según la fuente y el tipo de aguas residuales de las que se derivan y del proceso para tratarlas, además del destino final de los mismos.

Los lodos activados de desecho contienen el doble de la concentración del licor mezclado en la etapa de aereación del mismo proceso.

Si existe una etapa primaria de sedimentación, los lodos activados de desecho se pueden mezclar con los lodos primarios, o bien alimentarlos al clarificador primario.

Los lodos de procesos de aereación prolongada que operan sin sedimentación prolongada, tienen ya un cierto grado de digestión

aerobia, y por tanto, están menos expuestos a la putrefacción que los lodos con una etapa de sedimentación primaria o tratamientos de alta tasa.

4.1.1.2. Lodos "crudos".

Los lodos que no están estabilizados, química, térmicamente o por digestión, se conocen como lodos "crudos".

En algunas plantas cercanas a la costa se puede en ciertas circunstancias, descargarlos directamente al mar.

Su estabilidad depende directamente del proceso de producción (Departamento de Sanidad de Nueva York, 1990).

4.1.2. Contenido de materia sólida en los lodos procedentes de diferentes tratamientos.

A pesar de que los lodos sean un concentrado de los contaminantes o un precipitado de la demanda bioquímica de oxígeno, éste está integrado en su mayor parte de agua y un porcentaje menor de materia sólida.

La cantidad de materia orgánica en un sólido está en un intervalo de 70 y 80 % (Nalco, 1989).

TABLA 4.1.2.1.

PORCENTAJE DE MATERIA SOLIDA EN LOS
LADOS DEPENDIENDO DE SU PROCEDENCIA.

PROCEDENCIA	VALOR % DE MATERIA SOLIDA
LODOS ACTIVADOS	< 1%
HUMUS DE PERCOLADORES	0.5% - 2%
LODOS PRIMARIOS	5% sólidos.
LECHO FLUIDIZADO	10%

Fuente: Manual del agua de Nalco, 1989.

4.1.3. Objetivos en el tratamiento de lodos.

Los objetivos que se persiguen en el tratamiento de lodos son:

- * Reducir el volumen de los lodos a manipular.
- * Aumentar su estabilidad biológica a fin de producir un material suficientemente concentrado e inofensivo para la selección del método de disposición.
- * Eliminar de los lodos toda el agua, tan rápido y económico como sea posible, para dejar un residuo compacto del que se pueda disponer de un modo aceptable.
- * En el tratamiento preliminar de los lodos, el objetivo principal es reducir el volumen a manipular por el aumento de la concentración de sólidos en los lodos.

4.1.4. Problemas en el manejo de los lodos.

Los problemas más comunes a solucionar son:

- * La eliminación del agua en forma rápida y económica.
- * La tendencia que tiene a tornarse negros y desagradables por su putrecibilidad.
- * La estabilización de los lodos para reducir su actividad biológica.

4.2 ESPESAMIENTO.

Debe considerarse el bajo contenido de sólidos, un aumento en la concentración, produce reducción en el volumen. Por ejemplo en 100 L de lodos existe una concentración de 1 kg de sólidos, es decir, concentración de sólidos al 1%, pero en 50 L en volumen de lodos se tiene una concentración de sólidos al 2%.

El proceso que produce aumentos de este orden en la concentración se llama espesamiento.

La concentración de sólidos en los lodos se duplica en el "espesamiento" o "consolidación".

4.2.1. Espesamiento según el tipo de lodos.

El aumento de la concentración depende del tipo de lodos, teniendo los lodos activados un aumento de hasta 5 % de sólidos y los lodos primarios hasta de un 9 %.

4.2.2. Métodos empleados de espesamiento.

Los métodos más usados son:

- * Asentamiento por gravedad.
- * Flotación.

Cuando las características de los lodos no son adecuadas para las anteriores se utiliza la centrifugación.

4.2.2.1. Asentamiento por gravedad.

Se efectúa en tanques equipados con un agitador lento que aumenta el asentamiento.

El tiempo de residencia debe ser corto, ya que pueden producir olores desagradables y un lodo demasiado espeso es difícil de bombear.

4.2.2.2. Espesamiento por flotación.

Se obtiene por la creación de burbujas de gas que se adhieren a las partículas de lodo, arrastrándolas por flotación a la superficie.

Los lodos acumulados se remueven mediante rasquetas, y el líquido clarificado regresa al proceso.

Se utiliza la técnica del aire disuelto para crear burbujas de aire, debido a su tamaño no hay agitación concomitante con la difusión del gas, lo que estorbaría el efecto de su clarificación ascendente.

4.2.2.2.1. Espesamiento por electroflotación.

La electroflotación es también, utilizada y se basa en la producción de burbujas de gas por electrólisis, estimulando además la coagulación del material coloidal, por efecto del campo eléctrico producido.

4.2.3. Equipos para espesamiento.

El espesador es un tanque, provisto de rastras con un movimiento lento, las cuales están coronadas por estacas, que ayudan a la compactación, haciendo mínimo el volumen y aumentando la densidad del lodo y su digestión (Departamento de Sanidad de Nueva York, 1990).

4.2.3.1. Espesador continuo.

Es un dispositivo para espesar lodos mediante separación continua por gravedad de una parte de la fase líquida, opcionalmente por floculación posterior. Consta de una reja fija de barras paralelas colocadas en la dirección de circulación de la suspensión y con un sistema de arrastre continuo en movimiento para promover el flujo de la suspensión.

La reja puede estar en posición horizontal o inclinada, y las barras pueden estar dispuestas en intervalos iguales. Las palas de arrastre consisten en hojas flexibles perpendiculares a las barras (Haubry, Cornice, Forgeat, 1986).

4.2.4. Espesamiento por gravedad y estabilización del residuo usando ozono.

El ozono o su mezcla con polímeros floculantes catiónicos se agregan al lodo orgánico antes de espesarlo por gravedad, lo que produce putrefacción y presencia de gas, mejorando el espesado.

Por lo que el lodo mezclado, en proporción 1:1 con lodos de tratamiento primario y un exceso, 0.95% en concentración de sólidos se trataron con 75 mg/ L de ozono y 0.2% de un copolímero de dimetilaminoetilacril sulfato de acrilamida (polímero floculante catiónico) y un tanque de 20 L equipado con una estaca de movimiento rotatorio.

El lodo tratado se espesó de 3.5 % a 20 horas, donde la flotación no se observó hasta después de un período de 35 horas.

Un control sin ozono y floculante, hace que flote el lodo hasta después de 11 horas de haber espesado. Por lo que el espesamiento fue imposible. (Yasukawa, Katsuo, Suzuki, Kazuo, 1987.)

4.2.5. Destino del sobrenadante de los equipos de espesamiento.

El sobrenadante del equipo regresa al proceso (Departamento de Sanidad de Nueva York, 1990).

4.3. ESTABILIZACION.

La digestión de los lodos disminuye el volumen de los mismos y descompone la materia orgánica hasta formar compuestos orgánicos e inorgánicos inertes o más estables.

4.4. DIGESTION ANAEROBIA.

La digestión se lleva a cabo en ausencia de oxígeno libre, por organismos anaeróbios.

4.4.1. Proceso de digestión.

Los microorganismos, atacan los sólidos disueltos, como los azúcares formando ácidos orgánicos y gases como anhídrido carbónico y ácido sulfhídrico.

El pH disminuye pasando de 6.8 a 5.1. Conociéndose ésta etapa como fermentación ácida y procede con rapidez.

Después los ácidos orgánicos y los compuestos nitrogenados son atacados y licuados con menor rapidez, siendo que aquí hay un aumento del Ph que va de 5.1 a 6.8.

Posteriormente se verifica la digestión intensa, la estabilización y gasificación, donde se atacan los materiales nitrogenados más resistentes, como las proteínas, aminoácidos y otros.

El Ph aumenta de 6.8 a 7.4 y se producen grandes volúmenes de gases (metano principalmente).

El progreso de la digestión se mide por la destrucción de materia orgánica (sólidos volátiles), o por el volumen y composición de los gases producidos. Es importante recalcar que los procesos de degradabilidad biológica intervienen factores como la humedad, la disponibilidad de alimentación de los microorganismos y la ausencia de productos tóxicos o biocidas no degradados.

4.4.1.1. Medio metanogénico.

En una digestión anaerobia, el material orgánico es solubilizado y convertido en ácidos orgánicos por la acción de organismos acetogénicos, y posteriormente a metano por otro tipo de organismos llamados metanogénicos.

El medio en el cual sobreviven estas bacterias es muy riguroso y específico. El oxígeno libre debe estar prácticamente ausente y el potencial de reducción debe ser menor que 300 mV. Sin estas condiciones, los organismos metanogénicos que son los más sensibles se vuelven inactivos, resultando en acumulación de ácidos orgánicos y finalmente la pérdida de actividad en los dos tipos de organismos. La conversión de energía del contaminante orgánico

a biomasa o masa celular es veinte veces menor que una digestión aerobia y por lo tanto la producción de lodos es menor.

En un proceso metanogénico, pueden suscitarse reacciones únicas de eliminación de cloro en ciertos compuestos orgánicos.

4.4.2. Tipo de lodos a estabilizar por ésta vía.

La digestión anaerobia no está establecida para industrias que producen residuos peligrosos, y es útil en casos como:

Cuando el contenido orgánico del contaminante es extremadamente alto y la digestión aerobia es muy cara para estas concentraciones de contaminación.

Donde la degradación de lodos biológicos generados en un tratamiento aerobio es significativo y la disposición de los lodos es de primordial interés, además del costo.

Donde la eliminación de cloro de compuestos específicos es requerida y se da lentamente en condiciones aerobias.

4.4.3. Mecanismo de tratamiento anaeróbico.

El tratamiento anaeróbico de residuos complejos resulta en producción de metano, involucrando procesos secuenciales en dos diferentes etapas, cada una dependiente de un grupo distinto de bacterias para cada etapa. Los dos estados son "fermentación ácida" seguida de otra fermentación con metano, a pesar de que

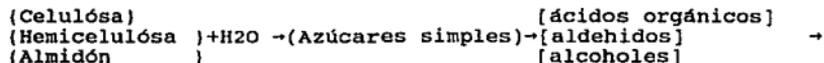
las dos etapas se dan de forma secuencial, estas toman lugar simultáneamente y en forma sincrónica en un sistema bien amortiguado en Ph.

4.4.3.1. Fermentación ácida.

Durante la "fermentación ácida" se efectúa la conversión del residuo y se estabiliza cuando el metano se produce. Los compuestos orgánicos complejos se reducen a compuestos más simples.

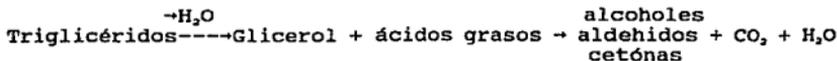
4.4.3.1.1. Conversión del material orgánico en la fermentación ácida.

La conversión de carbohidratos complejos como polisacáridos se muestra como:



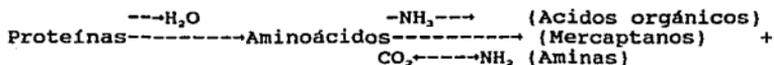
$\text{CO}_2 + \text{H}_2$

Los efluentes de industrias de papel y celulosa, textiles y de alimentos generan residuos que contienen carbohidratos (oligosacáridos, polisacáridos, etc.), lípidos, grasas y aceites dando una conversión anaerobia.



Efluentes de industrias como: Empaquetado y procesamiento de carne, rastros y jabón contienen generalmente grasas y aceites.

Las proteínas son compuestos que liberan aminoácidos durante su descomposición. Los aminoácidos se transforman en otros compuestos por vía anaerobia.



$\text{CO}_2 + \text{NH}_3 + \text{H}_2\text{S}$

4.4.3.1.2. Productos de la fermentación ácida.

Los compuestos intermedios que resultan de la conversión del sustrato durante la fermentación ácida son ácidos orgánicos, ácidos carboxílicos de cadena corta, por ejemplo: Los ácidos volátiles son el producto principal de la fermentación ácida, y estos ácidos volátiles proveen sustratos para las bacterias metanogénicas.

Los ácidos volátiles que comúnmente se encuentran en el tratamiento anaeróbico se presentan en la tabla 4.4.3.1.2.1.

TABLA 4.4.3.1.2.1.

ACIDOS VOLATILES QUE COMUNENTE
SE ENCUENTRAN EN TRATAMIENTOS ANAEROBIOS.

Nombre común	Fórmula
Acido Fórmico	HCOOH
Acido Acético	CH ₃ COOH
Acido Propiónico	CH ₃ CH ₂ COOH
Acido Butírico	CH ₃ (CH ₂) ₂ COOH
Acido Valérico	CH ₃ (CH ₂) ₃ COOH
Acido Isovalérico	(CH ₃) ₂ CHCH ₂ COOH
Acido Caproico	CH ₃ (CH ₂) ₄ COOH

Fuente: Malina, 1991.

La fermentación ácida se caracteriza por una caída en el pH que va de neutro a un valor de 5; sin embargo, en un sistema balanceado, la conversión subsecuente de los ácidos a metano y dióxido de carbono resulta en un pH de 6.8 a 7.4.

En esta fermentación no se aprecia una reducción de la demanda química de oxígeno (D.Q.O) o de la demanda bioquímica de oxígeno (D.B.O.).

4.4.3.1.3. El pH en la fermentación ácida.

El contenido orgánico del residuo es relativamente fijo. Hay una redistribución de los diferentes tipos de compuestos orgánicos simples y algunos pierden carbono, hidrógeno y ácido sulfhídrico, respectivamente.

No hay estabilización del material orgánico en la primera etapa.

4.4.3.1.4. Bacterias que toman parte en la fermentación ácida. Las bacterias que toman parte en el tratamiento anaerobio son facultativas, a pesar de que algunas son estrictamente anaerobias, y representan un amplio espectro de género microbianos, algunos de los cuales son:

Aerobacter, Alcalígenes, Clostridium, Escherichia, Flavobacterium, Lactobacilos, Micrococos, Pseudomonas y Streptococos.

Los "formadores de ácidos" toleran cambios en el pH y en la temperatura, y crecen a una mayor velocidad que las bacterias metanogénicas.

4.4.3.2. Fermentación metanogénica.

Los ácidos orgánicos se transforman en metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2) durante la fermentación metanogénica se produce una marcada reducción en la cantidad de material orgánico (D.B.O y D.Q.O) en el sistema.

Es en el segundo estado que se verifica estabilización del material oxidable. La producción de metano (CH_4) es proporcional a la cantidad de la materia orgánica estabilizada. La formación del metano (CH_4) la realizan exclusivamente bacterias metanogénicas. Sin embargo, cada una de las especies es capaz de transformar únicamente un pequeño grupo de compuestos simples en metano, por lo que un número diferente de especies de metanógenos podría

ser util para la estabilización de algunos compuestos de forma anaerobia.

4.4.3.2.1. Pasos de la degradación metanogénica.

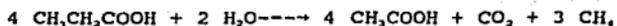
El principal compuesto orgánico utilizado por las bacterias metanogénicas es el ácido acético, aunque algunos organismos puedan utilizar todos los ácidos volátiles.

Pasos de degradación.



El ácido propiónico por otro lado requiere una degradación mayor.

Paso I



Paso II



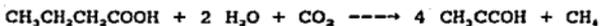
En total.



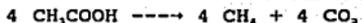
Dos diferentes especies de bacterias se utilizan para la fermentación completa del ácido propiónico.

El ácido butírico se descompone en forma similar a través de una serie de pasos.

Paso I



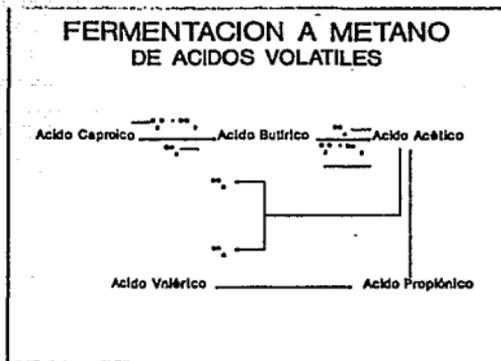
Paso II



En total.

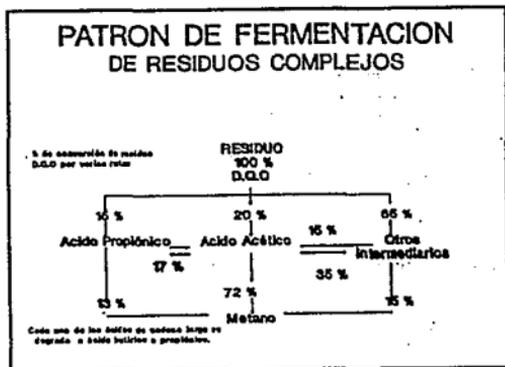


Figura 4.4.3.2.1.



Fuente: Malina, 1991.

Figura 4.4.3.2.2.



Fuente: Malina, 1991.

4.4.3.2.2. Características distintivas de la fermentación metanogénica.

La producción de metano se da en un intervalo de dos hasta más de veinte días.

Temperaturas mayores de 40°C y menores de 50°C inhiben la fermentación a metano.

El pH debe encontrarse en un intervalo de 6.4 a 7.2, a pesar de que se han reportado valores entre 1.2 a 7.8. Arriba de pH 8 y abajo de pH 6 el crecimiento decrece rápidamente.

La demanda última de oxígeno del residuo será tratada igual que la demanda última del metano producido.

4.4.3.2.3. Producción de metano.

La cantidad de metano producido a partir de un residuo en particular, puede predecirse por el grado de estabilización que se obtiene.

La producción de metano se expresa en términos de oxígeno equivalente:



Una mol de metano es equivalente a dos de oxígeno. Por cada 16 g de metano producido y liberado del sistema, 64 g de oxígeno equivalente (D.Q.O o D.B.O última) se remueven de los residuos.

En términos de metano producido 5.64 ft³ de gas (Presión de 1 atm y Temperatura de 25°C) se obtienen por libra de D.Q.O o D.B.O última estabilizada.

4.4.4. Toxicidad en el tratamiento anaerobio.

4.4.4.1. Efecto de los cationes en el tratamiento anaeróbico.

La concentración de cationes afecta la velocidad de reacción de algunos organismos.

La presencia de algunas sales tiene un efecto estimulante en concentraciones bajas, pero al aumentar la cantidad llega a inhibir el proceso.

TABLA 4.4.4.1.1.

EFFECTO DE ALGUNOS CATIONES SOBRE LA ACTIVIDAD BIOLÓGICA ANAEROBIA.

CATION	Concentración Estimulante	Concentración Moderada	Concentración Fuertemente Inhibitoria
Ca ⁺⁺	100-200 mg/L	2,500-4,500 mg/L	8,000 mg/L
Mg ⁺⁺	75-150 mg/L	1,000-1,500 mg/L	3,000 mg/L
K ⁺	200-400 mg/L	2,500-4,500 mg/L	12,000 mg/L
Na ⁺	100-200 mg/L	3,500-5,500 mg/L	8,000 mg/L

Fuente: Gloyna, 1991.

4.4.4.2. Efecto del amoníaco.

El amoníaco es esencial como fuente de nitrógeno en residuos que adolecen de este elemento el cual se libera en la degradación anaerobia de sustratos orgánicos nitrogenados.

Los efectos del nitrógeno amoniacal sobre los sistemas anaeróbios son similares a los que presentan los cationes de la tabla anterior. Concentraciones de 1,250 mg/ L en exceso de amoníaco en cargas orgánicas altas resultan en perjuicio del sistema, sin embargo en cargas orgánicas bajas, concentraciones de 5,000 mg/ L son tolerables.

El Ph influye en los efectos del amoníaco, desde el equilibrio entre el ión amonio y el amoníaco.

El amoníaco libre es tóxico al sistema, y se favorece su formación a valores altos de Ph.

Cuadro 4.4.4.2.1.

EFFECTOS DEL AMONIACO EN LA ACTIVIDAD BIOLOGICA.

Efectos	Concentración (mg/ L)
Efecto Benéfico	50-200
Efectos no adversos	200-1,000
Inhibitorio a Ph alto	1,500-3,000
Tóxico	> 3,000

Fuente: Malina, 1991.

4.4.4.3. Efecto de los sulfuros.

Los sulfuros son tóxicos a las bacterias del sistema en concentraciones de 200 mg/ L en exceso, a un pH neutro o cercano. Sin embargo, a concentraciones entre 50 a 100 mg/ L, los sulfuros se toleran. La introducción de este ión al sistema es por ser parte del residuo, o bien por la degradación de proteínas que contienen azúfre o se producen por la reducción de sulfatos.

Parte de los sulfuros dejan al sistema como gas de ácido sulfhídrico, mientras que una porción de sulfuros se precipita como sales de metales pesados que se encuentran presentes. Sin embargo una porción de iones permanecen disueltos como ácidos débiles que se ionizan dependiendo del pH de la solución. Los sulfuros disueltos tienen un efecto de envenenamiento sobre la población bacteriana.

4.4.4.4. Efecto de los metales pesados.

Los metales pesados tienen un efecto tóxico sobre las bacterias de tratamiento anaeróbico. El cromo hexavalente ejerce un efecto de envenenamiento, pero se reduce en condiciones anaeróbicas a cromo trivalente que es insoluble para los valores de pH de sistemas anaeróbicos, por lo que su toxicidad no es muy fuerte.

A bajas concentraciones los metales que producen un efecto adverso son el cobre, el zinc y el níquel. El hierro y el

aluminio son insolubles para valores de pH de operación del sistema por lo que no son tóxicos.

La concentración de metales pesados como cobre, zinc y níquel son tolerados en el sistemas anaeróbios dependiendo de los sulfuros contenidos en el ambiente. A pesar de que los sulfuros disueltos son por sí mismos tóxicos en el sistema anaeróbico, el anión reacciona con los metales pesados para precipitar en sales insolubles.

Aproximadamente del 0.8 a 2.9 mg/ L de metales pesados se precipitan como sulfuros por 1 mg/ L de ión sulfuro.

Cuadro 4.4.4.4.1. PRECIPITACION DE SULFUROS DE METALES PESADOS.

Sulfuro.	Concentración de metales pesados precipitados (mg/ L).
S^{-2} 1 mg/ L	1.8 -2
Na_2S 1 mg/ L	0.75-0.84
$Na_2S \cdot 9H_2O$ 1 mg/ L	0.24-0.27

Fuente: Malina, 1991.

4.4.5. Causa de sistemas anaeróbios no balanceados.

El sistema anaeróbico puede desbalancearse por varias causas, por ejemplo: Una operación a menos de la capacidad y la causa:

- a) Cambio repentino en las condiciones del medio y/o
- b) Introducción de sustancias tóxicas al sistema.

Los parámetros que pueden afectar son:

- a) Incremento en el contenido de gas CO_2 producido y corresponde a un decremento en el contenido de metano (CH_4).
- b) Un decremento en la cantidad total de metano producido diario.
- c) Incremento en la concentración de ácidos volátiles en el sistema.
- d) Decremento en el pH.
- e) Decremento en la eficiencia de la estabilización del residuo. Cambio repentinos de temperatura, carga orgánica y de composición del residuo.

4.4.5.1. Control de sistemas anaeróbios no balanceados.

El remedio a este desbalanceo, es proveer suficiente tiempo a la población bacteriana para ajustarse al nuevo medio. El control del pH cerca del valor neutro ayuda a los microorganismos a adaptarse rápidamente.

Un desequilibrio prolongado se produce por materiales que son tóxicos a las bacterias metanogénicas y/o al cambio en el pH por la falta de control.

La variación de pH repercute en la degradación total de ácidos y se controla con adición de cal al sistema, dando suficiente tiempo para estabilizarse. La carga orgánica excesiva o el material tóxico al sistema se retira antes de incorporarlo al tratamiento, agregándolo hasta que se produzca estabilización del material a procesar.

4.4.6. Riesgos y medidas de seguridad en el manejo de los gases de los lodos.

4.4.6.1. Riesgos de exposición y manejo de biogás.

Los gases de los lodos contienen ácido sulfhídrico (H_2S).

El ácido sulfhídrico (H_2S) en el gas produce asfixia por falta de oxígeno, es inflamable y altamente explosivo cuando se mezcla con el aire.

Los gases a veces son inodoros y difíciles de percibir. Sin embargo la presencia de H_2S , hace que se detecte el biogás por el olor característico en concentraciones hasta de 0.001 %. En concentraciones altas, el sentido del olfato se satura, y resulta fatal exponerse a concentraciones del 0.1 %.

El H₂S es corrosivo para los metales, y se presenta en el biogás cargado con humedad.

Si su contenido en el gas es superior a 0.25 - 1 %, se toman medidas para extraerlo por medio de lavado.

Los gases de los lodos son violentamente explosivos en proporción de 1:10 o 1:15 con aire. El metano es más ligero que el aire y el H₂S es más pesado, por lo que se deben instalar sistemas de ventilación de tiro natural o forzado, en espacios superiores e inferiores para evitar la acumulación de gases.

4.4.6.2. Medidas de seguridad para el manejo de biogás.

En una planta donde se digieren lodos se deben seguir lineamientos de seguridad, para evitar accidentes.

a) En un lugar donde se encuentren lodos en digestión se debe evitar:

Fumar, producir chispas o llama al descubierto en espacios donde sea probable que se acumulen gases a causa de rupturas o por lodos digeridos al descubierto.

b) Revisión de trampas de condensados y contar con un plan regular de drenaje.

c) Revisión de dispositivos de seguridad, como escapes de alta presión, interruptores de baja presión o alarmas propias para

situaciones, procurando que no haya condiciones que los hagan funcionar.

d) Vigilar el funcionamiento de los manómetros.

e) Revisión periódica de las trampas antirretorno de llama, con las instrucciones del fabricante, para cerciorarse que no estén ocluidas.

f) En lugares peligrosos donde existan líneas a prueba de explosión y accesorios eléctricos, vigilar que se mantenga la protección, reemplazando enchufes y cubiertas protectoras cuando sea necesario.

g) Probar la explosividad para saber si hay mezclas peligrosas.

4.4.7. Digestores anaeróbios.

4.4.7.1. Tipos de digestores para lodos.

Unidades digestoras que forman parte del tanque de sedimentación, como sucede en los tanques sépticos y los de doble acción.

En los primeros, los lodos están en contacto con las aguas negras en sedimentación, mientras que en los otros las dos funciones se llevan a cabo en compartimientos separados.

Tanques separados que se usan exclusivamente para la digestión y pueden ser:

Cubiertos o descubiertos.

Tanque descubierto: Los gases escapan directamente a la atmósfera.

Tanque cubierto: El gas se recoge y sirve como combustible para motores de gas o calefacción. Las cubiertas pueden ser estacionarias o fijas, o bien, flotantes subiendo o bajando de acuerdo con el nivel de los lodos y gases que se acumulen.

Con o sin calentamiento.

Con o sin agitadores o dispositivos de mezclado.

Digestores de dos etapas.

La digestión en dos etapas requiere de dos compartimientos o de dos tanques y separa el período inicial de digestión violenta, del período final más lento. En el digestor primario, los lodos crudos que entran se mezclan bien mediante agitadores mecánicos o por recirculación si fuera necesario. A pesar de que la agitación es normal que ocurra separación de lodos, depositándose el material más pesado en el fondo del tanque.

El proceso de digestión se completa en el tanque secundario, donde la producción de gases es menor, por lo que es menos el mezclado obteniendo un sobrenadante más claro que el obtenido en una sola etapa.

4.4.8. Variables de control en los digestores.

4.4.8.1. Temperatura.

Se ha comprobado que la digestión de los lodos tiene lugar casi a cualquier temperatura, pero el tiempo que tarda en completar la digestión varía.

Las variaciones bruscas afectan la digestión.

A temperaturas de 12 °C a 13 °C se completa en un 90 % en 55 días, y que aumentando la temperatura el tiempo disminuye.

El mezclado eficiente de los lodos espesados influye en la disminución del tiempo de digestión.

La digestión que se lleva a cabo en el ámbito de temperaturas de 27°C y 38°C, se llama mesofílica.

Los organismos que degradan la materia orgánica a temperaturas superiores de 38°C se les conoce como "termofílicos".

Comúnmente la temperatura a la que trabajan los digestores está entre 30°C y 35°C, pero independientemente de la elección de la temperatura, ésta debe mantenerse entre límites estrechos de uno a dos grados centígrados.

La producción de gases aumenta conforme se eleva la temperatura.

4.4.8.1.1. Control de la temperatura.

En el digestor se debe mantener la temperatura dentro de un intervalo de 1°C a 2°C de la seleccionada, la cual se fija entre 30°C y 35°C. Cuando el digestor tiene serpentines de calentamiento, el agua que circule por ellos de estar lo suficientemente caliente para mantener las temperaturas pero sin exceder de 54°C y 55°C, pues a temperaturas de 60°C o superiores, los lodos se pegan formando una capa aislante que disminuye la transferencia de calor.

4.4.8.1.2. Medios de calentamiento.

a) Una razón importante para calentar los tanques de digestión, es el costo adicional que representa construir un lugar de almacenamiento para conservar los lodos por un largo período de digestión.

b) Agua caliente a 50°C, a través de tubería o serpentines fijados interiormente en las paredes del tanque.

c) Circulación de lodos mezclados del tanque de digestión, o de lodos "crudos", por un intercambiador de calor fuera del tanque.

d) Combustión de los gases de los lodos en un calentador sumergido.

e) Inyección de vapor en el fondo del tanque.

f) Introducción de agua caliente o vapor a los lodos "crudos" antes de que entren en el tanque.

g) En los digestores con calentamiento una falla en el mantenimiento de la temperatura uniforme de digestión, dentro del ámbito adecuado, trastorna el proceso.

4.4.8.2. Control del pH.

El valor óptimo del pH de los lodos en un digestor, es muy cercano al valor neutro de 7.0, estando generalmente en el ámbito de 6.8 a 7.4, siendo muy comunes los valores de 7.0 y 7.2.

Los organismos pueden desarrollar sus funciones en éste intervalo de Ph. Generalmente, en un digestor bien diseñado y operado, es posible mantener un equilibrio entre los sólidos frescos y los que están en digestión, de manera que la reacción permanece dentro de los límites favorables, neutralizando ácidos de la

primera etapa por producción alcalina de la segunda etapa y la tercera etapa actuará como amortiguador para cualquier cambio de Ph.

La reacción de los lodos debe mantenerse cercana a la neutralidad, entre un Ph de 6.8 a 7.4. Algunos afirman que el agregar cal neutraliza los lodos demasiado ácidos, por otra parte se afirma que el agregar cal resulta inoperante en un digestor.

En condiciones normales esta condición se evita o corrige controlando la alimentación de lodos frescos.

4.4.8.3. Mezclado y siembra.

4.4.8.3.1. Siembra.

Al iniciar la operación de una unidad digestora, se pueden lograr los resultados más rápidos poniendo al principio algo de lodos digeridos, si se pueden obtener de otro digestor, o bien de otra planta cercana. Así se inician todas las etapas de degradación. Se suministra una cantidad adecuada de organismos de la segunda y tercera etapas, que consuman los productos finales de la primera etapa y así la unidad "madurará" en menos tiempo.

Normalizada la operación, la siembra de sólidos frescos agregados al digestor y mezclados con los lodos de la digestión mejora la velocidad de degradación.

4.4.8.3.2. Propósitos del mezclado.

Mezclar los lodos de digestión activa con sólidos frescos.

Evitar la formación de espuma.

Mejorar la transmisión de calor de los dispositivos para calentar lodos.

4.4.8.3.3. Métodos empleados en el mezclado.

Para mejorar el mezclado existen métodos como:

Agitación con paletas rotatorias y brazos cortaespumas.

Circulación forzada de los lodos y/o sobrenadante, por medio de bombas o tiros forzados con impulsores.

Descarga de los gases de los lodos comprimidos, mediante difusores en el fondo del tanque de digestión.

4.4.8.3.4. Características del mezclado.

Este puede ser continuo o intermitente.

El mezclado intermitente permite la separación y eliminación del sobrenadante en un solo digester.

El mezclado continuo requiere de un segundo tanque de digestión o almacenamiento, al cual pueden trasladarse los lodos en digestión para dejar sitio a los lodos frescos en el primer

tanque y hacer posible la separación y remoción del sobrenadante en el segundo tanque.

4.4.8.3.5. Agitación.

Cuando pueda disponer de dispositivos para agitación, estos se deben usar en intervalos lo bastante frecuente para garantizar la siembra adecuada de sólidos frescos con los lodos en etapas avanzadas de digestión, lo que provocará que esta sea más rápida y uniforme.

Impide la formación de espuma y disminuye las posibilidades de que se presenten dificultades por tal causa.

4.4.8.3.6. Suministro de alimentos.

Si se agregan demasiados lodos a un digestor, predomina la etapa de degradación ácida, a tal grado que el medio se vuelve desfavorable para los organismos que llevan a cabo la segunda y tercera etapa de la digestión, y se dice que hay una sobrecarga en el equipo.

Agregar sólidos frescos en grandes volúmenes a intervalos grandes o descargar demasiados lodos digeridos de una vez, ocasiona una descarga pasajera.

Los organismos de un digestor son más eficientes cuando se les suministra su alimentación en volúmenes cortos a intervalos

frecuentes. Razón por la que se bombean sólidos frescos de los lodos, al digestor, con la mayor frecuencia posible de acuerdo con los medios que se disponga, concordando esto con el plan de descarga de lodos de las unidades de sedimentación, antes de que se vuelvan sépticos en ellas.

4.4.9. Procedimiento para el control en tanques de digestión de lodos separados.

No es posible lograr un control absoluto sobre los problemas que surjan en la operación de unidades digestoras.

Sin embargo se mencionan algunos como:

4.4.9.1. Bombeo de los lodos.

Los lodos se extraen de las unidades de sedimentación, antes de que se vuelvan sépticos, y deben estar lo mas espeso posible para manejarse a través de bombas y tubería. Un lodo diluido contiene agua innecesaria que ocupa espacio y que además hay que calentar. Los lodos se agregan al digestor en intervalos frecuentes cuando menos dos veces al día o más si es posible.

Adiciones cortas en intervalos frecuentes garantizan un abastecimiento alimenticio constante para los organismos y una velocidad de digestión más uniforme.

Los digestores de cubierta fija, deben alimentarse lentamente para que sean mínimos los disturbios en el sobrenadante el cual se debe descargar del digestor al mismo tiempo que se agrega el lodo.

En los digestores de cubierta flotante, el sobrenadante se descarga del digestor al mismo tiempo que se agrega el lodo, los sólidos frescos que se agreguen (base seca) diariamente no deben exceder del 5 % del total de sólidos (base seca) que exista en el digestor.

4.4.9.2. Selección de equipo de bombeo.

La selección de bombas depende del tamaño de la planta, la economía y el mantenimiento. Se usan por ejemplo: Bombas de émbolo, de diafragma, centrífugas y centrífugas modificadas. También trampas de aire, eyectores y bombas rotativas de desplazamiento positivo para lodos espesos.

Cuando se verifica la digestión en dos etapas con un digestor primario de cubierta fija, normalmente al bombear los lodos crudos al digestor secundario, como se hace en el reactor simple.

Si el digestor primario tiende a perder su equilibrio y baja el Ph, pueden bombearse lodos del fondo del reactor secundario al primario para proveerlo de semilla adicional que mantenga alcalina la digestión.

El sobrenadante debe transferirse al mismo tiempo del digestor primario al secundario. Normalmente la temperatura en el reactor secundario fluctúa entre 3 °C y 6 °C debajo de la del primario con objeto de que haya una mejor separación del sobrenadante.

Si no existe digestión completa se debe aumentar la temperatura entre 32°C y 35°C. Cuando la digestión se verifica en dos etapas con un digestor primario de cubierta flotante, éste opera igual que el de cubierta fija, con descarga automática del sobrenadante o lodos ligeros, a través de la línea de rebose. En forma alternativa la descarga se hace cada dos o tres días.

En otros aspectos la operación es similar a la del digestor primario de cubierta fija.

4.4.10. Descarga del sobrenadante.

Es el líquido del digestor que queda sobre los lodos sólidos. Es el licor que se ha separado de los sólidos de los lodos.

Aunque este pueda contener pocos sólidos suspendidos, su contenido en materia orgánica disuelta es muy alto y esta descompone rápidamente produciendo olores molestos, por lo que el sobrenadante se sujeta a un tratamiento antes de su disposición, se descarga del digestor para disminuir el volumen, concentrando el contenido de sólidos y dejando espacio para ocuparse por los sólidos frescos que se agreguen.

El sobrenadante se descarga al mismo tiempo y a la misma velocidad que se van agregando los lodos crudos, razón por la cual se

deben bombear en intervalos frecuentes y durante períodos cortos, previniéndose la descarga de grandes volúmenes de sobrenadante en un período corto de tiempo.

Lo importante es mantener limpia la salida del sobrenadante. Si se obstruye, la adición de lodos frescos aumenta la presión interna hasta el punto, que la cubierta se levante o se rompa.

Para los digestores de cubierta flotante, la seguridad de la cubierta no es un factor importante, y es posible descargar el sobrenadante lentamente durante un período largo de tiempo.

Cuando los lodos se agiten por recirculación o algún medio mecánico, es conveniente que haya un período de reposo de algunas horas antes de descargar el sobrenadante, para dejar que este se separe del contenido del digestor.

Se emplean diversos métodos para disposición del sobrenadante, por ejemplo: Agregarlo al influente de los tanques de sedimentación primaria, aunque existe el peligro de que el tanque se vuelva séptico.

Cuando las unidades secundaria y primaria de tratamiento no sean capaces de soportar esta sobrecarga sin detrimento, se recurre a los lechos de lodos, o lagunas. Aún en estos casos se acostumbra regresar el sobrenadante clarificado al proceso.

En el caso de las lagunas, estas generan malos olores por lo que se debe estudiar bien cual va a ser el lugar de su ubicación.

En algunas plantas se ha encontrado ventajoso, regresar el sobrenadante al influente de un tanque de aireación de lodos activados o de un percolador.

4.4.11. Descarga de lodos digeridos.

El tipo de digester, el tratamiento posterior de los lodos, la época del año, y la necesidad de espacio de almacenamiento para los lodos crudos son factores que determinan la descarga.

Es importante dejar lodos digeridos para sembrar lodos "crudos" y mantener la digestión balanceada y con reacción casi neutra.

Los digestores provistos de calentamiento, siempre dejan la misma cantidad de lodos digeridos independientemente de la época del año. En los digestores sin calentamiento se retiene el doble de la cantidad de lodos digeridos, que la normal, a medida que se acerca la temporada invernal. Se dejan 120 cm de altura de lodos digeridos, sobre el nivel de la tolva de descarga.

La descarga de cantidades adecuadas en intervalos regulares es mejor que grandes descargas, por que se llega a sobrecargar el digester y esto agrava el problema de descompensando el equilibrio de la reacción.

Los lodos se deben descargar bien digeridos, un lodo mal digerido se distingue por no tener una uniformidad en el color.

Para los digestores cubiertos se debe tener cuidado de que no entre aire en la descarga o de ejercer presión negativa en la descarga de lodos. Esto se logra agregando lodos crudos, agua residual, gases a un tanque auxiliar, al mismo tiempo que se estén descargando los lodos del tanque de digestión. El aire produce una mezcla explosiva con el biogás, por tal motivo es de capital importancia impedir que se desarrolle una presión hidrostática excesiva, bajo una cubierta fija. El sistema más usual consiste en tener una línea de rebose, sin válvulas, que debe mantenerse libre en todo momento.

4.4.12. Ventajas y Desventajas de Procesos Anaeróbios de Estabilización. (Malina, 1991).

4.4.12.1. Ventajas.

Requiere menos energía.

Produce menos biomasa.

Requiere menor cantidad de nutrientes.

La energía puede recuperarse.

Los sulfuros de metales pesados se precipitan en un ambiente reductor a un pH neutro.

4.4.12.2. Desventajas.

Los metanógenos crecen muy lento (Generación de 2-30 días).

Los metanógenos son sensibles a cambios en la temperatura y en el Ph.

Cambios en la composición del residuo.

4.4.13. Resumen del Mecanismo de Degradación. (Gloyna, 1991)

Materia Orgánica Compleja.

Hidrólisis.

Monómeros orgánicos solubles, azúcares, lípidos y proteínas.

Fermentación.

Ácidos grasos de cadena corta, alcoholes, ácidos orgánicos.

Acetogénesis.

Ácido acético, ácido fórmico, hidrógeno y dióxido de carbono.

Metanogénesis.

Metano, dióxido de carbono, trazas de nitrógeno, ácido sulfhídrico y monóxido de carbono.

4.5. DIGESTION AEROBIA.

4.5.1. Proceso de Lodos Activados.

El proceso de los lodos activados es el tratamiento biológico de más amplio uso para el tratamiento de aguas residuales industriales.

4.5.1.1. Pasos de degradación aerobia.

El principio básico consiste en poner en contacto una población microbiana mixta con el efluente industrial en un sistema airado y agitado. La materia en suspensión y la coloidal se elimina de las aguas residuales por adsorción y aglomeración en los flóculos microbianos. Esta materia y los nutrientes disueltos se descomponen más lentamente por metabolismo microbiano, a esto se le conoce como proceso de "estabilización". Parte del material se oxida a sustancias más simples como anhídrido carbónico, en un proceso denominado "mineralización", y parte se convierte en una materia nueva celular microbiana, llamada "asimilación".

La masa microbiana se descompone también de la misma manera, mediante un proceso llamado "respiración endógena".

El proceso oxidativo suministra la energía para los procesos de adsorción y asimilación. Una vez que se alcanza el grado de tratamiento que se desea, la masa microbiana floculenta conocida como el "lodo", se separa del agua residual por asentamiento, por lo general, en un recipiente separado, especialmente diseñado,

para dar lugar a una "clarificación", "asentamiento" o "sedimentación".

4.5.1.2. Descarga de lodos de desecho.

El sobrenadante de la etapa de separación resulta entonces el agua residual tratada y libre de lodos.

La mayor parte del lodo asentado en la etapa de separación se regresa a la etapa de aeración para mantener la concentración de los lodos en el tanque de aeración al nivel necesario para un tratamiento efectivo y para que actúe como un inóculo microbiano, y el resto se extrae para su descarga, y se conoce como "lodos activados desechados o excedentes".

En un sistema balanceado, el lodo desechado representa la cantidad neta de masa producida por asimilación en la etapa de aeración y es "concentrado de contaminación" del sistema.

4.5.1.3. Características de los lodos.

La naturaleza floculenta de los lodos activados resulta importante, en primer lugar para la absorción de materias coloidales, iónicas y en suspensión dentro del agua residual, y en segundo lugar para la separación rápida, eficiente y económica de la masa microbiana del agua residual tratada. Se usan en el tratamiento microorganismos no floculentos y dispersos.

4.5.1.4. Lodos primarios.

En tratamiento de efluentes, el producto sólido del clarificador primario se conoce como "lodo primario" y es un producto que no se debe confundir con los lodos activados, a pesar de que para un tratamiento y disposición adicionales, se puede mezclar con el lodo activado de desecho. El agua residual pasa entonces a la etapa de aeración, de manera que el proceso de los lodos activados se le llama "tratamiento secundario". No obstante, ciertas versiones se usan sin una etapa primaria de tratamiento.

4.5.1.5. Procedimiento de siembra.

Un agua residual aereada que contenga nutrientes orgánicos tiende a desarrollar un lodo procedente de los microorganismos ya presentes en ella, o que han entrado de la atmósfera.

El proceso se acelera por una siembra con una población microbiana, como los lodos procedentes de otro proceso, tierras, o en el caso de un desecho industrial que contenga nutrientes fuera de lo común, un cultivo especialmente desarrollado en el laboratorio o una planta piloto.

4.5.1.6. Proceso global de aereación.

El proceso global consiste:

En la remoción y descomposición de materiales más que su producción.

Disminución de la población microbiana en los lodos, siendo que se encuentra moribunda en su mayor parte, con solo una pequeña proporción capaz de reproducirse.

La concentración de nutrientes en las aguas residuales es por lo general mucho más baja que en los de crecimiento de la fermentación, y más cercana al límite de crecimiento o nivel de inanición.

4.5.1.7. Relación entre los costos y los nutrientes asociados al proceso de aereación.

Una planta que opere en condiciones favorables para el crecimiento microbiano, eliminará nutrientes de una manera efectiva, precipitándolos en forma de biomasa, representando una mayor proporción de los costos asociados con la separación y disposición de los lodos.

Las condiciones que favorecen la descompensación oxidativa, implican costos más bajos del manejo de los lodos, pero costos de aeración más altos. Generalmente el alto costo del tratamiento y disposición de los lodos, favorece la operación de las plantas que tienen una baja producción de lodos.

La naturaleza moribunda de los lodos activados significa que la remoción de nutrientes no es un proceso asociado al crecimiento.

Sólo una pequeña proporción de los microorganismos presentes en los lodos es viable y genera nueva masa microbiana. Un considerable número de los organismos no se reproduce, pero conserva aunque en menor medida su actividad bioquímica, utilizando nutrientes para proporcionar energía de mantenimiento (Pirt, 1975; Jones, 1975). La naturaleza floculenta de los lodos activados está asociada con esta condición moribunda.

4.5.1.8. Balance de nutrientes en el proceso de aereación.

La concentración de los nutrientes en las aguas residuales es muy baja, comparada con la concentración usada en los medios de crecimiento de la fermentación.

En la etapa de aeración, cuando la mayoría de los nutrientes ya se removieron, el nivel nutritivo de los microorganismos está cerca de la inanición. Las aguas residuales industriales contienen un margen limitado de sustancias y es probable que haya un balance nutritivo inapropiado para el metabolismo microbiano, y sea necesario añadir nutrientes suplementarios a las aguas residuales.

El balance de nutrientes se cita en relación con el contenido de materiales carbonáceos degradables, expresado como D.B.O, y para una operación convencional, el balance de nutrientes de 0.03 a 0.06 kg de nitrógeno por Kg de D.B.O y de 0.007 a 0.01 Kg de fósforo (como fosfato) por Kg de D.B.O.

En un sistema que opere de manera tal que una proporción alta de carga de nutrientes sea asimilada a la biomasa, que sea mineralizada, será más alta la tasa suplementaria de nutrientes. Se puede obtener el balance nutritivo mezclando aguas residuales industriales con residuos domésticos, para un tratamiento combinado.

4.5.1.9. Características esenciales del proceso de lodos activados.

Las características esenciales del proceso de lodos activados son una etapa de aeración, una etapa de separación y un sistema de reciclaje de los lodos.

4.5.1.10. Sistemas de aereación.

Los sistemas de aeración disponibles para usar en la etapa de aeración, se pueden dividir de un modo general en sistemas de aeración con burbujas, o con "difusores", o sistemas mecánicos de aeración, por lo general aeradores superficiales, con impulsores con aspersion, o sistemas "combinados" que contengan elementos de ambos.

4.5.1.11. Operación de un sistema de lodos activados.

El modo de operación es continuo, a pesar de que hay un modo de semidosificación, conocido como operación de "extracción y rellenado", que se usa algunas veces.

4.5.1.12. Mezcla de un sistema de lodos activados.

4.5.1.12.1. Mezcla en flujo pistón.

El mezclado en un flujo pistón puede llegar a ser completo, a pesar de que las condiciones rara vez se alcanzan en la práctica. Un sistema de "alimentación escalonada" contiene características de régimen de mezcla completa y de flujo pistón.

El proceso opera de acuerdo con un nivel de carga específico de la planta, expresado en términos de unos cuantos parámetros clave.

4.5.1.13. Parámetros de operación.

4.5.1.13.1. D.B.O como parámetro de operación en un sistema aeróbico.

El contenido o concentración de los nutrientes orgánicos se expresa en términos de la demanda de oxígeno. Cuando se determina D.B.O⁵ de 5 días, indica solo una parte del total de material biodegradable presente.

Para desechos orgánicos nutritivamente balanceados, el valor D.B.O "última" o de 20 días, es aproximadamente 50 % mayor que el valor de 5 días.

Para ciertos residuos industriales que contienen materias que, aunque biodegradables, se descomponen lentamente, la toma última de oxígeno puede ser el doble del valor indicado por el valor de la prueba de D.B.O.

La demanda de oxígeno debida a los materiales nitrogenados puede que ni siquiera se note en la prueba de 5 días.

Los valores de la demanda de oxígeno químicamente determinados tenderán a presentar una imagen deformada del funcionamiento de la planta, dado que no toman en cuenta las propiedades degradables del contenido orgánico.

Una planta puede reducir D.B.O a un nivel aceptable, aunque la D.Q.O residual o el nivel VP (valor de permanganato) continúen siendo altos. Para residuos especiales, se pueden desarrollar correlaciones entre la D.B.O y los valores determinados de la demanda de oxígeno.

4.5.1.13.2. Concentración de los lodos.

Se pueden expresar de maneras diferentes, sin refinamiento, como una concentración de sólidos en suspensión, de modo que la concentración en el tanque de aeración en términos del valor de los "sólidos suspendidos en el licor mezclado" (S.S.L.M.).

Sin embargo algunos sólidos en suspensión pueden ser inorgánicos y un parámetro más usual es el contenido del material combustible

presente, conocido como los "sólidos volátiles suspendidos", (S.V.S), como una indicación de la concentración microbiana.

La concentración de los lodos en la etapa de aeración se expresa entonces como "sólidos volátiles suspendidos en el licor mezclado" (S.L.S.V.M). Esto indica la cantidad de materia orgánica presente, sin establecer distinción entre el material bioquímicamente activo y el constituyente inerte presente en los lodos.

La proporción de S.V.S debida a los microorganismos activos depende de las condiciones de operación de la planta y la cantidad de estos en el agua residual del influente.

Los valores más altos de S.V.S.L.M están limitados por la capacidad de la etapa de sedimentación, pero son valores típicos de operación de 2 a 3 Kg de los lodos por m³ (peso seco).

4.5.1.13.3. Tiempo de residencia de los lodos (T.R.L)

Se define como cantidad total de sólidos en lodos del sistema, dividida por la masa de pérdida de sólidos en los lodos del sistema.

Debe tener en cuenta los sólidos en los lodos en la alimentación, en la etapa de separación y en la tubería asociada así como en la etapa de aeración, y la tasa de pérdida que incluye los sólidos en los lodos arrastrados por el efluente tratado, así como los que se encuentran en la corriente de los lodos de desecho.

Una aproximación usual es la de considerar solamente los sólidos en los lodos en el tanque de aeración y en la corriente de los lodos de desecho. En tal caso t_s (tiempo de residencia de los lodos) está dado por:

$$t_s = (V_a \cdot X) / (Q_w \cdot X_w)$$

donde V_a es el volumen del líquido en la etapa de aeración (m^3), X son los S.V.S.L.M (g/m^3), Q_w es la tasa de desecho de los lodos ($m^3/día$) y X_w son los S.V.S en la corriente de los lodos de desecho (g/m^3), de manera que t_s se expresa en días.

Si se supone constante la proporción de células microbianas en los S.V.S, se puede hacer entonces referencia al T.R.L como el "tiempo de residencia de las células" o "edad de los lodos".

En un sistema balanceado donde la cantidad de lodos se puede considerar constante durante cierto tiempo, la porción de lodos desechada es proporcional a la producción neta de lodos.

El T.R.L es el recíproco de la tasa neta de crecimiento específico de los lodos y es una medida de su actividad, por lo que se considera el significado del T.R.L como un parámetro operacional que permite controlar la actividad de los lodos.

4.5.1.13.4. Nivel de carga de la planta.

La carga de la planta se expresa como la cantidad de la demanda de oxígeno por unidad de tiempo.

El más significativo de estos parámetros es el "factor de carga de los lodos" o "relación de alimento a los microorganismos" (Relación A/M), donde la carga orgánica está relacionada con la cantidad de lodos en la etapa de aereación. Esto se considera con la energía del sistema disponible para los microorganismos en los lodos, y por tanto, intervendrá en la determinación de la actividad de los lodos.

Si el influente en la etapa de aereación tiene una D.B.O de S_o (g/m³) y una tasa de flujo de Q_i (m³/día), la tasa de carga de nutrientes orgánicos es $S_o.Q_i$ g/día y el factor de carga de lodos f_m , está dada por:

$$f_m = S_o.Q_i/V_a.X \text{ (g D.B.O/ g de sólidos en los lodos-día) (4.1)}$$

4.5.1.13.4.1. Relación de alimentos a los microorganismos.

La relación de alimentos a los microorganismos interviene en la determinación de la actividad de los lodos, debe relacionarse con el tiempo de residencia de los lodos.

Cualitativamente la actividad aumenta debido a la disponibilidad del nutriente, la tasa de lodos desechados debe aumentar, reduciendo el tiempo de residencia de los lodos.

Por lo que la relación A/M es en forma aproximada, inversamente proporcional al tiempo de residencia de los lodos, a pesar de que esto se ha objetado (Ekama y Marais, 1979).

El término "relación de alimento a los microorganismos" se usa también algunas veces para describir la tasa de remoción de nutrientes por masa unitaria de sólidos de lodos. Para distinguir los dos usos, se le conocerá como "factor de carga de proceso", fw dado por:

$$fw = Q_i(S_o - S_e) / V_a \cdot X \text{ (g D.B.O/ g de sólidos en los lodos-día)}$$

donde S_e es la concentración residual de nutrientes en el efluente del sistema.

La carga de la planta también se expresa como la tasa de carga de nutrientes orgánicos por volumen unitario del tanque de aereación. Es un parámetro que relaciona la experiencia operacional de la planta, y para un nivel básico de S.V.S.L.M se determina por el factor de carga de los lodos.

4.5.1.13.5. Tiempo de retención.

Es el tiempo promedio empleado por el líquido en la etapa de aereación, es decir, el tiempo de contacto entre los lodos y las aguas residuales.

Para un sistema continuo el volumen de la etapa de aereación divide por la tasa de flujo del líquido influente, de modo que:

$$t_r = V_a / Q_i$$

Al tiempo de retención se le llama también "período de aereación" y "tiempo de retención".

En un sistema continuo de mezcla completa, se podrán usar los términos de "tiempo de residencia" o "tiempo hidráulico de residencia".

La tasa de remoción de nutrientes en la etapa de aereación es:

$$T.R.N = (S_o - S_e) / t_r \text{ (g D.B.O/día.)}$$

En un sistema de flujo pistón, las aguas residuales influentes están diluidas por el reciclaje de la corriente de lodos, de modo que la concentración de nutrientes en el lado de la entrada, S_1 , está dado por:

$$S_1 = (Q_i \cdot S_o + S_r \cdot Q_r) / (Q_i + Q_r)$$

donde Q_r es la tasa de flujo de la corriente de reciclaje de lodos, suponiendo que el líquido de la corriente tiene la misma concentración de nutrientes que el efluente de la etapa de aereación.

A veces se usa el término de "carga hidráulica", que representa la tasa de flujo de las aguas residuales en la etapa de aereación, por volumen unitario del tanque de aereación y el recíproco del tiempo de retención (Winkler 1986).

4.5.1.14.1. Procesos a tasa alta.

En los procesos de alta tasa, la carga de lodos es alta, de manera que la T.R.L y la actividad de lodos son altas y el tiempo de retención o de contacto es corto, y el nivel de nutrientes residuales es relativamente alto.

4.5.1.14.2. Procesos a tasa baja.

En procesos a baja tasa, la carga de lodos es baja, el T.R.L es largo, con baja actividad de lodos, largos períodos de retención y bajos niveles de nutrientes residuales.

4.5.1.14.3. Respiración endógena.

Los lodos están avanzados dentro de la fase de respiración endógena, donde el decaimiento microbiano supera el crecimiento, de modo que el nivel residual de los lodos es también bajo. La operación convencional cae dentro de una región entre ambos extremos.

4.5.1.15. Procesos a diferentes niveles de carga.

Es posible obtener diferentes grados y tasas de tratamiento, usando diferentes combinaciones de los parámetros de operación.

4.5.1.15.1. Tratamiento convencional de lodos activados en efluentes diversos.

La carga de los lodos en plantas convencionales de lodos activados se encuentra en la región de 0.5 Kg de D.B.O por Kg de peso seco de sólidos en los lodos por día en un intervalo de 2 a 3 Kg/m³ en la etapa de aereación, a una carga volumétrica de planta entre 0.5 y 1.5 Kg de D.B.O por m³ del tanque de aereación por día, para efluentes industriales fácilmente biodegradables.

Las cargas para los desechos de malteo y lecherías se encuentran en el extremo inferior del intervalo. (Peacock, 1977; Anderson, 1977). Los residuos de plantas manufactureras de productos químicos especiales y farmacéuticas, que contienen sustancias fácilmente biodegradables como los alcoholes simples, carbohidratos y sales de ácidos orgánicos, se utiliza el extremo superior del intervalo de la carga. Para sustancias menos tratables, la carga de lodos usados en más o menos 0.2 Kg de D.B.O/Kg en los lodos-día (peso seco) y una carga volumétrica de aproximadamente 0.75 Kg de D.B.O/m³ (Kiff, 1977).

La producción de lodos de desecho en una operación convencional es cerca de 0.5 Kg(peso seco) por Kg de D.B.O removida, de manera que casi la mitad de la D.B.O se asimila a la biomasa y cerca de la otra mitad se mineraliza. Los lodos residuales de la etapa de sedimentación están aproximadamente dos veces mas concentrados que los lodos residuales en la etapa de aereación, por lo que contiene menos del 1 % de los sólidos secos. Una producción de 0.5 Kg/ 1g de D.B.O removida representa, por tanto, mas de 50 Kg de lodos húmedos producidos por Kg de D.B.O removida.

4.5.1.15.1.1. Tiempo de residencia de los lodos en sistemas a diferentes niveles de carga.

Los valores típicos del tiempo de residencia de los lodos se encuentran de 4 días para el extremo superior del intervalo de carga de lodos, y de hasta de 10 días o más para las cargas inferiores de lodos. Los valores más cortos de la T.R.L corresponden a una tasa específica de crecimiento de los lodos de casi 20 % por día y una generación media ("tiempo de duplicación") de 3 a 4 días. Por lo que las plantas convencionales de lodos activados operan con los lodos en la fase estacionaria de crecimiento.

La fase exacta de crecimiento depende de cual sea el intervalo que incluye parte de la carga utilizado.

El proceso convencional incluye una parte del crecimiento declinante y parte de la fase endógena, así como la fase de crecimien-

to estacionario (Jenkins, 1963). Hay autores que colocan el proceso convencional en la fase endógena (Jones, 1976).

4.5.1.15.1.2. Consumo de oxígeno asociado al crecimiento microbiano.

En lo concerniente al hecho del consumo de oxígeno refleja el desarrollo así como el metabolismo no asociado con el crecimiento, este punto de vista se apoya en la experiencia con las plantas de flujo pistón, que siguen el patrón de crecimiento por cargas y se encuentra el consumo de oxígeno es mayor en extremo de la entrada, y disminuye hacia la salida sin que pase por máximo intermedio (Imhoff, Müller y Thistlethwaite, 1971).

El requerimiento de oxígeno para la operación convencional depende de la T.R.L usada y de la temperatura de operación del sistema. Un valor típico es 1.1 Kg de oxígeno/ Kg de D.B.O para una T.R.L de 7 días o más a una temperatura de 10 a 20 °C (Benjes, 1980).

4.5.1.15.1.3. Tiempo de retención utilizado en el tratamiento convencional.

El tiempo de retención para el tratamiento convencional de las aguas negras es de 10 horas. De este tiempo, sólo se necesitan 6 horas para la adecuada remoción de la D.B.O producida por las materias carbonáceas, el tiempo adicional permite que tenga lugar la nitrificación.

Los residuos industriales intratables requieren en la mayoría de los casos tiempos de retención más largos, de hasta varios días para producir una cantidad razonable de remoción de contaminantes.

4.5.1.15.1.4. Tiempos de retención en algunos efluentes industriales.

Un licor fenólico procedente de una fábrica de resinas sintéticas usó un tiempo de retención de 75 horas para obtener una reducción del 96 % en el contenido de la materia orgánica (Cox, 1977).

En el tratamiento de licor de hornos de coque, que contienen sustancias como cianuros, tiocianatos, materiales fenólicos, se dió un tiempo de retención de 30 horas para eficiencia de remoción de 95 %, en términos de valores de permanganato, para cargas cercanas a 2 Kg Valor de Permanganato (VP)/ m³ día.

4.5.1.15.1.5. Balance de nutrientes.

El balance apropiado de nutrientes para la operación convencional es de 0.03 a 0.06 Kg de nitrógeno y 0.007 a 0.1 Kg de fósforo por Kg de D.B.O, expresado a veces como una "relación D.B.O: NP" de 100:6:1.

4.5.1.15.1.6. Remoción de D.B.O.

Como la D.B.O a 5 días refleja poca demanda nitrogenada de oxígeno, los requerimientos de oxígeno serán más altos donde el tiempo de residencia sea suficientemente largo para que se efectúe la nitrificación. En general la proporción de D.B.O removida es de 90 a 95 %.

4.5.1.16. Tratamiento a alta tasa.

4.5.1.16.1. Niveles de carga en tratamientos a alta tasa.

Los niveles de carga que se usan son varias veces más altos que los de un proceso convencional, lo que da un rápido tratamiento parcial usado como una etapa preliminar que precede un proceso de tratamiento más completo.

La carga de lodos es de 1 a 5 Kg de D.B.O/Kg de sólidos de lodos por día, con una tasa volumétrica de carga en un intervalo de 1.5 a 3.5 kg D.B.O/ m³ día. Los lodos están en una fase positiva de crecimiento, con un tiempo de residencia de los sólidos de sólo cerca de 0.5 días o menos, favoreciendo a los organismos de más rápido crecimiento presentes en los lodos, de manera que tiende a ser menos floculento que para el proceso convencional y puede causar problemas en la etapa de separación.

4.5.1.16.1.2. Consumo de oxígeno en sistemas a alta tasa.

La concentración de lodos en la etapa de aereación es en general más alta, lo que, combinado con el aumento de la actividad de los lodos, da una tasa aumentada de la remoción de la D.B.O.

El sistema de aereación usado debe ser capaz de proveer la tasa aumentada de suministro de oxígeno, y se recomienda, un nivel de tratamiento más alto para la concentración de oxígeno disuelto.

4.5.1.16.1.3. Tiempo de retención en sistemas a alta tasa.

El tiempo de retención usado es de 2 horas, lo que da una reducción de la D.B.O de 60 a 70 %, que representa un uso aumentado de la planta, pero el porcentaje de remoción decrece con el incremento de la carga.

La tasa de producción de lodos es también alta, lo que era de esperar del corto tiempo de residencia de los lodos, y la alta tasa de desechos, llega a ser de 1 Kg de sólidos de lodos/ Kg de D.B.O removida, o mas (Imhoff, 1971).

4.5.1.16.1.4. Utilización de sistemas a alta tasa.

El tratamiento a alta tasa se usa como un proceso de estabilización parcial para residuos industriales biodegradables, como

los residuos de las fabricas de alimentos y lecherías, antes de descargarlas a algún receptor o etapa de refinación del tratamiento.

4.5.1.17. Aereación con crecimiento disperso o sistemas a tasa ultra alta.

Se considera como un proceso a "tasa ultra alta", donde la carga de lodos es muy alta y se hace máximo el uso de la fase de crecimiento logarítmico microbiano. Como resultado de ello la población microbiana es virtualmente no floculante.

El licor tratado tiene un alto contenido de microorganismos aún después del asentamiento, de manera que es turbio e inapropiado para la descarga directa en una corriente de agua.

4.5.1.17.1. Características de la aereación con crecimiento disperso.

El proceso se emplea como un tratamiento preliminar antes de otra etapa convencional en la que se eliminen microorganismos y la D.B.O residual.

En segundo lugar, no se lleva a cabo la remoción de la demanda de oxígeno en la forma de materia coloidal y en suspensión, por adsorción y aglomeración sobre los flóculos microbianos.

La remoción de la D.B.O resulta del crecimiento microbiano, de manera que una alta proporción del contenido orgánico del residuo se convierte en nuevas células, y el requerimiento de oxígeno por masa eliminada de D.B.O es proporcionalmente más alto.

Se necesita una efectiva aereación, y tiempo de retención de 15 minutos.

4.5.1.17.2. Utilización de procesos a tasa ultra alta.

La alta relación de alimento a microorganismo que se usa, indica también que el proceso no es adecuado para el tratamiento de aguas residuales que contengan sustancias tóxicas o inhibitorias. El proceso se usa con éxito en tratamientos de residuos con un contenido muy alto de solutos biodegradables, como los procedentes de las industrias de antibióticos que tengan valores de D.B.O de 3,000 a 8,000 g/m³.

4.5.1.17.3. Procedimiento de operación de sistemas a tasa ultra alta.

Un procedimiento operacional es usar un sistema de "extracción y llenado" en donde se inoculan los residuos y se airean durante 24 horas.

Una vez que se asiente, para eliminar aproximadamente 2/3 del líquido que sobrenada, de forma que el resto actúe como un inóculo para la próxima carga (Abson; Todhunter, 1967).

4.5.1.17.4. Remoción de la D.B.O.

En general, a pesar de que la cantidad de D.B.O removida se incrementa con la D.B.O de desecho del influente, la proporción eliminada decrece con la concentración de los residuos.

4.5.1.17.5. Ventajas de los sistemas a ultra alta tasa.

La ventaja de crecimiento de un sistema disperso es que en conjunción con un sistema convencional, el tamaño total de la planta es menor que si se usara un sistema convencional.

4.5.1.18. Aereación Prolongada o sistemas de tratamiento a baja tasa.

Este proceso se le conoce también como tratamiento a "baja tasa". Los niveles de carga de los lodos son muy bajos, entre 0.03 y 0.1 Kg de D.B.O/ Kg de sólidos de lodos por día, y la carga volumétrica de la planta es cerca de 0.25 Kg de D.B.O/m³ día.

4.5.1.18.1. Relación entre el tiempo de residencia y la producción de lodos en sistemas de aereación prolongada.

El tiempo de residencia de los lodos es muy prolongado, hasta de 24 días, de manera que los lodos se encuentran en fase de respiración endógena, donde la descomposición de los lodos excede el crecimiento de los mismos. De modo que la proporción de D.B.O no

es mayor que los procesos convencionales, pero la tasa neta de producción de lodos es menor. El tiempo de residencia largo y la baja carga implica una baja actividad de los lodos, y se usan de uno o dos días, para producir una reducción del 95% en la D.B.O de las aguas residuales.

4.5.1.18.2. Relación de costos con la producción de lodos.

La producción de lodos es tan baja que llega de 0.3 a 0.2 Kg de sólidos por Kg de D.B.O eliminado, como el proceso implica la digestión aerobia de los sólidos de los lodos, microbiana y adsorbida, el requerimiento de oxígeno es de 1.25 veces mayor que la D.B.O aplicada. No obstante, los costos adicionales de aereación se compensan con el ahorro del manejo de los lodos de desecho.

4.5.1.18.3. Sedimentación en sistemas a baja tasa.

La capacidad de asentamiento de los lodos aumenta con el tiempo de residencia de los mismos, hasta que la cantidad de masa microbiana se descomponga, de manera que las partículas del flóculo disminuyan de tamaño con un deterioro de las propiedades de asentamiento, entonces el contenido de sólidos en el efluente final sea más conveniente que lo descargado en una corriente de agua (Forster, 1977).

4.5.1.18.4. Ventaja de los procesos a baja tasa.

La ventaja de este proceso con el convencional, es que el nivel bajo de reserva de carga proporciona una mayor reserva de oxígeno disuelto en la etapa de aereación, para hacer frente a las oscilaciones de la carga (Benjes, 1980).

4.5.1.18.5. Utilización del proceso a baja tasa.

El proceso se utiliza generalmente en el tratamiento de residuos de lecherías.

4.5.1.19. Estabilización por contacto.

Este proceso utiliza las propiedades absorbentes de los lodos activados para el tratamiento de residuos con un alto contenido de materiales biodegradables, coloidales y en suspensión.

4.5.1.19.1. Proceso de estabilización por contacto.

Las aguas residuales se ponen primero en contacto con lodos recirculados, durante un período corto de tiempo (por que la adsorción es un proceso rápido) en un tanque de aereación llamado "estanque de contacto".

El licor mezclado pasa a la etapa de separación, y los lodos asentados que contienen la mayor parte de los sólidos adsorbidos

pasan a otra etapa de aereación en otro tanque llamado "tanque de estabilización", donde se aerea durante un período largo, 5 ó 6 horas.

La descomposición tanto como el material adsorbido como de los lodos, tiene lugar en esta etapa, de modo que la tasa neta de producción de lodos es más baja que en el proceso convencional.

Los lodos estabilizados se regresan al estanque de contacto.

Como el período de aereación es corto, sólo una pequeña proporción de los nutrientes disueltos queda eliminada, pero la aereación de los lodos en su forma concentrada indica que la capacidad total de aereación es menor que la de un sistema convencional que trata desechos similares.

Como alternativa se utilizan estanques de estabilización y de contacto en una sola unidad, donde la alimentación del influente se introduce bien aguas abajo del lodo retornado para crear una "zona de estabilización" y una "zona de contacto" dentro del solo estanque de aereación (Benjes, 1980).

4.5.1.20. Regímenes de mezcla.

Se tiene básicamente dos tipos de régimen de mezcla: Flujo pistón o completamente mezclados.

4.5.1.20.1. Sistema de aereación a flujo pistón.

La agitación concomitante con la aereación y el flujo del líquido produce mezclas longitudinales de manera que éstos sistemas se encuentran rara vez en un verdadero flujo pistón, y la dificultad de mezclar un sistema de tres fases de líquido, lodo y burbujas de gas, indica que es difícil obtener un verdadero régimen de mezcla completa.

4.5.1.20.1.1. Reducción de nutrientes en los sistemas de flujo pistón.

Los procesos a flujo pistón encuentran uso en las plantas de tratamiento de aguas negras.

El estanque está equipado con dispositivos de aereación, y a medida que el licor mezclado fluye a lo largo del tanque, los nutrientes se agotan y se reducen al nivel deseado cuando el líquido abandona el estanque de aereación y rebosa dentro de la etapa de aereación. Teóricamente cada elemento del líquido seguirá el patrón de agotamiento de los nutrientes, del sistema en cargas aisladas, con una tasa inicialmente rápida de remoción que se hace progresivamente más lenta según el líquido que se mueve a lo largo del tanque. En la práctica nunca se obtiene el flujo tapón perfecto debido al mezclado longitudinal, y la tasa de agotamiento es bastante uniforme en la primera sección del tanque.

4.5.1.20.1.2. Demanda de oxígeno en sistemas de aereación de flujo pistón.

El sistema crea lodos de buen asentamiento, pero como la demanda de oxígeno cambia a lo largo del tanque, el suministro de oxígeno será deficiente en el extremo de entrada donde la demanda es alta, y superfluo en la salida donde la demanda es baja.

La modificación que se hace es intensificar la aereación a la entrada y reducirla progresivamente a lo largo del estanque. Este proceso se llama "aereación graduada", con distribución de aproximadamente 45 % en el primer tercio del período de detención, de 30 % en el tercio medio y de 25% en el último tercio.

En operaciones a gran escala se utilizan tanques conectados en serie, permitiendo un mayor control de los niveles de carga y oxígeno disuelto en los procesos de "aereación graduada".

4.5.1.20.2. Sistema de aereación a régimen de mezcla completa.

Este sistema presenta ventajas en donde el tanque de aereación provee un amortiguador en el que se suavizan hasta cierto punto las oleadas de carga, resultando provechoso para aguas residuales que contienen sustancias tóxicas o inhibitorias que genera la industria (Winkler, 1986).

4.5.1.21. Zanjas de oxidación.

La zanja Pasveer de oxidación es un sistema de aereación apropiado para procesos de aereación prolongada. Consiste en un tanque de aereación en la forma de una zanja angular continua, "en forma de estadio", de un metro de profundidad, con uno o más dispositivos de aereación que proveen oxigenación y flujo lineal del líquido alrededor de la zanja. Se usa tanto para aguas residuales industriales como para aguas negras.

4.5.1.21.1. Ventajas de las zanjas de oxidación.

Los tiempos de residencia de los lodos son muy prolongados, hasta de varias semanas, y la producción neta es muy baja.

La ventaja es la producción baja de lodos y bajo capital de inversión, y se evita la necesidad de un asentamiento primario, pero requiere un área de terreno relativamente grande.

4.5.1.22. Unidades compactas de lodos activados.

Las versiones compactas de los procesos de lodos activados tienen etapas de oxigenación y asentamiento combinadas en una sola unidad, de tal manera que la sección de separación esté montada concéntricamente alrededor de la sección de mezcla total.

El diseño es para procesos de operación continua.

4.5.1.23. Modo de operación de los sistemas de lodos activados.

El proceso de lodos activados se opera generalmente de modo que el flujo sea continuo. Se utiliza a veces un proceso de carga parcial de "carga y extracción". En este sistema, se aerea un tanque lleno de licor mezclado hasta obtener el grado de tratamiento deseado; se extrae parte del licor para proceder a la separación, y se llena el tanque de aguas residuales no tratadas y se repite el proceso.

4.5.1.24. Sistemas de aereación.

En general se clasifican como sistemas de aereación por burbujas o sistemas de "difusor", sistemas de aereación mecánica y sistemas combinados que usan tanto la aspersion mecánica como la de aire.

4.5.1.24.1. Transferencia de oxígeno para los diferentes sistemas de aereación.

Un sistema de aereación es capaz de transferir oxígeno al licor mezclado a una tasa equivalente al pico de requerimiento de oxígeno, expresado como la masa de oxígeno transferida por unidad de volumen por unidad de tiempo ($\text{Kg O}_2/\text{m}^3$ por unidad de tiempo).

El nivel superior de la tasa de transferencia de oxígeno para los dispositivos convencionales de aereación, es como de 60 a 70 g/m^3 por hora (Benjes, 1980), a pesar de que los sistemas pueden

proporcionar valores más altos a riesgo de producir un exceso de pulverización del líquido, y de 100 g/m³ h para aereadores convencionales en gran escala (Boon, 1978), lo que limita la tasa de tratamiento.

4.5.1.24.2. Eficiencia de oxigenación en los diferentes sistemas de aereación.

La medida de la eficiencia de la transferencia de oxígeno por unidad de energía consumida (Kg de oxígeno por KWh o KJ), que es "eficiencia de oxigenación".

En algunos sistemas parte del oxígeno que pasa por el sistema se disuelve para quedar disponible en el proceso, y se indica como la "eficiencia de utilización de oxígeno" y es igual a $100 * (\text{masa de oxígeno utilizado}) / (\text{masa de oxígeno suministrado})$.

Sí la agitación es insuficiente, el contacto de los microorganismos y nutrientes retardará la tasa de remoción de nutrientes.

Algunos organismos pueden estar privados de nutrientes y, en el peor de los casos, los lodos se asentarán en el fondo, formando una capa anaerobia de limo. Para evitar esto se requiere un mezclado adecuado para asegurarse de que algunas regiones no se transformen en anóxicas.

4.5.1.24.3. Aereación por burbujas.

La transferencia de oxígeno se realiza de tres formas por la acción de las burbujas que se forman dentro de la mezcla de licor. Se introduce aire comprimido a través de toberas o perforaciones llamadas "aspersores" o a través de medios porosos llamados "difusores", o por disolución de aire a presión en una parte del líquido, que luego se libera dentro del cuerpo principal del licor mezclado para que haga efervescencia. A esta última se le conoce como la técnica de "aire disuelto" y se usa con mayor frecuencia para producir espuma y separar los lodos por flotación.

4.5.1.24.4. Tamaño de las burbujas en relación a el método de aereación utilizado.

La aspersión produce las burbujas grandes, y el aire disuelto chicas, pero la terminología para el tamaño de las burbujas resulta inexacta. Las burbujas finas tienen un diámetro comprendido entre 1.5 a 2 mm, y las burbujas gruesas de 3 a 5 mm, las burbujas medias se encuentran entre estos dos intervalos, y se usa también el término "micro".

Los sistemas de aire disuelto producen burbujas con un diámetro aproximado de 0.1 mm o menos, y se describen como "muy pequeñas". El término "aereación por difusor" se usa con menos frecuencia para describir sistemas de aereación por burbujas en general, incluyendo los sistemas de aspersión.

4.5.1.24.5. Relación entre la eficiencia de los sistemas de aereación y el tamaño de las burbujas generadas.

La eficiencia de uso de oxígeno obtenido en estos sistemas es baja, siendo del 1 % para difusores de burbujas finas y de 5 a 6 % en burbujas gruesas.

Casi el 90 % del gas que pasa por el licor contribuye muy poco a la transferencia de oxígeno y sólo ejerce una acción mezcladora.

El gas se filtra, comprime y se envía en tuberías a los tanques de oxigenación, con el consiguiente desperdicio de energía.

La eficiencia se eleva cuando disminuye el tamaño de partícula y aumenta la profundidad del líquido a través de la cual se elevan las burbujas, aumentando los costos de compresión de aire.

Los difusores que producen burbujas finas tienen mayor resistencia al flujo de gas que los equipos de burbujas gruesas; el uso de profundidad en el líquido representa un aumento en la presión hidrostática que ha de superar utilizando presiones más altas a la descarga del compresor. Con profundidades de 3 m, el tiempo más corto de las burbujas, y por tanto el uso reducido, se compensa con el uso de tasas de flujo aumentadas, pero esto también aumenta los costos de compresión.

4.5.1.24.6. Distribución de los equipos de aereación.

Las distribuciones de los dispositivos de aereación dentro del tanque son muy importantes, ya que afecta a los patrones de mezcla, afectando las velocidades relativas de burbujas y líquido.

4.5.1.24.6.1. Patrón de flujo que imparten las diferentes distribuciones de difusores.

Los difusores se pueden instalar fijos en el fondo del tanque: Este es el proceso llamado sistema de "piso plano", o bien, en serie a lo largo de un lado del tanque impartiendo un patrón de flujo helicoidal, proceso conocido en forma errónea como "sistema de flujo espiral". En el sistema de aereación Inka, el patrón de flujo helicoidal se obtiene instalando el conjunto de difusores aproximadamente 0.75 m por debajo de la superficie del líquido.

4.5.1.24.6.2. Mantenimiento de los difusores.

Las series de difusores se pueden montar sobre una junta giratoria, de manera que se puedan alzar fuera del líquido para que estén accesibles para la limpieza y el mantenimiento sin que haya que descargar primero el tanque.

4.5.1.24.7. Difusores de burbujas finas.

Estos se fabrican con material sintetizado, cerámico o de plástico comprimido formando tubos o domos. El tamaño de las burbujas depende de los poros y de su capacidad de humedecimiento.

La presencia de tensoactivos en las aguas residuales, afecta el funcionamiento de éstos dispositivos.

La humectación incide en la cantidad de coalescencia que ocurre entre las burbujas que se forman en poros adyacentes antes de su desprendimiento de la superficie del medio poroso. Un material con poca capacidad de humedecerse permite a las burbujas extenderse sobre la superficie del líquido más bien que crecer dentro del líquido, con lo que se aumenta la probabilidad de una coalescencia previa al desprendimiento. La sílice ligada con la cerámica, y para medios de tamaños a los poros, produce burbujas más finas.

En estos sistemas se debe vencer la resistencia al flujo de aire, además que éste debe de estar perfectamente bien filtrado para que no se bloquee por el polvo, aunado a esto está el crecimiento de lama en la superficie mojada, ya que se trata de un área de alta disolución de oxígeno, y por tanto la necesidad de hacer un montaje de estos equipos de forma que sea fácil su limpieza.

4.5.1.24.8. Difusores de burbuja media.

A los difusores de burbuja media se les llama "difusores plásticos porosos" y consisten en un mango de tela plástica, tejida o tramada soportada por un conformador de alambre o de plástico reforzado con vidrio (P.R.V). La tela se flexiona durante la operación, lo que inhibe la acumulación de lama y otros materiales sobre la superficie del medio poroso.

La otra ventaja es que el mango es removible, lo que hace que este se pueda lavar. Otra versión consiste en un cordón plástico arrollado de un modo apretado alrededor de un tubo perforado de acero inoxidable, de manera que las burbujas se forman por el aire que escapa a través de rendijas formadas por las vueltas adyacentes de la cuerda sobre los agujeros del tubo.

4.5.1.24.9. Dispositivos de burbuja gruesa.

Estos sistemas no requieren aire filtrado y solo ésta se necesita para antes de la toma del compresor. El montaje del orificio puede incluir un dispositivo unidireccional para impedir que las aguas residuales entren en la línea de suministro de aire, en el caso de que la presión del suministro de aire caiga por debajo de la presión hidrostática en el orificio.

Para producir las burbujas se usan toberas, placas o tubos perforados o ranurados en diferentes arreglos para producir las burbujas grandes.

4.5.1.24.10. Dispositivos de cortante hidráulico.

Es posible producir burbujas finas por la distribución de flujo relativo de líquido sobre la superficie del difusor de manera que las burbujas sean desalojadas antes de que se desarrollen totalmente. Los dispositivos que usan este principio de operación se emplean en los sistemas de lodos activados con oxígeno de alta pureza, donde el uso de esta calidad de oxígeno, es un requisito primordial.

Una versión de este dispositivo utiliza bombas para hacer pasar a alta velocidad en una mezcla del licor en ángulo recto con las burbujas de oxígeno que descargan en tubos capilares a una ranura vertical (Brenner, 1978).

El tamaño de las burbujas producidas dependía de la profundidad de inmersión del dispositivo, lo que daba a las burbujas de 0.1 mm de diámetro a una profundidad de 1.2 m y burbujas de 0.15 mm a 2.6 m en agua corriente.

Este dispositivo se sustituyó por un sistema en el que se mueve un difusor a través del licor mezclado. Se montan dispositivos de cerámica porosa como una doble banda anular sobre un disco rotatorio de 2 mm de diámetro; estos se alimentan con oxígeno a través de un impulsor hueco (Brenner, 1978). El disco se monta cerca de 1 m sobre el piso del tanque de aereación y gira a 1.25 a 1.47 s^{-1} , produciendo burbujas con un diámetro aproximado de 0.15 mm.

Turbinas adaptadas a las superficies superior e inferior del disco actúan como impulsores para mantener la circulación del líquido en el tanque. La combinación de burbujas muy pequeñas y un completo mezclado produce un largo tiempo de contacto del gas y el líquido, dando un 94 % de uso de oxígeno a la carga hidráulica de diseño.

Estos dispositivos se usan en el sistema FMC de lodos activados con oxígeno, y a la tasa de uso de oxígeno efectuada permite el uso de tanques abiertos para la oxigenación.

Un dispositivo desarrollado por la Union Carbide para su sistema "Unox" de oxígeno puro para lodos activados, consiste de un aspersor rotatorio, alimentado con oxígeno a través del eje impulsor hueco, con un propulsor de flujo descendente, montado encima del aspersor (Albertsson, Grunert, Nenov y Scaccia, 1978).

La velocidad de rotación está en un intervalo de 0.7 a 1.3 s⁻¹, y el dispositivo opera dentro del tanque cerrado y con el aspersor alimentado por una bomba que recircula el gas del cabezal (Brenner, 1978).

4.5.1.24.11. Sistema de gas disuelto.

Cuando un gas disuelto separa de la solución, se producen burbujas muy pequeñas, y este efecto se puede utilizar, poniendo en contacto líquido con aire u oxígeno a alta presión (de 3 a 10 atmósferas) a fin de obtener un alto nivel de disolución del gas.

El líquido se alimenta luego al volumen principal de líquido, donde la liberación de la presión permite al gas disuelto separarse de la solución como una efervescencia de muy pequeñas burbujas de 0.1 mm de diámetro. Debido a que las burbujas muy pequeñas tienden a formar núcleos con los sólidos en suspensión en el líquido, se usa el proceso para la separación de sólidos por flotación, más bien que para la transferencia de oxígeno.

Cuando el contacto a alta presión de gas a líquido se produce en una cámara convencional de presión, el requerimiento de energía resulta muy alto, y la eficiencia de oxigenación puede ser menor de 0.1 Kg de oxígeno/KWh. Se ha desarrollado una modificación del proceso, utilizando solamente un tercio de la energía y se le conoce como el proceso "Z-gas" (Speece, Siddiqi, Aubert y Dimond, 1978). La eficiencia de oxigenación utilizando aire es todavía baja comparada con los sistemas convencionales, con aproximadamente 0.28 Kg de oxígeno/KWh, pero la tasa de transferencia de oxígeno es potencialmente más alta.

4.5.1.24.12. Sistemas de aereación mecánica.

Hay tres sistemas principales de aereación mecánica, aereadores superficiales, chorros de líquido y sistemas de agitación y aspersión, o sistemas "combinados". Los aereadores superficiales son los sistemas de aereación mecánica de uso más corriente en el Reino Unido para tratamiento de aguas negras, a pesar de que

el sistema "combinado" se encuentra en unidades compactas para el tratamiento de desechos industriales. La profundidad que se usa para el líquido es convencionalmente de 4 m aproximadamente.

4.5.1.24.13. Aereadores superficiales.

Los dos tipos básicos de aereadores superficiales son: Aereadores de turbina que giran en un plano horizontal sobre un plano vertical y los aereadores de paletas que giran en un plano vertical sobre un eje horizontal.

4.5.1.24.14. Aereadores de paletas.

Una rueda de paletas parcialmente sumergida y que gire en un plano horizontal se puede usar para romper y agitar una superficie líquida y mezclar el líquido aereado con un volumen principal. El cepillo de Kessener es una versión muy difundida de este dispositivo, en el que las paletas de acero inoxidable de aproximadamente 0.4 m de diámetro giran a la velocidad cercana a 2 s^{-1} .

Los aereadores de paletas se adaptan principalmente a las unidades con canales largos, como la zanja de Pasveer, debido al flujo lineal que le imponen al líquido. Cuando se usen en un tanque estático se debe proveer apropiadamente con deflectores y se debe mantener el área de la sección del tanque en proporción bastante pequeña, a fin de alcanzar suficiente turbulencia para mantener una buena mezcla de líquido y una buena suspensión de los lodos.

4.5.1.24.14.1. Eficiencia de oxigenación en el tanque.

La eficiencia de oxigenación depende de la configuración del sistema y del tamaño del tanque.

La tasa de oxigenación se puede variar si se cambia la velocidad de rotación del cepillo o la profundidad de inmersión del cepillo dentro del líquido.

4.5.1.24.15. Aereadores de turbina.

Una turbina que gira en un eje vertical en la superficie del líquido extrae líquido del tanque de aereación y lo lanza como un denso surtidor sobre la superficie manteniendo un patrón de circulación en el líquido, que es radial con respecto a la turbina.

Estas unidades se usan mucho para aguas negras, tratamientos a gran escala de los residuos industriales y para la reoxigenación de lagos y ríos.

El patrón de flujo del líquido se puede estabilizar por la presencia de un tubo de tiro en el líquido por debajo de la turbina, como el sistema de "Cono Simplex". Hay aereadores de turbina, como el operador "Simcar" que operan con éxito sin un tubo de tiro y de operación más flexible.

La profundidad de inmersión de la turbina en el líquido tiene un efecto crítico sobre el funcionamiento del dispositivo y se debe

controlar cuidadosamente. Cuando el ensamble de la turbina se monta sobre una estructura de soporte permanente colocada sobre un tanque, se controla la profundidad de inmersión por el nivel del líquido en el tanque de aereación. Esto se puede ajustar subiendo o bajando un vertedor o compuerta de desagüe a la salida del tanque, cuyo mecanismo de impulsión se opera por un sistema de control activado por una sonda para el oxígeno disuelto.

Así se asegura que no se desperdicie la energía al correr el aereador a altas tasas, cuando el nivel de oxígeno ya resulta adecuado.

4.5.1.24.15.1. Aereador "Simcar".

El aereador "Simcar" se puede equipar con un mecanismo de eje extensible a fin de mantener la profundidad correcta de inmersión, o se puede montar sobre flotantes.

4.5.1.24.15.1.1. Utilización del aereador "Simcar".

Este último sistema resulta particularmente útil en la reoxigenación de grandes cuerpos de agua, como lagunas o ríos.

Las variaciones de la carga se pueden compensar por cambios en la velocidad de rotación y la profundidad de inmersión. Además, fuera del suministro de energía al motor impulsor, las unidades individuales de turbinas son independientes y no necesitan el

equipo centralizado de compresión, necesario para los sistemas de aereación por burbujas, lo que permite una gran flexibilidad de operación.

4.5.1.24.15.1.2. Aereación graduada obtenida por aereadores "Simcar".

Se puede obtener aereación graduada con una serie de tanque equipados con turbinas de tasa decreciente de oxigenación. Cuando cada tanque de una serie está enlazado a un sistema de control de oxígeno disuelto, la aereación graduada se mantiene automáticamente ya que cada tanque se ajusta por sí solo a la carga de la demanda de oxígeno disuelto.

Las eficiencias de oxigenación para los aereadores de turbina se encuentran entre 1.5 y 2.3 Kg de oxígeno/ KWh.

4.5.1.24.15.1.3. Sistema "Carrusel".

A pesar de que el movimiento impartido al líquido por un aereador de turbina es esencialmente circular, se pueden, no obstante, usar en sistemas extendido de canales. La turbina se sitúa en la curva de un sistema anular, de manera que el movimiento rotativo se desvía para reducir el movimiento lineal, como en el sistema "Carrusel" que utiliza aereadores "Simcar"

4.5.1.24.16. Sistemas combinados de agitación y aereación por aspersión.

Son sistemas agitados por burbujas, donde un impulsor sumergido gira justamente encima de una tobera o un anillo de aspersión.

A pesar de que, en principio, esto es similar a los sistemas normales de aereación en los recipientes de fermentación industrial intensiva, los tanques que se usan en el agua residual son rectangulares, y más anchos, en relación, con la profundidad del líquido, que los recipientes de elevado factor de forma usados en la fermentación. Para la profundidad convencional de 4 m, el ancho es de aproximadamente 6 m.

4.5.1.24.17. Chorros de líquido.

El aire se arrastra junto con las aguas residuales, extrayendo una corriente del líquido y bombeándolo a través de un eyector venturí, utilizando el mismo principio que la bomba de filtro de laboratorio. La baja presión creada por el venturí lleva aire al líquido, y el líquido aereado se mezcla entonces con el volumen principal del líquido.

El sistema de "aereación por chorro de agua, no usa el efecto venturí, sino utiliza en su lugar el arrastre de aire que ocurre cuando un chorro de líquido a alta velocidad choca contra una superficie líquida. El aire arrastrado penetra profundamente en el volumen de solución. Los chorros de líquido se montan en una

serie alimentada por una sola bomba, y se pueden utilizar en tanques individuales de aereación de mezcla total, o situados a intervalos a lo largo de la zanja de oxidación, utilizando la velocidad lineal impuesta por chorros al volumen del líquido.

En una planta en gran escala, la eficiencia de oxigenación es alrededor de 2 Kg de oxígeno/ KWh, pero se ha informado de valores hasta de 3 Kg/KWh, obtenibles en aparatos a escala piloto.

4.5:1.24.17.1. Desventaja de la utilización de chorros de agua.

La mayor desventaja de este sistema es que el líquido que pasa por el venturí debe de estar libre de grandes fragmentos de materia particulada en suspensión, que posiblemente bloqueen el venturí. (Dijkstra, Jennekens y Noorem, 1979).

4.5.2. Características de los lodos.

Los lodos son sistemas ecológicos formados por diferentes tipos de microorganismos, junto con materiales orgánicos e inorgánicos. La composición de los lodos de un sistema particular dependerá de la composición de los nutrientes de las aguas residuales por tratar, así como las condiciones de operación de la planta.

Los lodos de un proceso en particular pueden mostrar variaciones estacionales.

La población microbiana tendrá tendencia a adaptarse por sí sola a los nutrientes disponibles, a menos de que haya una falta de balance nutritivo, como la deficiencia de un factor esencial de crecimiento, o la presencia de una sustancia inhibidora o tóxica, o una sustancia que se pueda utilizar como nutriente por sólo un limitado número de microorganismos. La adaptación de los microorganismos es un proceso lento, especialmente a los bajos niveles de actividad a los que operan en general los procedimientos de tratamiento de agua residual.

4.5.2.1. Floculación.

El crecimiento floculante de los lodos es importante, en primer lugar para la adsorción y aglomeración de materias iónicas, coloidales y en suspensión presentes en las aguas residuales, y en segundo lugar para la rápida, eficiente y económica separación de los lodos procedentes de las aguas residuales tratadas.

Unos lodos bien floculados permiten mantener su concentración en el licor mezclado por recirculación de lodos asentados con mayor concentración, tratándose así de un proceso de autoregulación, además de que son más fáciles de asentar.

Los flóculos de los lodos son cúmulos de varios millones de células bacterianas, junto con algunos otros organismos y materias inertes, orgánicas e inorgánicas. Sin embargo, los flóculos no se consideran como entidades invariantes (Tench, 1979), un lodo de buena floculación en un sistema agitado está en un estado de

equilibrio dinámico entre la tendencia de los flóculos de agregarse en flóculos mayores y el efecto de desfloculación del cortante turbulento que rompe los flóculos en unidades más pequeñas.

El nivel de equilibrio de la dispersión depende entonces de la intensidad de la turbulencia, medida, por ejemplo, por la disipación de energía del agitador.

Los flóculos grandes tienden a formarse principalmente por bacterias muertas rodeadas de bacterias vivas viables. Los flóculos pequeños tienen una mayor tendencia a que haya una cantidad de bacterias vivas (Stafford y Calley 1977). Las partículas grandes se asientan con mayor rapidez que las partículas pequeñas y los procesos a alta tasa tiene un nivel más alto de actividad microbiana que los procesos a baja tasa. Generalizaciones que concuerdan con la experiencia operativa de que una buena floculación está asociada con procesos a baja tasa, y la mala floculación a la alta tasa.

4.5.2.1.1. Problemas causados por la floculación de los lodos.

Cuando se mezclan los lodos con las aguas residuales entrantes, la aglomeración de los materiales coloidales y en suspensión con los flóculos de los lodos, conocido a veces como "enmallado", tiene lugar rápidamente y produce una súbita caída de la concentración residual de la demanda de oxígeno en el volumen de las aguas residuales. La descomposición y asimilación del material aglomerado y soluto continúa más lentamente, con una concomitante

producción y descomposición de la biomasa (estabilización), debido a que la descomposición de los nutrientes y la biomasa hace a la mezcla del líquido menos propensa a la putrefacción.

4.5.2.1.2. Microorganismos que generan flóculos en los lodos.

Se ha demostrado, que existen microorganismos presentes en los lodos activados capaces de formar flóculos (Taber, 1976).

Se atribuye la formación de flóculos a la secreción de polielectrolitos naturales, como los polisacáridos y pliaminoácidos complejos, durante las fases declinantes y endógenas.

La formación de polihidroxibutirato (P.H.B) ha sido asociada con la formación de flóculos, y se ha reportado la conexión de las células por fibrillas celulósicas en crecimientos floculados libres de lama y P.H.B (Mulder, Antheunisse y Crombach, 1971).

La carga microbiana de superficie y la formación de puentes con metales polivalentes también se han propuesto como contribuyentes a la formación de flóculos.

Una sustancia viscosa que contiene proteínas, carbohidratos y ácidos nucleicos se extrajo de lodos activados y fue capaz de flocular suspensiones de caolín y un cultivo bacterial de *ESCHERICHIA COLI* (Sato y Ose, 1980). Otros trabajos sugieren que la bacteria de tallo *CAULOBACTER* contribuye a la formación microbiana de floculos. Este organismo prolifera en aguas con

bajo contenido orgánico, como los sistemas a baja tasa, y tiene un "zarcillo" adhesivo que le permite fijarse a otras células microbianas y a la materia inerte. Puede así iniciar la formación de cúmulos y agrandar los existentes.

4.5.2.2. Protozoarios en los lodos.

Los protozoarios contribuyen significativamente al proceso de los lodos activados, y su presencia en cantidades razonables se considera como un signo de un lodo saludable. Los protozoarios sapróbicos consumen partículas de materiales nutrientes.

Algunos protozoarios están fijos en los flóculos y se alimentan de las bacterias dispersas, otros nadan libremente en el líquido intersticial y también consumen bacterias dispersas.

Otros protozoarios se deslizan sobre la superficie del flóculo, pastando entre la población bacteriana, y algunos más segregan una mucosidad que acrecienta la floculación.

4.5.2.2.1. Efecto de la cantidad de protozoarios que contienen los lodos.

El efecto más importante de los protozoarios es en la remoción de bacterias dispersas, las que no serían separables de las aguas residuales tratadas solamente por asentamiento.

Experimentos con sistemas de tratamiento a escala de laboratorio demostraron que los lodos libres de protozoarios produjeron efluentes muy pobres con gran cantidad de bacterias dispersas, y mejoraron notablemente poco tiempo de ser inoculados con un cultivo protozoario (Pike y Curds, 1971).

Un lodo con un exceso de protozoarios y otros organismos predadores produce sólidos con malas características de asentamiento (Pipes, 1966). Los protozoarios ciliados, fijos y deslizantes predominan en una biomasa saludable, que constituye un 5 % de los sólidos en suspensión (por peso seco) en el tanque de aereación (50 millones por litro aproximadamente), (Jones, 1976). La población protozoaria se perjudica si el lodo experimenta períodos anaeróbicos prolongados.

Los protozoarios ciliados pueden proporcionar microagitación que ayuda al suministro de nutrientes al flóculo (Hawkes, 1963).

4.5.3. Problemas con los lodos.

Los problemas que se pueden tener son: La separación de lodos de las aguas residuales tratadas. Por lo general, implica la capacidad de éstos para asentarse rápidamente.

Para medir la capacidad de asentamiento es el "índice del volumen de lodos" (I.V.L), obteniendo al permitir que una muestra de lodos se asiente en condiciones normadas. La proporción del volumen ocupado por el lodo asentado, comparado con el volumen

total de la muestra, después de 30 minutos, se divide por el contenido de los sólidos en suspensión para dar el I.V.L.

$$\text{I.V.L} = \frac{\% \text{ del volumen asentado después de 30 minutos}}{\% \text{ del contenido de los sólidos en suspensión}}$$

De manera que un alto valor del I.V.L indica un lodo con malas características de asentamiento. No se tiene completa certeza de qué es lo que realmente mide el I.V.L, pero es un parámetro útil de rápida determinación. Se le sustituye actualmente por otros parámetros, como la velocidad media de asentamiento y el "volumen específico agitado" (V.E.A).

4.5.3.1. Esponjamiento de un lodo.

La formación de flóculos ligeros, esponjados y con malas características de asentamiento se conoce como "esponjamiento" y se atribuye a la preeminencia de organismos filamentosos en los flóculos. Estos se arrastran fuera de la etapa de separación junto con el efluente tratado, lo que da a la descarga un alto contenido de materias orgánicas.

4.5.3.1.1. Microorganismos asociados con el esponjamiento.

Varios organismos que forman filamentos están asociados con los lodos esponjosos, uno de los que se citan más a menudo es la

bacteria filamentosas STREPTOTHRIX, hongos filamentosos como el GEOTRICHUM, el alga azul verdosa SCHIZOTHRIX, y un número excesivo de protozoarios ciliados con tallos.

En un trabajo experimental se identificaron 26 tipos de organismos filamentosos en 1,100 muestras de lodos activados, la mayoría de lodos esponjosos (Eikelboom, 1975).

El crecimiento predominante de los organismos filamentosos comunica malas características de asentamiento, porque los filamentos que se extienden fuera del flóculo aumentan la resistencia al movimiento, reducen la velocidad de asentamiento del flóculo, e inhiben la compactación de flóculos después del asentamiento.

No obstante es posible que un flóculo se asiente bien cuando los filamentos estén enrollados alrededor de las partículas de los flóculos.

No se han identificado condiciones que inducen este fenómeno, pero aclara porque el I.V.L de un flóculo filamentosos puede cambiar rápidamente, mientras que los flóculos no filamentosos tienen valores estables de I.V.L (Pipes, 1979).

El esponjamiento debido al alga azul verdosa SCHIZOTHRIX CALCICOLA ha sido atribuido a una combinación de acetatos en el suministro de aguas residuales, y niveles bajos de la concentración de oxígeno disuelto a la entrada de los tanques de aeración (Sykes, Rozich y Tiefert, 1979).

El crecimiento filamentosos afecta propiedades de asentamiento del lodo, la consistencia floja existente causa flóculos con características altamente oxidativas (Hawkes, 1963).

4.5.3.1.2. Diferentes condiciones que se asocian con el comienzo de los lodos esponjosos.

Las condiciones asociadas con el comienzo de los lodos esponjosos son: Absorción de material nutriente por los flóculos a una tasa mayor que la de remoción puede llevar al esponjamiento, condiciones ácidas favorecen el crecimiento fungoide antes que el bacteriano (Hawkes, 1963). La sobrecarga de la planta, el desbalance de nutrientes, temperaturas por encima de los 30°C y el descenso de la concentración del oxígeno disuelto por debajo de 1 g/m³ puede resultar en esponjamiento (Pipes, 1967) y cargas orgánicas bajas, menores de 0.2 Kg de D.B.O/ Kg de sólidos de lodos día muestran estar asociadas con el esponjamiento extremo (Pipes, 1979).

4.5.3.2. Desfloculación.

Puede ocurrir de manera simultánea con el esponjamiento y a cualquier nivel de carga de lodos (Pipes, 1979). Se atribuye a bajos niveles de oxígeno disuelto, pH bajo y al choque de cargas tóxicas. La desfloculación resulta en una fuerte pérdida de microorganismos en el efluente tratado, de manera que el sistema se acerca a una condición de "lavado". Según se pierden los lodos por la desfloculación, se hace progresivamente más difícil mante-

ner la concentración de lodos en el tanque de aereación, con el consiguiente aumento de las cargas de lodos, Pipes cita indicaciones de que altas cargas de lodos mayores de 0.4 Kg de D.B.O/Kg de sólidos de lodos-día conducen a la desfloculación. Si es así, el aumento progresivo en la carga de lodos, debido a la pérdida de los mismos, producirá desfloculación adicional que conduzca en último extremo a la pérdida completa de los lodos del sistema.

4.5.3.3. Flóculo punta de alfiler.

Los lodos con un alto valor de "edad" consisten en su mayoría de flóculos pequeños, densos y de buen asentamiento que dan un bajo I.V.L. Cuando la edad de los lodos es mayor de 6 días, parte del lodo está presente como flóculos "punta de alfiler", que no se asientan fácilmente. Permanecen como partículas visibles en el sobrenadante después de que se haya asentado el resto del lodo (Hawkes, 1963). Este problema se observa en sistemas de baja carga orgánica, menor a 0.2 Kg de D.B.O/ Kg de lodos día (Pipes, 1979). Permanecen en el efluente tratado después de la separación de los lodos y proporcionan un alto contenido residual de materia orgánica (Forster, 1977). Si se asocian los flóculos de punta de alfiler durante un tiempo prolongado de residencia de los lodos, parece probable que los flóculos constituyen el residuo no degradable de floculos aeróbiamente digeridos, cuando se hayan metabolizado las sustancias promotoras de flóculos.

4.5.3.4. Lodo ascendente.

El lodo asentado en la etapa de separación gasta rápidamente el oxígeno disuelto que permanece en el licor de la etapa de aereación y se vuelve anóxico.

El licor que contiene nitratos o nitritos, pueden utilizarse por algunos organismos presentes en los lodos como una fuente alternativa de oxígeno, reduciendo los compuestos oxidados de nitrógeno a nitrógeno gaseoso y óxido nitroso. Las burbujas de gas así formadas hacen que los flóculos se eleven hasta el sobrenadante donde se arrastran junto con el efluente tratado, este fenómeno se llama "lodo ascendente".

4.5.3.4.1. Condiciones para evitar el fenómeno de lodos ascendentes.

Se evita asegurándose de que los lodos no permanezcan demasiado tiempo en la etapa de separación antes de recircularse o desecharse, y por la remoción de nitratos y nitritos por reducción anóxica, llamada "desnitrificación", en una etapa del proceso.

Es conveniente la disminución del tiempo de permanencia de los lodos en la etapa de asentamiento, aparte del riesgo de inducir a los lodos ascendentes, ya que un período prolongado en condiciones no oxigenadas podría producir condiciones verdaderamente anaeróbicas, lo que resulta en lodos podridos y malolientes.

4.5.3.5. Formación de espuma espesa.

Las intensas condiciones de aereación y agitación en las plantas de tratamiento de lodos producen cierta cantidad de espuma ligera y transitoria. No obstante, en ciertas ocasiones, se produce una espuma dura y espesa con un alto contenido de materia orgánica, semejante a la crema batida de chocolate en la textura y el color. Este material permanece sobre la superficie del líquido y pasa a través de la etapa de separación, para descargarse junto con el efluente tratado. Winkler encontró que consiste en una red de crecimientos filamentosos que tenían el efecto de estabilizar la espuma, atrapando de manera efectiva las burbujas de aire dentro de la masa de materia orgánica. Los lodos presentes en el licor, por debajo de la capa de la espuma, eran también fuertes y filamentosos, pero de buen asentamiento.

4.5.3.6. Hongos de aguas negras.

Se usa el término para describir el crecimiento masivo de cuerpos filamentosos que se encuentran en aguas enriquecidas de descargas de efluentes orgánicas.

El organismo que más frecuentemente se encuentra y que se asocia con el esponjamiento es el *SPHAEROTILUS NATANS*, además de otros como la *ZOOGLA RAMIGERA*, la bacteria sulfurosa *BEGGIATOYA* y el protozoario *CARCHESIUM* (Hawkes, 1963). Hongos de aguas negras como el *FUSARIUM* y demás organismos de albañal, crecen en con-

diciones apropiadas, en forma de plumas limosas semejantes a el algodón en rama que se fijan a todas las superficies sumergidas.

Estos podrían usarse como sistemas de recuperación de nutrientes, ya que no son fotosintéticos y no dependen de la disponibilidad de la luz (Hynes, 1960).

La industria papelera es una de las más afectadas cuando se presentan en los desagües del efluente. (Roberts, J.C, 1978; Roberts, W.T, 1977).

4.5.4. Actividad de los lodos.

4.5.4.1. Integración de un lodo activado.

Un lodo activado se integra por microorganismos viables, no viables o moribundos, organismos muertos, materia orgánica inerte y/o no biodegradable. Los microorganismos viables utilizan los nutrientes y producen nuevos organismos o "biomasa", la materia inerte o no biodegradable incluye residuos de nutrientes y organismos descompuestos.

4.5.4.2. Factores que inciden en la proporción de organismos presentes en un lodo activado.

La proporción de organismos viables en los lodos dependen de la tasa global de crecimiento la que se determina por el tiempo de residencia de los lodos.

En una operación convencional la proporción de organismos puede ser tan baja como de 2 a 3 %, con una edad de lodos de 4 días.

Los organismos no viables explican la actividad bioquímica de los lodos, pues son mucho más elevados de lo que podría esperarse de un sistema de tan baja viabilidad (Jones, 1975).

Según aumenta la tasa de crecimiento, al aumentar la tasa de desecho, aumenta la proporción de organismos viables.

Inversamente la reducción de la tasa de desecho de los lodos aumenta la proporción de materia no viable en los lodos. Por lo que la tasa de desecho de los lodos es un parámetro clave en la operación de lodos, ya que determinan que tan activos se encuentran.

El requerimiento de oxígeno para el proceso depende también del tiempo de residencia de los lodos, si éste aumenta, entonces el requerimiento de oxígeno en Kg por Kg de demanda aplicada de oxígeno también aumentará. Para procesos convencionales, el requerimiento es de 1 Kg/Kg, aumentando a 1.25 Kg de oxígeno por Kg de demanda carbonácea de oxígeno en la aereación prolongada, donde el tiempo de residencia de los lodos puede ser de varias semanas.

4.5.4.3. Determinación de la actividad de un lodo.

La determinación de la viabilidad se puede efectuar por métodos microbiológicos, pero hay métodos químicos en perfeccionamiento.

4.5.4.3.1. Actividad de un lodo respecto a la cantidad de sustancias de origen biológico presente.

Se ha experimentado con el contenido de ácidos nucleicos, (A.R.N y A.D.N) de los lodos procedentes de diversos puntos diferentes plantas, para la caracterización de la viabilidad de los lodos. La relación entre A.R.N y A.D.N se toma como indicación de actividad microbiana, y se encontró que es mínima en los lodos "regenerados" (que se supone que son recirculados), más alta al inicio de la operación en el tanque de aereación, máxima en el medio y disminuyendo a la salida del tanque de aereación.

La proporción de A.D.N en los lodos fue mayor en los lodos "regenerados" y bajo al entrar en el tanque de aereación. Se atribuyó a la adsorción de sólidos en los lodos en la etapa de aereación, de manera que los lodos recirculados tengan más alta proporción de microorganismos en sus sólidos componentes (Dudova, 1978).

El trifosfato de adenosina (T.F.A o A.T.P) es una sustancia generalmente reconocida como contribuyente de células vivas. La concentración de T.F.A en las células es razonablemente independiente de la tasa de crecimiento. Las determinaciones de T.F.A en lodos activados en un sistema de laboratorio que operaba aguas residuales simuladas, se utilizaron para determinar la viabilidad microbiana de los lodos y relacionarlos con los parámetros de operación del sistema.

4.5.4.3.2. Organismos viables como función del tiempo de residencia de los lodos.

Se descubrió que la viabilidad está funcionalmente relacionada con el tiempo de residencia de los lodos en el sistema, de forma que es de 100 % para valores bajos de tiempo de residencia y disminuye hasta un valor casi constante para los tiempos de residencia de los lodos, usuales en plantas de lodos activados.

Las mediciones de viabilidad microbiana proporcionan también valores más exactos para parámetros cinéticos de crecimiento y muerte de los lodos, comparados con los que se basan en el contenido de sólidos (Nelson y Lawrence, 1980).

4.5.4.4. Importancia de las propiedades de los lodos.

Diversos estudios demuestran que las modificaciones de las condiciones de operación de la etapa de aereación como el tiempo medio de retención o el nivel de oxígeno disuelto, afectan la condición de los lodos, para proporcionar ahorros considerables en el costo la tendencia prolongada, debido a que el costo adicional de aereación está compensado por la reducción de inversiones de capital para el asentamiento primario y los equipos para la manipulación de los lodos. Operar en condiciones que no sean óptimas en una etapa puede producir ahorros en las otras etapas.

4.5.5. Descarga de lodos.

El desecho de los lodos de un proceso continuo debe llevar también a cabo en una forma continua. No obstante, es más conveniente desde el punto de vista de operación, desechar lodos intermitentemente. En un patrón cíclico, la fase de carga baja es el tiempo más apropiado para procesos de aguas negras, generalmente durante la noche.

El desecho de los lodos se puede efectuar de manera más conveniente por remoción del licor mezclado del tanque de aereación y el tanque de asentamiento.

4.5.6. Procesos avanzados de lodos activados.

Consiste en provocar el aumento de la transferencia de oxígeno de la fase gaseosa a la líquida al aumentar la presión parcial del oxígeno en el gas, aumentando la concentración del oxígeno disuelto y la fuerza impulsora de la transferencia de masa en la interfase entre el gas y el líquido.

4.5.6.1. Enriquecimiento de sistema con oxígeno.

Para elevar la presión parcial del oxígeno, se eleva la presión del sistema, o bien, aumentando la proporción de oxígeno en la fase gaseosa por enriquecimiento o sustitución con oxígeno puro, como en los procesos de "oxígeno puro".

4.5.6.2. Toxicidad tolerable del oxígeno para éstos sistemas.

La transferencia de oxígeno aumenta si se combinan los métodos descritos anteriormente. Sin embargo, las presiones muy altas de oxígeno son tóxicas, aún para los organismos aeróbios, obligados y facultativos. En un estudio se verificó la supervivencia de *ESCHERICHIA COLI*, *BACILLUS SUBTILIS* y *B MEGATHERIUM* a presiones de 100 atmósferas en un medio de concentración de 7 g/m³, mientras que 35 g/m³ a la misma presión, resultó letal (Wimpenny, 1969). Los resultados permitieron llegar a la conclusión de que la presión inhibitoria del oxígeno disuelto para los organismos aeróbios puede ser suficientemente baja en lo que concierne a la toxicidad del oxígeno, como para ser significativo en los recipientes profundos de fermentación industrial, especialmente si se combina con una presión positiva adicional en el espacio libre superior al recipiente (Pirt, 1975).

4.5.6.3. Proceso de "Tiro profundo".

Es un proceso de lodos activados del tipo de flujo tapón, en el que se usa la presión hidrostática debida a una columna de líquido de hasta 200 m de profundidad, para efectuar una transferencia eficiente a alta tasa de oxígeno y alta utilización del mismo, desarrollado por I.C.I Ltd, como "derivación" de su proceso de fermentación aerobia para producir proteínas monocelulares que se propagan en un substrato de metanol, para alimento de animales (Dunlop, 1978, Hemming, Ousby, Plowright y Walker, 1977) requiere concentraciones microbianas altas, para separar la económicamente

la biomasa, y altas requerimientos de oxígeno (10 Kg de O_2 /m³-hora), para producir esta tasa de transferencia en un sistema a gran escala se usa un fermentador de tipo sifón de aire, donde el rociador de aire proporciona agitación y oxígeno al sistema.

El tratamiento de aguas residuales implica bajas concentraciones microbianas, bajas tasas de crecimiento, sustratos de metabolismo complicado, es menor la tasa de oxígeno y se modificó la configuración del sistema para proporcionar un tiempo de contacto más largo entre el líquido y el gas, quiere decir que se tiene que alimentar la altura, siendo más fácil construir un tiro subterráneo que como una torre elevada, para hacer mínima la producción de biomasa de lodos.

4.5.6.4. Sistemas de oxígeno de alta pureza.

El uso de oxígeno puro ofrece un aumento potencial en la concentración de saturación, con una fuerza impulsora aumentada para la transferencia de oxígeno del gas al líquido.

Para un conjunto de condiciones de operación, el uso del enriquecimiento de oxígeno en la fase gaseosa produce un aumento en la tasa de transferencia de oxígeno y un incremento en la capacidad de tratamiento en la etapa de aereación.

En el mejor de los casos, la agitación se reduce al nivel necesario para mantener los flóculos de los lodos en suspensión, y tener, por lo tanto, una mejor ruptura de los mismos y por cor-

tante mejorar la capacidad de sedimentación de los lodos. La concentración alta de saturación significa que es posible mantener un alto nivel de operación de la concentración del oxígeno disuelto en la etapa de aereación, sin una gran pérdida en la fuerza de impulsión, ni el incremento de la energía para compensar la transferencia de masa.

4.5.6.4.1. Clasificación de sistemas de lodos activados con oxígeno de alta pureza.

Se han desarrollado y patentado sistemas que utilizan oxígeno de alta pureza en lodos activados y se clasifican como "sistemas abiertos" o "sistemas cerrados".

Los tanques cerrados ofrecen la ventaja de que evitan molestias por olores y por aspersion.

4.5.6.4.1.1. Sistemas cerrados.

El oxígeno de alta pureza en espacios cerrados presenta problemas, ya que muchas sustancias se queman intensamente en una atmósfera enriquecida con oxígeno.

En efluentes de plantas químicas es probable encontrar esta clase de productos; además los residuos caseros domésticos como aceites y grasas también son susceptibles (Baker y Carlson, 1978).

4.5.6.4.1.1.1. Riesgos y medidas para la utilización de oxígeno en los sistemas cerrados.

Los sistemas de tratamiento residual de oxígeno a baja presión, temperatura ambiente y la fase gaseosa saturada de vapor de agua, constituyen, un riesgo bajo; no obstante existe.

Para esto los tanque de oxigenación deben contar con sistemas para el control de acumulación de hidrocarburos en el espacio libre superior, y para purgarlos automáticamente con aire. La planta debe diseñarse de forma que el oxígeno puro no haga contacto con materiales combustibles, como lubricantes a base de hidrocarburos y que los materiales sean compatibles con el alto contenido de oxígeno.

4.5.6.4.1.1.2. Sistema "Unox".

Desarrollado por "Union Carbide" en 1977 (McWhirter, 1978) y se aplica en industrias de pulpa y papel, química y petroquímica, acero, hule sintético, cerveceras, colorantes, procesos de alimentos y farmacéuticos.

Consiste en un canal cerrado de oxigenación, dividido en compartimientos que constituyen un proceso de oxigenación de etapas múltiples, donde la fase líquida y gaseosa fluyen en la misma dirección. La concentración de oxígeno en la fase gaseosa dis-

minuye, en las sucesivas etapas según se consume y se sustituye por N_2 y CO_2 anhídrido carbónico.

Disminuye la concentración de nutrientes según el licor mezclado que pasa a través de etapas, de manera que el flujo en la misma dirección asegure que la fuerza impulsora de transferencia de oxígeno sea mayor en donde la demanda de oxígeno del licor mezclado sea también mayor.

4.5.6.4.1.1.3. Dispositivos para la transferencia de oxígeno.

Cada etapa de oxigenación está equipada por un equipo individual de contacto entre el gas y el líquido, y en la mayoría de las instalaciones es un aereador superficial (Brenner, 1978). El más común es un impelente de bomba centrífuga de baja velocidad, fabricado con poliester reforzado con vidrio, y de 1.2 a 3 m de diámetro (Albertson, Grunert, Nenov y Scaccia, 1978). Una turbina de álabes inclinados representa un disco aereador más simple y barato del aereador superficial. Dicha turbina gira en el sentido del "flujo hacia abajo" de manera que si estuviese sumergida induciría el flujo descendente en el líquido.

En una operación normal entre la superficie del gas y el líquido induce flujo radial.

Con el fin de ahorrar en el área de terreno, se ha comprobado la utilidad de aspersores rotativos sumergidos, en los lugares en

el que el gas del espacio libre se recircula a través del aspersor de cada etapa mediante ventilador de gas.

No obstante los sistemas de aereadores superficiales son más seguros que los de aspersión de gas (Baker y Carlson, 1978) y para tanques de hasta de 5 a 6 m de profundidad, han demostrado ser más efectivos en cuanto al costo (Brenner, 1978).

4.5.6.4.1.1.4. Sistema "Oases".

Desarrollado por "Air Products and Chemical, Inc.", consiste de un canal de aereación cerrado, equipado con aereadores superficiales, con turbinas adicionales en el fondo, colocadas donde se requiere un aumento en el mezclado (Brenner, 1978). El gas y el líquido fluyen con la misma dirección a través de una serie de etapas de contacto, y el suministro de oxígeno se controla por un sistema de presión y demanda.

Según se consume oxígeno, cae la presión en el espacio libre superior y se admite más oxígeno a través de una válvula de control de presión (Wyatt, Brown y Shabi, 1975).

El sistema funciona como respirador automático para la masa biológica.

Tiempo de residencia de 2 horas, carga de 0.7 Kg de D.B.O/Kg de sólidos de lodos-día, oxígeno disuelto 10 g/m³.

4.5.6.4.1.1.5. Otros sistemas cerrados.

Un proceso desarrollado por "Air, Inc.", efectúa la transferencia de oxígeno mediante un arreglo en el cual el licor mezclado cae a través de una atmósfera cerrada, rica en oxígeno, y contenida en un módulo de concreto precolado. El módulo de oxigenación está sumergido en el tanque de aereación, desde donde se bombea el licor mezclado al módulo utilizando un impelente de flujo axial. Después de la oxigenación, el licor mezclado regresa al tanque de aereación a través de lumbreras en la base del módulo, y se utiliza la concentración del oxígeno en el licor mezclado para controlar la tasa de suministro y la altura de la caída del líquido (McWhirter, 1978) se le conoce como "oxigenación forzada de caída libre" o sistema "F30".

Otro sistema consiste en encerrar al tanque convencional de aereación con una cubierta plástica inflable. El oxígeno se introduce por medio de difusores de burbujas finas, y el gas rico en oxígeno se recircula a través de aspersores de burbujas gruesas y se purga parcialmente utilizando un ventilador de gas (Brenner, 1978), el sistema se le conoce como "Simplox".

La ventaja es que producen un efluente de buena calidad, y la inversión de capital es baja, pero la energía utilizada es mayor que en los sistemas de etapas múltiples, debido a que la fase gaseosa encerrada tiene la misma concentración que el gas de escape, con una fuerza impulsora proporcionalmente baja para la transferencia de oxígeno.

4.5.6.4.1.2. Sistemas de tanque abierto.

El desarrollo de dispositivos de alta eficiencia para la disolución del oxígeno ha permitido usar oxígeno de alta pureza en tanques de oxigenación abiertos, evitando los riesgos de la atmósfera cerrada y rica en oxígeno, y se tiene una mayor facilidad de acceso al sistema de tratamiento para la inspección y mantenimiento. La mayor ventaja consiste en que se incrementa la capacidad de tratamiento de los tanques de aereación convencional con una baja inversión de capital y sin necesidad de construir canales de aereación.

El sistema de oxigenación puede instalarse como suplemento adicional a los sistemas de aereación, a fin de proporcionar oxígeno disuelto suplementario para afrontar sobrecargas esporádicas, picos regulares y aumento de carga. Para aumento de la capacidad se sustituye el sistema convencional por el de oxigenación.

El sistema permite el escape a la atmósfera de anhídrido carbónico presente en el licor mezclado, antes de que se acumule.

4.5.6.4.1.2.1. El sistema "Vitox".

La "B.O.C Ltd" ha desarrollado dos dispositivos de oxigenación de alta eficiencia y les ha dado nombres de "Vitox I" y "Vitox II".

4.5.6.4.1.2.1.1. El sistema Vitox 1

Parte del líquido que se ha de oxigenar se bombea a presión de 2 a 3 bars a través de un venturí dentro del cual se inyecta oxígeno.

El oxígeno se arrastra en forma de burbujas finas, y el flujo de gas y líquido se descarga dentro del licor mezclado contenido en el tanque de oxigenación, a través de una tobera de expansión.

La descarga de alta velocidad rompe las burbujas haciéndolas aún más pequeñas, las que entonces se mezclan dentro del volumen del líquido a causa de la turbulencia asociada. El uso de oxígeno obtenido es alrededor de 95 % y la demanda de energía de la bomba es aproximadamente 400 KWh/Ton de oxígeno disuelto (Boon, 1978).

4.5.6.4.1.2.1.2. El sistema Vitox 2

Es un cortador de burbujas o "difusor de campana" de flujo descendente. Se inyecta oxígeno a una corriente del líquido que se quiere oxigenar, el que luego pasa a un recipiente en el cual el líquido fluye a baja velocidad. Esta es la "campana" o contactor de burbujas, que actúa como un clasificador de las mismas, de manera, que aquellas que tengan una baja velocidad de elevación, se arrastran junto con el retorno del líquido al tanque principal de oxigenación.

Estas burbujas se disuelven rápidamente, y las más grandes se retienen por el recipiente contactor hasta que su tamaño se reduzca por disolución del oxígeno hasta que sean suficientemente pequeñas para que se puedan arrastrar. El sistema opera a baja presión y utiliza una séptima parte de la energía de bombeo de los sistemas convencionales de aereación.

4.5.6.4.1.2.2. El proceso "Megox".

El uso del sistema "Vitox 2" permite combinar la reacción biológica y las etapas de sedimentación en un solo tanque, lo que constituye un proceso de tratamiento con oxígeno de alta pureza, conocido como "Megox", desarrollado por la "BOC Ltd".

El suministro de aguas residuales se mezcla con lodos recirculados, con inyección de oxígeno que se hace pasar a través del contactor de burbujas de flujo descendente. El licor mezclado altamente cargado con oxígeno, por lo que será muy poca la agitación que requiera, y los lodos, se asientan mediante un consolidador rotativo que opera a baja velocidad, el licor tratado se eleva por la zona concéntrica externa del clarificador hasta llegar al vertedor de descarga de efluente tratado. Se extraen los lodos,

una parte se desecha y el resto se recircula con la mezcla de aguas residuales. La inyección de oxígeno se controla mediante sensores.

El proceso se adapta para industrias de procesamiento de alimentos.

El lodo producido es de buen asentamiento y en menor cantidad que un sistema convencional.

4.5.6.4.1.2.3. El proceso "Primox".

La B.O.C Ltd en colaboración con el "Water Research Center" desarrollaron un sistema de oxidación para aguas negras, que fluyen a través de tuberías en forma ascendente por bombeo, y llegan a un sistema cerrado. El oxígeno se consume rápidamente, por lo que se inyecta más en el extremo inferior de la línea a una tasa prolongada, ya que se trata de una "Inyección de oxígeno en el bombeo principal de la ascendente" (I.O.B.M.A) o en inglés "Pumped Rising Main Oxygen Injection".

El equipo es simple y se tiene un grado considerable de tratamiento en la propia alcantarilla, además de evitar condiciones anaeróbicas y sus problemas asociados.

4.5.6.4.1.2.4. El proceso "Marox".

Se utilizan difusores rotatorios de cortante hidráulico, en el proceso de tratamiento de oxígeno de alta pureza en tanques abiertos.

Las burbujas pequeñas producidas por el cortante hidráulico aseguran un uso de oxígeno de 90 a 95 %. El oxígeno se alimenta a una presión de 1.3 a 2 bars, y la capacidad de disolución del oxígeno es de aproximadamente 32 Kg de oxígeno/hora (Brenner, 1978).

4.6. ELUTRIACION.

En tratamiento de lodos, se trata de un proceso de extracción, mediante agua o efluentes de tratamiento.

Los compuestos amínicos o amoniacaes que se encuentran en cantidades excesivas disminuyen la cantidad de coagulante.

Por lo que se usa como tratamiento previo a la coagulación.

El tratamiento consiste en mezclar los lodos con agua o con un efluente durante un período corto de tiempo, (menor a 20 segundos) mediante agitación mecánica o de difusión de aire.

Se sedimenta el lodo y el sobrenadante regresa a el proceso.

El proceso se lleva a cabo en tanques similares a los de sedimentación, en los que los lodos y el agua entran por extremos opuestos. La tubería y los canales están dispuestos de forma que el agua que entra al segundo tanque; ya se puso en contacto con los lodos del primero. La cantidad de agua requerida es el doble o triple de los lodos que se estén elutriando.

4.6.1. Ventajas de la elutriación.

- 1.- Disminuye del 65 al 80 % la cantidad de productos necesarios para el acondicionamiento.
- 2.- Menor contenido de cenizas en la torta del filtro.
- 3.- Se requiere poca o nada de cal para el acondicionamiento.

El costo del equipo y su operación debe estar balanceado de forma que, el ahorro de productos químicos sea más rentable. (Departamento de Sanidad de Nueva York, 1990).

4.7. FILTRACION AL VACIO.

El filtro consta de un tambor giratorio sobre el que descansa el medio filtrante formado por una tela de algodón, lana, nylon, dynel, fibra de vidrio o plástico, una malla de acero inoxidable, limaduras de acero inoxidable.

4.7.1. Operación de un filtro al vacío.

El tambor se encuentra montado sobre su eje horizontal y sumergido aproximadamente a una cuarta parte en el lodo acondicionado. Las válvulas y la tubería están dispuestas de manera que, a medida que el tambor gira lentamente aplicando el vacío en el interior del medio filtrante, va extrayendo el agua de los lodos y manteniendo el lodo adherido.

Se aplica vacío en el filtro hasta que el tambor gira fuera del lodo hasta llegar a la atmósfera. Esto hace que el agua salga del lodo, dejando una capa o torta húmeda sobre la superficie exterior.

4.7.1.1. Condiciones para operar un filtro al vacío en forma óptima.

La medida de funcionamiento de los filtros está dada por Kg/Hr. Los lodos acondicionados deben filtrarse después de la adición de polielectrolitos y de una mezcla adecuada. Por ello es preferible un acondicionamiento continuo a el intermitente.

La filtración es mejor en lodos totalmente digeridos que en los que no lo están.

Los lodos a filtrar deben encontrarse concentrados para una buena operación.

El lavado de material es recomendable mediante aspersion a presión, después de cada período y si existe obstrucción por grasas, se puede utilizar una solución jabonosa caliente, o en caso de calizas, tratar el filtro con ácido clorhídrico diluido, así como mantener ajustada las cuchillas.

4.7.2. Filtros de correa.

En los filtros de correa, se debe verificar que las telas se encuentren en buen estado y que no se taponen. Asimismo los sistemas de tracción deben funcionar adecuadamente y que la tensión en la tela sea la correcta. Evitar el uso excesivo de productos químicos.

Los lodos después de la operación estarán listos para su almacenamiento y posteriormente el transporte a disposición final.

4.8. DESAGUADO.

En el desaguado o deshidratación de lodos, éstos se espesan a un valor cercano al 4 % de sólidos, entonces se deshidratan para 22%, y entonces se secan hasta un valor de 50 % para su disposición final.

Típicamente el lodo es puesto en camiones y manejado para un nivel de sólidos de 18 % a 22 %.

El lodo se acondiciona para mejorar sus características mediante la adición de polielectrolitos.

Cuando los sólidos del lodo se coagulan, el agua absorbida se libera reduciendo el contenido de humedad, haciendo su manejo y transporte más barato.

La dosificación apropiada se determina mediante una evaluación del lodo en el laboratorio.

Los lodos primarios son más fáciles de tratar que los secundarios, por que los primarios contienen materia más grande.

4.9. ACONDICIONAMIENTO QUIMICO.

4.9.1. Objetivos del acondicionamiento.

El acondicionamiento hace más económico un tratamiento químico ulterior con filtros al vacío o centrífugas.

4.9.2. Productos utilizados comunmente para acondicionar un lodo.

Se emplean comunmente productos químicos variados como ácido sulfúrico, alumbre, caparrosa verde clorada, sulfato ferroso, cloruro férrico con o sin cal y otros más.

El factor determinante es el costo local de los diferentes productos químicos.

La adición del producto químico a los lodos, baja el valor de su pH hasta que las partículas más finas se coagulan formando otras más burdas y el agua contenida se separa.

Para acondicionar un lodo, es esencial mezclarlos con un coagulante de forma íntima y se utilizan dosificadores para aplicarlos.

4.9.2.1. Coagulantes y Floculantes.

Las sales de aluminio y hierro se emplean ampliamente para cambiar parámetros de contaminación del agua produciendo un lodo.

El flóculo formado por la aglomeración de muchos coloides puede que no sea lo suficientemente grande como para asentar o desaguar a una velocidad requerida.

Un floculante captura partículas suspendidas dentro de largas cadenas de materia aglomerada.

Se utilizan típicamente poliacrilamidas, como material sintético y son productos con un alto peso molecular.

Un polímero sintético puede tener un tamaño de cadena variable, pudiendo estar cargado positiva o negativamente, o simplemente no estarlo y puede estar en presentación sólida, líquida soluble o parcialmente soluble.

4.9.2.2. Coagulación y Floculación.

En separaciones líquido-sólido, la coagulación-floculación se considera en un mecanismo de dos pasos.

4.9.2.2.1. Mecanismo de coagulación.

Neutralización y desestabilización de la carga de la materia coloidal y adsorción desestabilizadas por los flóculos.

La estabilidad aumenta con la presencia de una carga eléctrica que se desarrolla en la interfase de la partícula y el agua. El primer paso es la desestabilización del coloide, logrado por una

reducción de la fuerza de repulsión entre las partículas de la misma carga. La coagulación es un proceso el cual la carga superficial de la partícula coloidal es reducida al punto donde no es lo suficientemente fuerte para prevenir la colisión de partículas.

La carga superficial es sólo reducida, y el coloide sigue conservándola.

La desestabilización se da en dos pasos, interacción química y proceso físico. La interacción química es la neutralización de la carga, mientras que el proceso físico es en términos de compresión de doble capa.

El tipo de coloide y su concentración determinan cual mecanismo ejerce mayor influencia.

La interacción química es simplemente la reacción entre las especies presentes en la solución. La neutralización de carga toma lugar a través de un ionización de grupos químicos en la superficie del coloide, y la adsorción de cualquiera de iones de masa molecular baja tales como H^+ , o iones poliatómicos derivados de coagulantes inorgánicos como sales de hierro y aluminio.

El proceso físico llamado compresión de doble capa, llega a ser el mecanismo predominante en separaciones líquido-sólido en efluentes industriales.

El coloide tendrá una carga superficial negativa la cual se balancea por iones positivamente cargados y dispersos en la solución acuosa.

Estos iones contrarios forman una capa doble, una capa fija cercana a la partícula (capa de Stern), y una difusa extendida dentro de la solución llamada capa de Gouy-Chapman. Si una fuerza externa induce movimiento de partículas, un corte en el plano se establece en cual sólo parte de la capa difusa de los contraiones se moverá con el coloide.

El potencial electrocinético para este corte de plano se define como el potencial zeta.

La compresión de doble capa ocurre cuando la capa de Stern de contraiones concentrados en la solución adyacentes a la superficie. El efecto es una neutralización entre la capa superficial negativa sobre el coloidal y la capa superficial positiva de Stern en la solución, resultando en un decremento en el potencial electrostático. En esta forma las fuerzas repulsivas entre los coloides son reducidas, y las partículas coloidales pueden llegar a juntarse.

De la misma forma, por neutralización de cargas o también por compresión de doble capa, el potencial zeta del coloide se reduce, permitiendo que se reduzca el radio efectivo entre las partículas también para reducirse de forma que las fuerzas de atracción que gobiernan la floculación predominen.

Una vez que se coagulan los sólidos suspendidos y/o las partículas coloidales, y que tienen una carga negativa repulsiva, la floculación puede darse.

4.9.2.2.2. Mecanismo de floculación.

Floculación es la aglomeración de pequeñas partículas sobre un agregado extenso, llamado flóculo, y el subsecuente sedimento del precipitado.

Existen tres mecanismos para floculación, los cuales suceden simultáneamente.

- a) Fuerzas de Van der Waals.
- b) Enmallado.
- c) Quimisorción.

4.9.2.2.2.1. Influencia de las fuerzas de Van der Waals en la floculación.

Fuerzas de Van der Waals: Se refiere a la atracción gravitacional entre dos partículas, el coloide desestabilizado y el agente floculante formado intencionalmente, el cual causa colisiones y atracciones.

4.9.2.2.2. Efecto de enmallado en la floculación.

Enmallado: El atrapado de las partículas dentro de la red de un flóculo existente.

4.9.2.2.3. Fenómeno de quimisorción dado en la floculación.

Quimisorción: El puente intermolecular entre el coloide y la especie floculante.

Todos estos mecanismos describen el proceso donde el contaminante es adsorbido dentro del flóculo.

4.10. CARACTERISTICAS Y TRATAMIENTOS MAS COMUNES PARA DIFERENTES EFLUENTES INDUSTRIALES.

A continuación se presenta un cuadro representativo en el que se indica las características de los desechos en diferentes industrias y que métodos se emplean para el tratamiento de sus efluentes. (Departamento de Sanidad de Nueva York, 1990).

CUADRO 4.10.1.

DESECHOS INDUSTRIALES Y SUS CARACTERISTICAS.

INDUSTRIA	DESECHO	CARACTERISTICA
Lecherías. (Lugar de recepción, embotelladoras, cremerías, condensadoras, planta de queso)	Fugas de juntas de tubería mal ajustada. Agua de lavado de equipo y pisos.	D.B.O alta, alta carga de sólidos orgánicos. (aereación por lodos activados)
Carne. (Corrales, mataderos, empacadoras)	Abono, heno, paja, suciedad, grasas, estiércol, material fibroso, pelos.	D.B.O alta, contenido alto de sólidos suspendidos (lodos activados, digestión anaeróbia, coagulación)
Fermentación. (Cerveceras, destilerías, plantas productoras de alcohol)	Grano agotado. "flemas".	Si no hay recuperación de material la D.B.O es alta, de lo contrario ésta baja. (Recuperación para forraje)
Farmacéutica.	Compuestos orgánicos remanentes de elaboración de medicamentos.	D.B.O alta. (incineración)
Alimentos. (Azúcar, derivados del maíz, empacadoras de frutas y legumbres, jugos, conservas mediante enlatado, salado, deshidratación y congelación, elaboración de salsas, aderezos, golosinas, etc.)	Depende de la industria. Limpieza, lavado, cocido, blanqueado, residuos de refinado, residuos orgánicos y todo residuo derivado de la elaboración del alimento según la industria que se trate.	D.B.O alta, contenido alto de sólidos orgánicos. (Sedimentación, coagulación, descomposición anaeróbia, composteo).

FUENTE: Departamento de Sanidad de Nueva York, 1990.

CUADRO 4.10.1.(continuación)

DESECHOS INDUSTRIALES Y SUS CARACTERISTICAS

INDUSTRIA	DESECHO	CARACTERISTICA
Textil	Residuos alcalinos o ácidos remanentes de grasas, álcalis y basuras, sólidos coloidales, compuestos inorgánicos.	Sólidos suspendidos, D.B.O alto, (Coagulación, neutralización, proceso anaeróbico o aeróbico según sea el caso)
Lavanderías	Jabones, detergentes, sólidos y grasas remanentes.	Suspensiones coloidales, tensoactivos, D.B.O en concentración media.
Curtidurías	Proceso de pieles, agua de lavado de pieles y cuero, desechos de tinas de encalado, descarnadores y escurrido, licor tánico, agua de enjuagado de tinas de encalado así como sus fugas, álcalis y ácidos gastados, etc.	Residuos altamente contaminante, se recomienda la aereación por la presencia de cal.
Papeleras	Desechos de pulpa y papel, madera, paja, bagazo, papel de desperdicio, productos químicos gastados, lignina, aguas blancas.	Son resistentes a oxidación biológica. (Se utiliza la flotación para recuperación de fibras)
Acabado de metales	Rebabas de metales, ácidos, iones metálicos, cianuros, cromatos, sulfato ferroso, azufre y óxido de hierro.	Desechos altamente tóxicos para organismos macroscópicos y microscópicos. (Debe pretratarse para precipitar los metales)

FUENTE: Departamento de Sanidad de Nueva York. 1992.

CUADRO 4.10.1. (continuación)

DESECHOS INDUSTRIALES Y SUS CARACTERISTICAS.

INDUSTRIA	DESECHO	CARACTERISTICA
Petróleo.	Aceites, salmueras, fenoles, azúfre, petróleo.	Productos orgánicos e inorgánicos, D.B.O alta. (lagunas de oxidación, neutralización, destilación)
Gas y Coque	Fenoles, productos con sabores y olores fuertes, difíciles de eliminar, cresoles, sulfuros.	D.B.O alta, productos orgánicos e inorgánicos.
Minera	Agua de lavado, carbón y materia suspendida.	Productos inorgánicos. (Coagulación)

FUENTE: Departamento de Sanidad de Nueva York. 1990.

4.11. TRATAMIENTO INDUSTRIAL PARA ELIMINACION DE DIFERENTES CONTAMINANTES.

4.11.1. Remoción de plomo.

El plomo se remueve con una solución de resinas quelatantes que contienen grupos funcionales de fósforo o de piridina. Por lo que 200 partes de poliestireno clorometilado tratado con $Pb(OEt)_2$, para dar la resina con un grupo que contiene fosfonato mostrando una absorción de 10.3 mg/g de resina. (Matsuda, Kimiak, Aoi, Masashiro, 1988.)

4.11.2. Remoción de nitrógeno y fósforo de lodo orgánico.

Un proceso de lodos activados para tratamiento de residuos orgánicos, tales como lodos de aguas residuales incluyen pasos de aereación y nitrificación, asentamiento y reciclado del lodo activado. Algo de lodo sedimentado se trata por desnitrificación y entonces el fosfato se descubre, de donde el fósforo se libera del lodo mediante condiciones anaeróbicas y lavado fuera.

El lodo se recicla después de éste tratamiento adicional a un paso de aereación. Los microorganismos que forman flóculos se utilizan selectivamente para mantener las condiciones apropiadas de crecimiento para prevenir el abultamiento. (Kim, Changgwhoi, Lee, Sangeun, 1988.)

4.11.3. Tratamiento de lodos de aguas residuales por solidificación.

Antes de la disposición de los lodos desaguados se solidificaron por adición de cenizas de carbón vegetal con buenos resultados. (Otte-Witte, Rolf, Rauber, Marion, 1990.)

4.11.4. Desintoxicación de residuos industriales conteniendo metales pesados.

Los lodos industriales que contienen metales pesados se extruyen formando una pasta mezclada con pequeñas cantidades de compuestos de azufre (Na^2S_n , NaHS) para dar iones de azufre en agua entonces se agrega un polímero orgánico (sal de poliacrilato de sodio) para atrapar los iones de metales pesados. La mezcla se encapsula y solidifica antes para su disposición. (Sakuma, Eizo, 1989.)

4.11.5. Tratamiento de efluentes de blanqueo de pulpa de papel mediante lodos activados, precipitación, ozonación e irradiación.

Los efluentes convencionales de la pulpa de blanqueo representa el principal problema de disposición de aguas residuales por ser no biodegradable.

Actualmente la calidad demandada de las descargas requiere de nuevos métodos que superen los biológicos convencionales. La experiencia muestra que solo un paso extra en el tratamiento parece tener éxito.

En una primera etapa por ejemplo: Precipitación, floculación, oxidación con ozono y radiación de alta energía (rayos gamma).

La resistencia de las sustancias orgánicas deben cambiarse a sustancias biodegradables. La eliminación principal debe hacerse en un paso biológico, y concentración remanente puede eliminarse mediante un tratamiento final de adsorción por carbón activado. (Urban, Haberl, Gehringer, Szinovatz, 1990)

4.11.6. Tratamiento mediante el uso de lodos activados para efluentes de plantas de papel Kraft y blanqueo mediante oxígeno.

Tratamiento convencional y blanqueo mediante oxígeno, fibra corta mediante procesos de lodo activado fueron llevados a cabo a escala de laboratorio.

El principal interés fue el destino de compuestos organoclorados en lodos activados. En el tratamiento de aguas de blanqueo la reducción de D.B.O fue de 80 - 91 % y en aguas residuales de blanqueo por oxígeno 86 - 93 %. La D.Q.O removida fue de 40 y cerca de 50 % respectivamente. (Nevalaiden, Rantala, Juna, Lamini, 1990).

4.11.7. Tratamiento de efluentes de destintado de telas con el proceso de lodos activados.

Para reducir la carga contaminante causada por residuos de destintado de telas, se intenta tratarlo por lodos activados. Generalmente los tintes son tóxicos a los microorganismos y

muestran acción inhibitoria para el proceso aeróbico. El residuo fue deficiente en contenido de nitrógeno y fósforo en las tinas de aereación. Por lo que se complementa con nitrógeno y fósforo en la forma de $(\text{NH}_4\text{HPO}_4)$. (Thorat, Kapadnis, Nath, Robinson, 1991).

4.11.8. Tratamiento de lodos industriales de Galvanoplastia en Portugal.

El problema principal es la disposición de las aguas residuales y el lodo. En este sentido éste último es difícil de desaguar. Se resolvió el problema mediante floculación con polielectrolitos no iónicos y iónicos como un paso preparatorio para incrementar la eficiencia de desaguado de sólido/líquido por sedimentación y centrifugación. (Chambino, Bartolomeu, Ganho, Nath, 1991).

4.11.9. Estudios de planta piloto sobre agua residual de tenerías con objeto de reducir la producción de lodo.

El proceso Ludzack-Ettinger modificado para contenido alto de nitrógeno en efluentes se observó sin pretratamiento fisicoquímico normalmente adoptado para eliminar del agua de tenerías los compuestos potencialmente inhibitorios para procesos biológicos. (Szpyrkowicz, Rigoni-Stern, Grandi, Grau, Gujer, 1990).

4.11.10. Tratamiento biológico de residuos peligrosos, lodos y aguas residuales.

El tratamiento biológico es aplicado en corrientes acuosas con contaminantes orgánicos. El residuo influente contiene tanto materia orgánica disuelta o insoluble susceptibles a biodegradar-se. Los microorganismos dependen de las enzimas para descomponer compuestos orgánicos.

El oxígeno es esencial para la descomposición de hidrocarburos. En tratamiento anaeróbico se produce eventualmente CO_2 y H_2O . En proceso anaeróbico solo compuestos orgánicos simples se descomponen. (Cheresmisinoff, 1990).

4.11.11. Licuefacción directa de lodo activado de efluentes de almidón de maíz.

Lodos activados de una planta procesadora de almidón de maíz, se convierten directamente en aceite pesado por adición de Carbonato de Calcio de más de 20 % en peso, y calentado a temperaturas entre 225 y 340°C manteniéndolas a tiempos arriba de 120 minutos (2 Hrs) sobre una atmósfera presurizada inerte de nitrógeno. La licuefacción se realiza sin catalizador.

Los rendimientos fueron influidos por el tiempo de residencia y la temperatura.

Aceite pesado con un valor de calentamiento de 32 MJ/Kg fue

obtenida con 30 % en peso sobre una base libre de humedad y cenizas con temperatura de 300°C y tiempo de residencia de 60 minutos. (Murakami, Yokoyama, Ogi, Koguchi, 1990).

4.11.12. Mejoramiento de eliminación de D.Q.O en plantas de tratamiento de lodos activados para aguas residuales de pulpa y papel.

En años recientes, las autoridades son más exigentes sobre la normatividad de la D.Q.O para efluentes industriales en adición de las limitaciones para D.B.O.

La optimización de la operación en tratamiento de lodos activados puede ser una vía efectiva para reunir estas regulaciones sin incrementar en costo. Un buen sistema dimensionado aeróbico, anaeróbico adicionado tratamiento aeróbico para aguas residuales de plantas de papel es capaz de reducir en efluentes cargas de D.B.O. hasta valores abajo de 25 mg/ L.

Si la planta aeróbica es lo suficientemente grande para llegar a éste límite, la eliminación de D.Q.O será una cantidad relativa de eliminación respecto a la D.B.O.

Si la eliminación de D.Q.O no es suficiente para satisfacer los requerimientos oficiales de concentración en el efluente, el mejoramiento de su eliminación para optimizar las condiciones de operación del lodo activado es posible. (Moebius, Lounsi, Rantala, 1987).

4.11.13. Tratamiento de agua residual en un sistema de lodos activados con sistemas de carbón activado en polvo (P.A.C).

Un estudio comparativo se llevó entre producción de lodo activado ayudado por carbón activado en polvo (PACT (proceso de tratamiento con polvo activado)) y el proceso PACT en combinación con aire húmedo con regeneración de carbón activado con lodo excedente. El proceso último se comercializa con el nombre de sistemas de recuperación de aguas residuales (WRS).

Durante el experimento comparativo el choque de cargas se estudió por adición de anilina y ortocresol a el influente. También se puso atención para la descomposición de los componentes adsorbidos y la actividad biológica del lodo. (Van Luin, Terluinc, Kolaczkowski, Critteden, 1987).

4.11.14. Tratamiento de aguas residuales de pulpa con membranas de ultrafiltración.

Las aguas residuales alcalinas son tratadas con compuestos que contienen grupos sulfónicos, membranas semipermeables para remover color y D.Q.O. Por lo que un copolímero que contiene 57:43 relación mol de unidades de repetición $p\text{-OC}_6\text{H}_4\text{O-p-C}_6\text{H}_4\text{SO}_2\text{-p-C}_6\text{H}_4$ y $p\text{-OC}_6\text{H}_4\text{SO}_2\text{-p-C}_6\text{H}_4\text{O-p-C}_6\text{H}_4\text{HSO}_2\text{-p-C}_6\text{H}_4$ fue sulfonado y neutralizado con Na(OH) para dar un copolímero (I) con capacidad de intercambio iónico 1.2 meq/g. Una membrana de ultrafiltración conteniendo unidades repetidas de $p\text{-OC}_6\text{H}_4\text{SO}_2\text{-p-C}_6\text{H}_4\text{O-p-C}_6\text{H}_4\text{CMe}_2\text{-p-C}_6\text{H}_4$.

fue cubierto con una solución de Iodo en $\text{MeOCH}_2\text{CH}_2\text{OH}$ y glicerina, calentando 5 minutos a 60°C para dar una membrana semipermeable.

Un agua residual de pulpa Kraft que contiene 1,400 ppm de D.Q.O se filtró usando la membrana a 60°C y 10 Kg/cm^2 para dar un filtrado con eficiencia de remoción de 84 % de D.Q.O. (Ogurusu, Tasaka, Ikeda, Kubota, 1987).

4.11.15. Inmovilización de microorganismos por uso en tratamiento de aguas residuales.

Un método para la inmovilización de microorganismos que retienen sus actividades comprendidas contactando una solución mixta que contiene microorganismos, carbonato y polivinil alcalino. Con un acarreador sobre generación de burbujas por descomposición de carbonato, se forman poros en el acarreador y los microorganismos son inmovilizados en los poros.

La inmovilización de lodo activado utilizando NaHCO_3 y uso se demostró por Kitano y Kiyoyuki (1988).

4.11.16. Descomposición de pentaclorofenol por digestión anaerobia.

El uso de lodo de agua residual aclimatado en mezcla de lodo anaerobio, mejora la descomposición de residuos de pentaclorofe-

nol (P.C.B). Su descomposición aumenta con el tiempo. La adición de efluentes de celulosa y papel a el reactor no afecta la descomposición de P.C.B.(Kudo, Akira, 1989).

4.11.17. Estabilización de tóxicos inorgánicos para disposición.

El material a estabilizar se mezcla de 6-10 partes en volumen con dolomita 2-4, cemento 2-2.5, vidrio líquido (silicato de sodio) 0.1 - 0.5, una mezcla de catalizador de pirolusita y $KMnO_4$ 0.05-0.03 y agua en proporción menor de 3.5 partes en volumen.

La mezcla se reparte en forma en forma que endurece y es ideal para relleno sanitario y resistente a la lixiviación. Por ejemplo en pruebas con ácido cítrico. El proceso es conveniente para disponer de cenizas, polvos de filtros, lodos, etc.(Kampfhammer, Friedrich, 1988).

4.11.18. Reactor Biológico de Disco Rotatorio.

El reactor consiste en un contenedor con cojinetes en los cuales un eje que impulsa el motor se sitúa, donde se encuentra la película biológica sujeta al eje y provee con unos comederos de aire con rajaduras longitudinales sobre el otro extremo.

Los comederos se montan sobre el brazo transportador usando pernos en ambos extremos.

El arreglo asegura un suministro de aire para la biomasa suspendida en el tratamiento.(Krizanovic, Frantisek, Kos, Miroslav, 1985).

4.11.19. Tratamiento de lodos con enzimas.

Los lodos se mezclan con un agente quelatante e hidrolizan enzimas tratadas mientras se aerea con oxígeno gaseoso. Por lo que una mezcla en el tanque de sedimentación primaria con un exceso de lodo se pone con 30 g nitrilo acetato de amonio/10 m, de lodo y 50 g mezcla de enzimas de beta-gluconasa, anilasa, proteasa y lipasa/ 10 m, de lodo y se pone 8 horas a 40°C.

El lodo se sedimenta con un sobrenadante que contiene componente de D.Q.O 5,000 y D.B.O 800 mg/l. Finalmente el lodo se utiliza como fertilizante.(Tango, Hidehiro, Hotsuta, Hidekazu, 1988).

4.11.20. Remoción de cromo hexavalente de efluentes ácidos industriales.

La electrocoagulación es 100 % efectiva en reducción de Cr(VI) en agua residual de metales no ferrosos. El método no da concentración Cr (VI) en efluentes tratados debido a la reaparición de Cr (VI) durante la neutralización de efluentes electrocoagulados.(Shishkin, Taran, Komisarova, 1987).

4.11.21. Tratamiento de lodos que contienen metales pesados.

El lodo se trata por degradación biológica con agentes acomplejantes (E.D.T.A) en exceso para solubilización de los metales y con enzimas (gluconasa, proteasa, amilasa) para estabilización posterior. El lodo es desaguado después de mezclar con cenizas como agente sujetador. El agua resultante del desaguado se dispone a través de tratamiento posterior con $(\text{NH}_4)_2\text{S}$ para precipitación y remoción posterior con intercambiadores catiónicos. (Ledendorf, 1985).

4.11.22. Tratamiento de agua residual que contiene fluor y metales pesados.

El fluor y metales pesados se remueven simultáneamente por mezcla secuencial con compuestos de azufre, sales ferrosas y compuestos de aluminio para formar flóculos de metales pesados y compuestos de fluor, adicionando una ayuda de coagulante mediante una agitación, y esto conduce a una separación líquido-sólido. El agua (pH 7.5) conteniendo S.S. 52, D.B.O 12.5, Pb 4.6, Cd 0.3, Hg 6.44 y F 35 mg/ L se mezcla con NaHS 70, FeCl₃ 100 y Al₂(SO₄)₃ 500 ppm, ajustando pH 7 y agitando 15 minutos, entonces se agrega el polímero agitando 20 minutos y reposando 30 minutos.

El sobrenadante se filtra obteniendo agua tratada pH 7.8, S.S 23, D.B.O. 8.7, Pb 0.148, Cd 0.02, Hg 0.0035 y F 6.5 mg/l. (Nishizawa, Fusao, Hirao, Tomohiko, 1987).

4.11.23. Desaguado y utilización de lodo en tratamiento de agua residual.

El lodo de tratamiento por flotación de una calcaetería se desaguan mediante filtros de arena al vacío para dar una torta con 80-86 % humedad para disposición. La torta digerida con H_2SO_4 produce una solución que se usa en la coagulación de afluente. (Chistayakova, Belostostskii, 1990).

4.11.24. Desaguado de lodo granulado.

Un método para etapa dual de desaguado de lodo granulado comprende la adición de H_3PO_4 o sus sales en solución acuosa, la adición de un coagulante y de cenizas de un incinerador con el fin de incrementar el poder calorífico del lodo desaguado. (Endo, Kazuo, Kato, Tatsuo, 1989).

4.11.25. Proceso de desaguado de un lodo biológico.

- 1) Calentamiento del lodo a 90-150°C a 0-55 psig para 15 minutos.
- 2) Centrifugar el lodo caliente para separar el líquido del sólido.
- 3) Acondicionamiento de los sólidos con químicos.
- 4) Desaguado de sólidos acondicionados para producir una torta con contenido alto de sólidos.

La torta se puede utilizar para relleno, fertilizante o para incineración. (Highsmith, Good, Lupton, Kehrer, Petrie, 1991).

4.11.26. Solidificación y estabilización de lodos peligrosos con cemento Portland.

Diversos estudios han conducido a investigar la facilidad y efectividad de solidificación/estabilización de lodos cargados con metales pesados con cemento Portland. Los resultados indican que las propiedades del lodo tienen un efecto significativo en la fuerza de las muestras solidificadas. Aditivos tales como cal, silicato de sodio, cloruro de calcio y cenizas mejoran la fuerza de compresibilidad y reducen el lixiviado de los metales. Estudios de lixiviación indican que la estabilización previene la liberación de los metales y da un producto no peligroso. (Tseng, Dyi, Hwa, 1988).

4.11.27. Coagulantes para tratamiento de lodo oloroso.

Ketoximas son mezcladas con compuestos de Zn en proporciones mayores o iguales a 1 de zinc como $Zn(OAc)_2$, $ZnSO_4$, $Zn(NO_3)_2$ y $ZnCl_2$, para formar un coagulante conveniente para tratar un lodo oloroso que contiene H_2S , aminas o mercaptanos. Por lo que un lodo con 160 ppm de H_2S y 80 ppm de MeSH se le dosifica un coagulante (teniendo $ZnSO_4$ /Ketoxima relación 5:1) y se alimenta a un filtro prensa para obtener un lodo con 0 ppm de H_2S y 10 ppm de MeSH. (Mikami, Morita, Tanimura, Ishii, 1988).

4.11.28. Coagulante inorgánico y su uso en tratamiento de aguas residuales.

Coagulantes que contienen 30-80 % de $Al(OH)_3$, y 20-70 % de cal viva se usan en tratamiento de agua residual. Los coagulantes se usan para tratamiento de lodo de pulpa de papel, minas, agua fuerte, etc.

De éste modo la pulpa Ph 5.5 con 700-800 ppm de sólidos suspendidos, se ajusta a pH 3.8 con H_2SO_4 , y posteriormente se mezcla con 300 ppm de coagulante.

$Al(OH)_3$, 27, $Ca(OH)_2$, 39 y 34 de H_2O por 4 horas. El coagulante forma flóculos grandes y una buena decoloración.(Nakano, 1987).

4.11.29. Potencial de generación de olor de aguas residuales.

El potencial de generación de olor (O.G.P) de un agua residual de una muestra se define como el flux de sustancias olorosas que se volatilizan de una unidad de agua residual. Basado en una reacción de decaimiento de primer orden de la concentración de olor de la muestra, cuando está sujeta a volatilización. El lodo sin digerir se identifica por tener un O.G.P más alto que otras muestras.

La aereación y una digestión anaeróbica reducen el O.G.P de su respiración.(Koe, 1990).

4.11.30. Deodorización de gases de fermentación de residuos orgánicos.

Los gases que contienen amoníaco, aminas y mercaptanos, especialmente de la fermentación de residuos orgánicos de procesos de alimentos, son deodorizados tratando los gases con lodos activados en tanque de aereación, descomponiendo el componente que da el olor. El método reduce costos y previene la contaminación del agua. (Kitano, Makoto, 1989).

4.11.31. Desodorante para lodos.

Comprende de goma de xantato, poliacrilamida o su acrilato y agua.

La goma de xantato actúa como dispersante y la poliacrilamida como un agente fluidizante, ambos hacen una suspensión desodorante fácil de manejar.

La goma está 0.25 % peso una poliacrilamida (peso molecular) * 0.4 * 0.25 % en peso, 1,2-benzoisotiazolona 50 % en peso. (Furukawa, Maruoka, Reiji, Hina, Seya, 1990).

4.11.32. Tratamiento de lodos residuales de impresión.

1) Solidificación con adición de agentes solidificantes con agitación.

2) Desaguando la mezcla de 30% a 75% de humedad en un aparato de compresión.

3) Secado con aire caliente.

4) Incineración de los sólidos secos. El gas de salida del incinerador se mezcla con aire con mayor de 15.6% de oxígeno usado como aire caliente para secado.

Es conveniente la utilización de soluciones acuosas de metales polivalentes. (Tanaka, 1989).

4.11.33. Tratamiento de lodos.

Los lodos orgánicos se tratan por:

1) Descomposición de los microorganismos en el lodo por adición de álcali pH 9-11.

2) Molienda de los microorganismos en un molino húmedo.

3) Digestión anaeróbica del lodo resultante.

4) Tratamiento aeróbico del agua separado del lodo.

(Nonoyama, Sato, Okada, Oshima, 1990).

4.11.34. Tratamiento de lodos residuales.

El lodo de tratamiento de aguas se calienta, concentra y separa el sobrenadante en un tanque de fermentación para producir metano (CH_4).

La fermentación se lleva a cabo en un reactor de lecho fijo, y el calentamiento se lleva de 130 a 175°C en una atmósfera oxidante. La velocidad de disolución del material sólido volátil se

incrementa y la resistencia a la filtración relativa disminuye para temperaturas de calentamiento mayores de 130°C. El tiempo de residencia, la velocidad de generación y concentración del metano en el gas son 48 horas, 690 L/Kg de materia sólida volátil y 72 % para este proceso ante 480 horas, 350 a 550 L/Kg de materia sólida volátil y aproximadamente 65 % para un método de control. (Kawsugi, Hakabun, Shioyama, Terao, 1987).

4.11.35. Remoción de cianuros de efluentes.

El cianuro es removido por tratamiento a pH de 9.2 a 10 con polisulfuros de metales alcalinos, alcalinoterreos, amonio y un surfactante catiónico de cadenas de carbono desde C₁₂₋₁₈ como Clatone 40.

4.11.36. Solidificación y reutilización de lodos de la industria del acero.

La resistencia y permeabilidad de los lodos que contienen residuos de acero, cenizas finas, escoria, cal hidratada, agua y bentonita en diferentes proporciones puede utilizarse como materiales de construcción de lagunas e impermeabilizantes de rellenos. Algunas de estas mezclas mostraron gran resistencia y permeabilidad. (Pamuku, Kugelman, Lynn, 1989).

4.11.37. Remoción de plomo y cadmio de efluentes industriales.

Método propuesto para remoción de cadmio y plomo de efluentes industriales, después de tener coprecipitación de complejos de sus pirrolidinditiocarbamatos con microcristales de naftaleno.

El proceso no involucra equipos, ni construcción, ni detalles mecánicos.

Las condiciones de pH, reactivos, tiempo de agitación se optimizan por la cantidad de metal absorbida por el complejos de pirrolidinditiocarbamato sobre el naftaleno.(Jain, Jha, Vasudevan, 1989).

4.11.38. Método y aparato para remoción de metales pesados de lodos y lamas.

En éste proceso, los lodos son acidificados con un mineral fuertemente ácido de pH menor a uno, los sólidos residuales removidos, y la solución de metales pesados se tratan con una base fuerte a pH de nueve o más, y los sólidos son removidos, la solución básica se mezcla con un floculante y un agente espumante, removiendo los sólidos por flotación en la espuma donde la capa de la misma es succionada y separada del líquido, decantando los sólidos.

El método es ideal para remover esta clase de contaminantes de puertos y ríos. El equipo consta de un decantador, sistemas de flotación, reductores de tamaño, espesador y separador de aceite. (Weber, 1990).

4.11.39. Tratamiento de lodos industriales.

El tratamiento de lodos industriales en especial el de las cerveceras o efluentes de plantas de almidón se concentran y son licuados de 40 a 170 atmósferas y de 250 a 350°C de temperatura en presencia de un catalizador alcalino y un medio acuoso como recubrimiento. Una fracción aceitosa se puede utilizar como combustible.

El catalizador es alginato de sodio, formiato de potasio e hidróxidos de metales alcalinoterreos. La fase aceitosa se separa por diferencia de densidad. (Yokoyama, Oguchi, Ogi, Uchiyama, Murakami, 1990).

4.11.40. Método para separación de cromo trivalente de lodo.

El lodo es tratado con ácido sulfúrico en solución acuosa 1:(0.5 o 1.5) y de 60 a 130°C para precipitar las sales dobles de $[(Cr_2(SO_4)_3 \text{ y } Fe_2(SO_4)_3)]$ seguido de un horneado de 100 a 400°C. La sal precipitada horneada es útil como acelerador de cementado. (Wang, 1989).

4.11.41. Tratamiento de efluentes y lodos de recubrimientos de plata.

El efluente y lodos de fotografía se mezclan con los lodos ajustando Ph de 8.5 a 10.5 (espesando con potasa (KOH)) y mezclando durante un período comprendido de tres a siete días. La mezcla se bombea y drena a un receptor en donde se adiciona de 1 a 3 % de cal viva (CaO) para espesar, y neutralizando con aguas acidificadas. El lodo espesado contiene aproximadamente un 6 % de plata ante menos del 1.5 % originalmente. La pérdida de peso de calentamiento de lodo es de 42 % aproximadamente. (Henning, Zoellner, Hanf, Mittag, Selig, Roesler, 1990).

4.11.42. Solidificación de lodos.

El lodo es solidificado mediante el uso de polímero absorbente (a) de agua (b), cenizas de incineración de lodo (c) y alúmina activada (d).

Para un cemento rápido se recomienda las mezclas de a: 100, b: 10, c: 1 a 10 y d: 0.01 a 1 partes y después se deja un tiempo a solidificar. (Sakano, Nakamura, Abe, Harada, Fukushima, 1987).

4.11.43. Manufactura de combustible a partir de lodos.

Los lodos de efluentes de procesamiento de gelatinas, y proteínas contenidas en huesos, piel, plumas o vísceras son inmersos en un aceite precalentado de 60 a 90°C en un recipiente sellado para

desaguar sobre presiones reducidas para obtener combustible. La presión se decreta de 10 a 20 torricellis por debajo de la presión atmosférica al principio y de 740 a 750 torricellis abajo de la presión atmosférica al final de operación.

El aceite puede ser vegetal, de pescado o grasa animal.

El lodo desaguado se separa del aceite mediante presión hasta formar combustible en polvo o mezclado con un aglutinante para formar briquetas o pastillas combustibles. (Nakazono, Fuchigami, 1988).

4.11.44. Uso de lodos de tratamiento de efluentes como materia prima para cemento.

El lodo secado de una suspensión de CaF_2 : 6.06, CaCl_2 :19, CaSO_4 :1.7, CaCO_3 :0.83, Ca(OH)_2 :0.16, NaBr :4.06, NaCl 4.1 y H_2O :82.6 % en peso.

La temperatura óptima es de 870°K; la temperatura del lecho es de 398°K; el flujo másico de gas es de 500 Kg/(m² hora), altura de lecho 0.4 m. Los gránulos obtenidos contienen 0.02 % en peso de humedad, lo que fue ideal para la manufactura de un cemento de alta resistencia. (Bespamyatnov, Akhmetov, 1990).

4.11.45. Estabilización de Residuos en Nueva Zelanda.

4.11.45.1. Proyecto de Composteo.

Un estudio de composteo para la estabilización de lodos de tratamiento de efluentes de industria de la carne, que consistió en cuatro pruebas para cuatro pilas desaguadas de lodos de 30m³ en mezcla con agentes de abultamiento como aserrín, viruta de madera y composta reciclada. La estabilización utiliza control de la temperatura mediante el uso de aire (etapa de aereación forzada) y termopares como medidores de temperatura.

El lodo termina su estabilización y al mezclarse con los agentes de abultamiento no permiten la propagación del olor. (Van Oostrom, Cooper, Adamson, 1991).

CAPITULO V

ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE.

5.1. ALMACENAMIENTO.

5.1.1. Necesidad de almacenamiento.

Es necesario almacenar los lodos que se generan en una fuente determinada, debido a la dificultad y al costo que implica el transporte y/o la disposición final de los mismos en el preciso momento en que se originan.

5.1.2. Temporalidad.

El tiempo de almacenaje depende entre otros factores de:

La cantidad de los lodos generados.

La calidad de los mismos.

El grado de degradabilidad que sufren con el tiempo.

El espacio disponible.

5.1.3. Tipo de almacenamiento.

Forma de Almacenar los Lodos.

Confinados.

Al aire libre.

5.1.3.1. Tipos de Unidades de Almacenamiento.

Contenedores. (tambos, depósitos metálicos o de plástico)

Semiabiertos.

Abiertos. (según la humedad contenida)

Estanques.

Impermeabilizados con material sintético o de forma natural.

Depósitos.

De concreto (recomendado para volúmenes altos de sólidos)

Envases de plástico (volumen pequeño de lodos)

5.1.4. Requerimientos de Funcionabilidad.

Capacidad suficiente para almacenar el lodo en la temporalidad definida hasta su transporte o disposición final.

Un lugar seguro e higiénico.

Facilidad de maniobrabilidad.

Manuales.

Ayuda de equipo de carga.

Un lugar adecuado para contener a los lodos por su calidad reactiva y su estado físico.

A menudo la capacidad de tratamiento de lodos no es suficiente para estabilizarlo totalmente por lo que es conveniente:

Identificarlo con letreros o etiquetas visibles mencionando su naturaleza e instrucciones para su manejo.

Señalamientos de peligrosidad.

5.1.5. Manejo de los Lodos.

El personal debe estar familiarizado con el manejo de los residuos en las unidades de almacenamiento.

Se deben utilizar uniformes, equipos, herramientas y protecciones adecuadas.

Las unidades de almacenamiento deben estar preparadas para su transporte, en caso de que así fueran sido diseñadas.

5.1.5.1. Alojamiento.

Se deben alojar en sitios en donde no interfieran con las actividades de la planta.

Deben encontrarse accesibles a vialidades para manejarse y transportarse rápidamente.

5.1.5.2. Incompatibilidad.

En las unidades de almacenamiento, no se deben alojar residuos que sean incompatibles. (NTE-CRP-003/88).

Esto es que no produzcan reacciones violentas o negativas para el ambiente, producidas por la mezcla de dos o más residuos peligrosos.

5.1.5.3. Consideraciones Generales de Seguridad.

En caso de que no solo se almacenen lodos residuales de tratamiento de efluentes industriales deben considerarse aspectos como:

Contar con plan de contingencias para minimizar los daños a la salud y al ambiente en caso de accidentes, derrames, explosiones, etc.

En las unidades de almacenamiento el plan debe considerar:
Manual de procedimientos para control de fugas, derrame o explosión.

Contar con los materiales para su control.

Notificar a las dependencias responsables de atender incidentes, en caso de que la situación no fuese controlada.

Inspección frecuente del estado que guardan las unidades de almacenamiento y dar mantenimiento periódico.

5.1.5.4. Destino de los lodos.

Los lodos se pueden destinar a un sitio de tratamiento posterior en caso de no estar estabilizado y/o para recuperar algún elemento con valor económico.

Sitio de disposición final. (confinamiento controlado).

5.2. TRANSPORTE.

5.2.1. Medios de Transporte.

El transporte de los lodos se puede llevar por vías terrestre, marítima o incluso aérea.

Transporte terrestre

Carretera.

Vías férreas.

Transporte marítimo

5.2.1.1. Tipos de unidades.

Carros Tanque.

Contenedores.

Barcaza.

Lanchones.

Camión de volteo.

5.2.1.2. Tipos de Servicio.

Contratado.

Propio.

5.2.1.3. Requerimientos Administrativos.

5.2.1.3.1. Permisos de dependencias.

SEDESOL

S.C.T

S.S.A

S.A.R.H

5.2.1.3.2. Permisos Internacionales.

En casos de exportación o importación.

5.2.1.3.3. Trámites Adicionales.

Seguros.

Fianzas.

5.2.2. Requerimientos Técnicos para Transportación.

Se necesita cumplir con ciertos requisitos para que los lodos tengan un manejo adecuado y no representen problemas para su transporte.

Contenedores resistentes.

Seguros e Higiénicos.

Personal capacitado para su manejo.

Transporte equipado para atender urgencias.

Identificación y razón social de la empresa.

Identificación del tipo de residuo.

No manejar y transportar materiales incompatibles con los lodos. (NTE-CRP-003/88).

5.2.2.1. Criterios de selección de contenedores.

Los criterios para elegir un contenedor recaen directamente en las propiedades del lodo de igual forma si el contenedor es cerrado o abierto.

5.2.2.2. Carga de lodos para transportación.

Los transportadores usados para trasladar los lodos a unidades de almacenamiento, cajas de los camiones, tolvas, etc. Son vertederos, resbaladeras, transportadores de aire, de banda, tornillo sin fin, etc.

Cuando la carga es alta se utilizan reguladores centrífugos.

El pesaje del lodo se realiza cuando el camión está cargado al entrar a la planta de tratamiento o al confinamiento controlado, en básculas especiales localizadas por debajo de una tarima en una zona marcada específicamente para ese fin.

5.2.3. Características de Algunos Medios de Transporte.

5.2.3.1. Vehículos con contenedores especiales.

Sistema camión contenedor de gato hidráulico y camiones con contenedores de tipo "Roll on - Roll off", éste último tiene la ventaja de que su contenedor puede servir como unidad de almacenamiento de lodo, mientras se llena a lo largo de la operación de la planta y se adapta para cargarse en forma rápida.

La caja a menudo puede cerrarse y transportar sin problemas residuos de ésta naturaleza.

El camión de tipo de gato hidráulico no resulta tan práctico, pero puede descargarse con gran facilidad y de forma directa hacia la celda de confinamiento.

Estos transportes se recomiendan para lodos con un porcentaje bajo de humedad, en su caja se pueden albergar desde 6 m³ hasta 24 m³ según el fabricante.

5.2.3.2. Camión de Volteo.

Vehículos de carga con caja de capacidad de 6 hasta 12 m³. Su ventaja reside en su costo y su desventaja consiste en que las cajas no son suficientemente herméticas y dejan salir residuo en el trayecto lo que podría representar problemas con la población.

5.2.3.3. Vehículos de Redilas.

No recomendable para transportar sólidos a granel o sólidos húmedos en éste caso sólo sería una buena opción para aquellos generadores de lodos en pequeña escala, cuyos residuos estén en contenedores perfectamente cerrados y su período de transporte a disposición final no muy frecuente, o de transporte de lodos con cierto grado de estabilización.

Para los vehículos anteriores se recomienda que utilicen algún sistema de protección como mantas o cajas cerradas para no transportar material en cabina abierta.

5.2.3.4. Vehículos tipo "Pick-Up".

Al igual que los camiones de redilas, se sugiere trasladar los residuos en contenedores o cajas cerradas.

La ventaja de éste tipo de transporte es su costo.

5.2.3.5. Transporte vía acuática.

No se recomienda la utilización de ésta vía en especial, a menos que sea necesario.

Los lanchones, barcazas y demás medios de transportación por agua podrían llevar los lodos en contenedores de materiales resistentes a la corrosión y a los impactos, de ser posible que sean se-

llados y protegidos para éstas situaciones indicando su contenido en letreros de materiales resistente al agua y de forma visible. Si es posible que éstos medios contarán con boyas o sistemas de flotación para los recipientes, para su fácil rescate.

5.2.3.6. Requerimientos Administrativos.

En caso de no demostrar ante la Procuraduría de Protección al Ambiente, que el lodo residual no es peligroso, se debe llenar un manifiesto para transportarlo hacia su disposición final o para tratarse o confinarse en el extranjero.

5.2.3.7. Pipas.

Camiones con contenedores de forma tubular de tipo "salchicha" que cuenta en su interior con deflectores para evitar exceso de turbulencia, con objeto de tener mayor estabilidad en el momento de transportarse.

Estos medios de transporte son útiles para cargar lodos demasiado acuosos, o con un alto contenido de humedad. La capacidad de recepción es de hasta 22.5 m³.

La carga puede llevarse a cabo mediante bombas a alta o baja presión desde (1,000 Kg/cm² hasta 200 Kg/cm²) para gastos de líquido desde 100 hasta 240 L /minuto.

5.2.4. Carga de Lodos para Transporte.

5.2.4.1. Carga manual.

Puede llevarse manualmente mediante palas, y utilizarse cal para revestir los tanques o colectores. Si la producción de lodos es muy alta es factible utilizar palas mecánicas.

5.2.4.2. Bombeo o Succión al Vacío.

5.2.4.2.1. Equipos de succión de lodos.

Se pueden utilizar tuberías de 8 ó 6 pulgadas. El equipo también puede ser de compresores depresores que succionen líquidos o sólidos directamente al tanque de residuos (vacío de 18 pulgadas de mercurio a 15 pulgadas de mercurio) por medio de una manguera o tubería.

Estos sistemas y equipos encuentran en los buquetanques.

Las áreas de carga deberán situarse preferentemente cerca de los lugares de almacenamiento.

5.2.4.2.2. Carga de lodos para transporte en ferrocarril.

Si el lodo se transporta en ferrocarril, las "espuelas" o vías donde se encuentran los vagones tendrán que encontrarse cerca.

5.3. SEGURIDAD E HIGIENE PARA EL MANEJO DE LODOS.

5.3.1. Medidas de seguridad personal en el manejo de lodos.

Utilizar casco, gorra, lentes de protección, uniforme "overol" o mandiles, guantes, botas, cubrebocas o máscara antipolvo.

Como medida de higiene es necesario tomar un baño después de manejar lodos en carga y/o descarga.

Es necesario contar con un manual de procedimientos en caso de accidentes, derrames, quemaduras, intoxicaciones severas, etc.

5.3.2. Material de fabricación de los contenedores.

Según la naturaleza y humedad de los lodos, las cajas de contención necesitarán o no de algún revestimiento, aunque es de consideración el hecho de revestirla con algún polímero impermeabilizante o bien en tanques de interior de acero inoxidable.

5.4. REQUERIMIENTOS LEGALES.

Como se expresó anteriormente se llenan guías y manifiestos de peligrosidad, que pueden ser de carácter plurilateral, en caso de transportarse mas allá de la frontera expresando contenido, ruta, medio(s) de transporte(s), etc.

5.4.1. Aspectos a considerar para la transportación de un lodo de tratamiento de efluentes industriales.

Se debe contar con las respectivas sanciones de los gobiernos involucrados en caso de transportar el residuo a otro país.

Cumplir con la respectivas disposiciones del reglamento de la ley aduanera.

Tener en cuenta las consideraciones generales de almacenamiento, recolección y transporte.

Establecer la peligrosidad que guarda el lodo en base a los criterios de caracterización.

Selección del equipo de recolección adecuado.

Contar con un transporte adecuado en función de su costo y funcionalidad.

Tener la capacidad instalada del sitio del almacenamiento.

Seguir las medidas de seguridad e higiene para el manejo y transporte de los lodos.

5.5. SISTEMA DE TRANSPORTE PROPUESTO PARA RESIDUOS PELIGROSOS EN MEXICO.

En la zona industrial de Cívac en el estado de Morelos, se ha sugerido que la transportación de cualquier material peligroso se realice mediante un abanderamiento de carros equipados de torretas de luz intermitente al frente y atrás, para evitar accidentes.

En la misma zona se practican simulacros de accidentes, teniendo la participación de la ciudadanía. (Castillo García, Jesús, 8 de Diciembre de 1992, pag 6, EL UNIVERSAL.)

CAPITULO VI

DISPOSICION FINAL.

6.1. DISPOSICION FINAL DE LODOS DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES INDUSTRIALES.

La disposición final de un lodo de tratamiento de efluentes se efectúa por dos vías.

En sitios no autorizados o en confinamientos controlados.

6.1.1. Sitios No Autorizados.

Como se indica son lugares que no cuentan con una aprobación oficial para realizar sus actividades de disposición final.

6.1.1.1. Características de un sitio de disposición final no autorizado.

Los sitios no autorizados cuentan con características únicas acerca del lugar, residuos, operación, de sanidad y ecológicas.

6.1.1.1.1. Del lugar.

No hay preselección técnica o preselección del sitio.

Se presentan problemas de asentamientos humanos.

No hay control de acceso.

Existe arrastre de residuos por las corrientes de la

No hay impermeabilización, por lo que es posible la infiltración en las aguas subterráneas.

No cuentan con un área de protección.

6.1.1.1.2. De los residuos.

No solicitan, ni se realiza análisis físicos y químicos de los residuos para su caracterización.

Recepción indiscriminada.

Existe mezcla de residuos y lixiviados.

No hay clasificación.

Se dispersan en el aire y generan olores.

6.1.1.1.3. De operación.

No cuentan con permisos, autorizaciones o licencias.

No contemplan planes de contingencia.

No cuentan con planes de operación.

Existe pepena.

6.1.1.1.4. Sanitarias.

Focos de infección.

Reproducción de fauna nociva.

Olor.

Contacto directo de los segregadores con los residuos.

6.1.1.1.3. Ecológicas.

Agua.- Contamina cuerpos de agua superficial.

Aire.- Frecuentemente se queman, generando fugas de partículas.

- Mal olor.

Suelo.- Antiestético.

- Cambian las condiciones naturales del suelo, a través de la infiltración de lixiviados.

6.1.1.2. Restauración de un Sitio No Controlado.

El sitio "no autorizado" puede restaurarse y utilizarse posteriormente como un confinamiento controlado, siguiendo los siguientes pasos:

6.1.1.2.1. Objetivos de la restauración.

Limpiar todas las áreas afectadas.

Restaurar hasta sus condiciones originales los sitios conminados por residuos.

Designar y nombrar las partes responsables para el pago de su restauración.

6.1.1.2.2. Criterios.

Protección a la salud humana y el ambiente.

Efectividad a largo plazo.

Reducción de toxicidad, movilidad o volumen de residuos.

Efectividad a corto plazo.

Implementación.

Costo.

Aceptación Federal.

Aceptación de la comunidad.

6.1.1.2.3.1. Investigación de soluciones.

La investigación de la solución consiste en:

Planeación.

Recopilación de la información y caracterización del sitio.

Identificación de las posibles respuestas de acción.

Estudios de tratabilidad.

6.1.1.2.3.1. Planeación.

Acceso al sitio.

Desarrollo de un ejemplo y análisis del plan.

Desarrollo del plan para preparar a la comunidad.

Coordinación con otras instituciones.

Alcance de las alternativas no posibles.

Plan de estudios de tratabilidad.

6.1.1.2.3.2. Objetivos de la investigación en el campo.

Identificar áreas con residuos acumulados.

Presencia de gases en el área.

Identificar la dispersión de contaminantes en el suelo.
Obtener información sobre los diversos tipos de contaminantes y su profundidad con estratos para evaluar las alternativas de solución.

6.1.1.2.3.3. Monitoreo.

Caracterización horizontal y vertical de la dispersión del contaminante en el suelo.

Identificar la dispersión del contaminante tanto horizontal como vertical para evaluar las alternativas de solución.

6.1.1.2.3.4. Pruebas de bombeo y Permeabilidad.

Caracterización de las aguas, determinando flujos, bombeo y nivel de tratamiento requerido.

6.1.1.2.4. Identificación de la información necesaria para determinar la técnica de restauración.

6.1.1.2.4.1. Información Requerida.

La información requerida para iniciar los trabajos de restauración de un sitio son: Establecer las condiciones generales del sitio, características del residuo, suelo, de las aguas superficiales y residuales, geología y climatología del sitio.

Condiciones generales del sitio.

Accesos.

Topografía.

Vegetación.

Características del residuo.

Estado físico.

Composición química.

Práctica de entierro.

Propiedades Físicoquímicas.

Geología del sitio

Historia sísmica.

Profundidad de estratos.

Tipo de estratos.

Configuración de estratos.

Esfuerzos estructurales.

Porosidad y permeabilidad del estrato.

Características del suelo.

Perfil del suelo.

Tipo y textura.

Permeabilidad y porosidad.

Características mecánicas.

Intercambio iónico.

Erosión.

Perfil de la contaminación.

Contenido de humedad.

Características del agua residual.

Naturaleza química del agua residual.

Perfil acuífero.

Características del acuífero.

Velocidad y dirección de flujo.

Áreas de carga y descarga de aguas residuales.

Perfil de la contaminación.

Agua superficial.

Proximidad y cercanía de las aguas superficiales.

Presencia de escurrimientos de lixiviados.

Perfil de la corriente.

Uso del agua superficial.

Área de drenado y descarga.

Calidad local de agua superficial.

Características de la corriente.

Climatología.

Parámetros de evaporación y transpiración.

Velocidad y dirección del viento.

Parámetros de temperatura.

Precipitación.

Calidad del aire local.

Calidad de aire regional.

6.1.2. Acciones de educación a la comunidad en Canadá.

En Canadá como en muchos países desarrollados, las empresas privadas y del gobierno dedican parte de sus recursos para la publicación de folletos dispuestos para su distribución en los supermercados, con la compra de productos de papel o plástico. En éstos folletos además de anunciar lo que se produce, contiene información acerca de materiales reciclables y sus posibles aplicaciones, así como la explicación del significado de los símbolos contenidos en el plástico y papel que indican su condición de reciclables. Adicionalmente se explica lo que es un relleno sanitario, en que consiste y los beneficios que aporta.

Una de la instituciones responsables de éstas publicaciones es E.P.I.C. (Instituto Canadiense de Plásticos y Ambiente). (E.P.I.C, DOW, SCOTT, 1991).

6.1.3. Confinamiento controlado.

6.1.3.1. Requerimientos para la Construcción de un Relleno Sanitario.

La construcción y operación de un confinamiento controlado, se sujeta a las disposiciones contenidas en la Ley Federal de

Protección al Ambiente y en especial a las normas técnicas ecológicas para el control de residuos peligrosos (ya que un lodo de tratamiento de efluentes industriales está enunciado como un residuo peligroso en las tablas de la misma legislación).

Las normas que establecen todos los requisitos para éste efecto son NTE-CRP-001/88, NTE-CRP-009/89, NTE-CRP-011/89.

6.1.3.2. Diseño y Construcción.

Por norma un confinamiento además de tener sus celdas de confinamiento deberá tener obras complementarias como:

Areas de acceso y espera.

Cerca perimetral y de seguridad.

Caseta de vigilancia.

Caseta de pesaje y báscula.

Laboratorio.

Caminos.

Areas de almacenamiento temporal.

Area de emergencia.

Area de limpieza.

Drenaje.

Instalaciones de energía eléctrica.

Señalamientos.

Pozos de monitoreo.

Area de amortiguamiento.

Taller de mantenimiento.

Area administrativa.

Servicios de primeros auxilios.

Servicios sanitarios.

6.1.3.3. Definición de un Relleno Sanitario.

Es una técnica para disposición de residuos en el suelo sin causar perjuicio al ambiente, ni causar molestia o peligro para la salud y seguridad pública.

El método utiliza principios de ingeniería para confinar un residuo en un área lo menor posible. Fuente: AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS (ASCE).

TABLA 6.1.3.1. Factores de evaluación para la selección de un sitio de disposición final.

OPCIONES

CONCEPTO	EXCELENTE	BUENA	REGULAR
Vida útil	> 10 años	5 a 10 años	< 5 años
Tierra para cobertura	suficiente in situ	acarreo cercano	acarreo lejano
Topografía	Minas a cielo abierto abandonadas	Comienzo de cañadas, manglares contaminados	Otros
Vías de acceso	Cercanas y pavimentadas	Cercanas y transitables	Lejanas y transitables
Ubicación	De 3 a 12 Km de la mancha urbana	Entre 1 y 3 Km de la mancha urbana	< 1 Km y > 12 Km de la mancha urbana
Geología	Impermeable	Semipermeable	Permeable
Geohidrología	> 30 m de profundidad	de 10 a 30 m de profundidad	< 10 m de profundidad
Hidrología superficial	No hay corrientes superficiales	Lejano de corrientes superficiales	Cerca de corrientes superficiales
Tenencia de la tierra	Terreno propio	Terreno rentado a largo plazo	Terreno rentado a corto plazo

Fuente: Aguilar, 1992.

6.1.3.4. Materiales no aceptados en un confinamiento controlado.

a) Bifenilos policlorados

Radiactivos

Hospitalarios

Líquidos crudos (únicamente para su tratamiento).

Solventes (solamente si existe una planta de tratamiento para su reciclaje o regresados a su lugar de origen)

b) Solo se reciben residuos tratados o neutralizados.

**c) No permitir la salida de ningún líquido del confinamiento.
(lixiviado, proceso, pluvial y de lavado)**

6.1.3.5. Compatibilidad de los residuos a confinar.

De acuerdo con lo que especifica la norma técnica ecológica NTE-CRP-003/88 evitar mezclar residuos incompatibles en la misma celda.

6.1.3.6. Recepción de los residuos lodosos en las celdas de confinamiento.

Se pueden recibir sólidos en paca, "Pellets", polvo en costal, lodos envasados, lodos a granel o líquido envasado.

Se especifica número y tipo de celda, según características, cantidad, volumen y frecuencias de recepción.

6.1.3.7. Impermeabilización de la Celda.

La impermeabilización tiene por objeto evitar la percolación y lixiviación de los residuos al subsuelo y consecuente contaminación del manto freático.

La impermeabilización puede ser de tipo natural o sintética.

6.1.3.7.1. Impermeabilización Natural.

Se da por el material que forman las capas del subsuelo, y que por sus características físicas lo hacen impermeable y evitan el contacto de líquidos con los mantos o las corrientes suterráneas. Por ejemplo; la arcilla y la bentonita en mezcla 3:1 logran un coeficiente de permeabilidad muy bajo.

6.1.3.7.1.1. ventajas.

Bajo costo.

Aplicación sencilla.

6.1.3.7.1.2. Desventajas.

Ocupa alto volumen en la celda.

No está garantizado para varios agentes químicos.

Utilización de la membrana sintética.

6.1.3.7.2. Impermeabilización sintética.

La membrana sintética utiliza material de alto peso molecular y de alta densidad que ha sido probado para todo tipo de residuos químicos.

6.1.3.7.2.1. Ventajas.

De fácil aplicación.

Probado y de uso garantizado.

Ocupa espacio mínimo en la celda.

6.1.3.7.2.2. Desventajas.

Alto costo.

Material de importación.

Se puede explicar en método mixto en el cuál se pone un material natural poco permeable y encima una membrana, o bien el sistema descrito anteriormente hasta completar 2 o 3 membranas.

6.1.3.7.3. Selección de Impermeabilizantes.

La selección del impermeabilizante está en función a la resistencia del material respecto a las sustancias y a la lixiviación.

6.1.3.7.3.1. Resistencia química.

Acidos Inorgánicos.

Bases Inorgánicos.

Sales Inorgánicas y sus Derivados.

Soluciones.

Compuestos Orgánicos

(alcoholes, ácidos, aldehidos, cetonas, aminas, éteres, hidrocarburos halogenados)

Compuestos Varios.

(detergentes, grasas, aceites naturales, aceites minerales y sus combinaciones)

6.1.3.7.3.2. Residuos Pretratados.

Flamables.

Explosivos.

Químicos Orgánicos con o sin metales pesados.

Químicos Inorgánicos con o sin metales pesados.

6.1.3.7.3.3. Resistencia al Lixiviado.

Líquido Orgánico Acido.

Líquido Orgánico Básico.

Líquidos Polares y No Polares Neutros.

Sólidos en Solución Acuosa, ácidos o bases, sales con o sin fases orgánicas.

6.1.3.7.4. Materiales Comunes de Impermeabilizantes.

P.V.C. resistente al petróleo.* =1

Isopreno Isobutileno (Butil) IIR.** =2.

Policloropreno (Neopreno) CR. *** =3

Monómero de Etilen Propilendieno E.P.D.M. **** =4

Polietileno Clorosulfonado (Hipalon) C.S.M. ***** =5

Polietileno Clorado CPE. ***** =6

Cloruro de Polivinilo P.V.C. ***** =7

CUADRO 6.1.3.7.4.1. RECOMENDACIONES DE USO.

RESISTENCIA	1	2	3	4	5	6	7
ACIDO pH 2 A 7	R	R	R	R	RR	R	R
ALCALINA > 8	NR	R	R	R	RR	R	NR
PRODUCTOS DEL PETROLEO	R	NR	R	NR	NR	R	NR

FUENTE: Aguilar, 1991.

RR=ALTAMENTE RECOMENDABLE

R= RECOMENDABLE

NR=NO RECOMENDABLE

6.1.3.8. Captación de Lixiviados.

Los lixiviados se captan mediante tubos perforados que se sitúan entre el (o los) material(es) impermeable(s) y que va a dar a pozos que captan todo éste líquido, el cual se monitorea según la operación, para fines de alivio o de caracterización.

6.1.3.9. Métodos de Confinamiento.

Existen varias técnicas que se utilizan para confinar materiales en forma segura en el suelo, consistiendo en la excavación, recepción y acomodo de residuos en celdas previamente acondicionadas. Los métodos empleados son entre otros de trinchera, área y combinado.

6.1.3.10. Método de Trinchera.

Se utiliza en donde es profundo el nivel de aguas freáticas, y las pendientes del terreno son suaves.

Consiste en depositar los residuos sobre el talud inclinado de la trinchera (talud 1:3), donde se esparcen y compactan con el equipo adecuado, en capas, hasta formar una celda que después será cubierta con el material que se excavó de la trinchera.

6.1.3.11. Método de área.

Similar al de trinchera, consiste en depositar los residuos sobre el talud inclinado, se compactan en capas de 60 cm para formar una celda que se cubre de tierra posteriormente. Las celdas se construyen en un extremo del área a rellenar y se avanza hasta terminar el otro extremo.

Es aplicable en terrenos como inicio de cañadas, terrenos planos, depresiones, canteras abandonadas y ciénegas contaminadas; para

el método que sea económico, el material de cubierta debe transportarse de lugares cercanos.

Al finalizar el trabajo diario se deben cubrir las celdas para evitar la proliferación de fauna nociva y malos olores que invadan todo el sector.

6.1.3.12. Método Combinado.

Cuando las condiciones del suelo del sitio elegido son apropiadas, se pueden combinar con los métodos anteriores, por ejemplo se inicia por el método de trinchera y posteriormente continúa con el de área en la parte superior.

6.1.3.12.1. Ventajas del método combinado.

Es eficiente.

Ahorra transporte del material de cubierta y aumenta la vida útil del sitio.

TABLA 6.1.3.12.1.1. MATERIALES DE CUBIERTA.

FUNCION	GRAVA	GRAVA ARCILLA LIMO	ARENA	ARENA ARCILLA LIMO	LIMO	ARCILLA
Previene roedores	B	R-B	B	P	P	P
Evita salida de moscas	P	R	P	B	B	E
Previene humedad en el relleno	P	R-B	P	B-E	B-E	E
Reduce el movimiento de gas de ventilación a través de la cubierta	P	R-B	P	B-E	B-E	E
Aspecto agradable	E	E	E	E	E	E
Crecimiento de vegetación	P	B	P-R	E	B-E	R-B
Permeable para ventilar gases	E	P	B	P	P	P

E=Excelente.

B=Bueno.

R=Regular.

P=Pobre.

FUENTE: Aguilar, 1991,1992.

6.1.3.13. Equipos utilizados para la construcción de un confinamiento controlado.

Para la construcción y operación de un confinamiento controlado deberá utilizarse maquinaria pesada como:

Bulldozers:

de oruga.

de oruga con cucharón.

de ruedas neumáticas.

de ruedas neumáticas con cucharón.

Compactadores de ruedas dentadas.

Motoconformadoras.

Dragadoras.

Palas Mecánicas.

Excavadoras.

(Davila, 1991).

FIGURA 6.1.3.13.1.

COMPARACION DE EQUIPOS PARA EL RELLENO SANITARIO.

EQUIPOS		MATERIALES DE CUBIERTA					
ESPESOR	COMPACTACION	ESCALVA	ESPESOR	COMPACTACION	ESPESOR	COMPACTACION	
E	B	E	E	B	NA		
B	B'	E	B	B	NA		
E	B	A	E	B	NA		
B	B'	A	B	B	NA		
E	E	F	E	E	NA		
NA	NA	B	E	NA	E		
NA	NA	E	A	NA	NA		

E: excelente B: bueno B'atagular
 F: fibrosa NA: no es aplicable

Fuente: Dávila, Aguilar, 1991.

**6.1.3.14. Confinamientos Controlados Instalados de Servicioo
Público para Control de Residuos Peligrosos.**

a) Aldrett, S.A.

La Pedrera, Municipio de Guadalcazar, San Luis Potosí.
Oficinas. Aquiles Serdán 830 San Luis Potosí, S.L.P.

b) Residuos Industriales Multiquim, S.A. de C.V.

San Bernabé, Municipio de Mina, Nuevo León.
Oficinas: Avenida Lázaro Cárdenas 2475 PTE.
Condominio Torrevillas II, despacho 6-13.

c) Parque Industrial de Hermosillo.

Fraccionamiento "Las Víboras".

Km 4.5 carretera a Sahuaripa, Hermosillo, Sonora.

FUENTE: SEDESOL, 1992.

6.2. INCINERACION.

Es un tratamiento térmico cuyo propósito es reducir el peso y volumen del residuo sólido.

En un lodo además de esto se obtiene la eliminación de peligrosidad, así como la transformación en formas químicas más estables.

Estos propósitos se alcanzan al oxidar en forma violenta la materia orgánica.

6.2.1. Combustión.

Es una reacción donde toman parte un combustible y oxígeno, éste último del aire, y sus productos son de energía y de combustión.

6.2.1.1. Productos de combustión.

Sólidos y gases principalmente.

6.2.1.2. Productos de energía.

Luz, calor y sonido.

6.2.1.3. Combustible.

En el caso de los lodos se componen de Carbono, Hidrógeno, Oxígeno con pequeñas cantidades de Azufre, Nitrógeno, Cloro y demás elementos.

Una buena combustión transforma el combustible en CO_2 y H_2O (v) al igual que óxidos de azufre y nitrógeno, y a veces hasta en HCl .

Una combustión incompleta se obtiene CO , O_2 y algunas sustancias complejas.

Un lodo al contener sustancias incombustibles producen un residuo sólido llamado ceniza cuando se quema.

6.2.1.4. Ecuaciones de Combustión.



Si el oxígeno del aire no es suficiente para completar la reacción entonces será:



6.2.1.5. Combustión de residuos sólidos.

Durante la combustión de un lodo la humedad es la primera impelida, después gases incombustibles y volátiles producto de la descomposición de la materia orgánica. La cantidad liberada

de volátiles depende de la naturaleza del residuo y de la temperatura.

La volatilización comienza entre 200°C y 250°C, mientras que a 530°C prácticamente todos los volátiles se liberan.

El contenido de volátiles en los lodos es mayor o igual a 75 % en peso, (dependiendo de la naturaleza), por lo que requiere aire secundario sobre el lecho de residuos para quemar volátiles, que se incendian a 750°C.

6.2.1.6. Formas en que se lleva a cabo la combustión.

La combustión se lleva en forma continua o por hornadas.

6.2.1.6.1. Forma de combustión continua.

Los sólidos se alimentan a un horno donde la combustión y remoción de cenizas es continua y su velocidad se elige de acuerdo a la calidad del residuo.

Este proceso opera durante 24 horas.

Existen casos donde la operación es intermitente en un mínimo de 16 horas por día y en éste caso se denomina al proceso como "semi-continuo"

6.2.1.6.2. Forma de combustión por hornadas.

Se llama así a la operación intermitente de alimentación y remoción de cenizas, en tiempos de 8 horas por día.

6.2.1.7. Factores que afectan la combustión.

La heterogeneidad de un material puede ser dimensional y afecta con el volumen a la manutención del horno y a la eficiencia de la combustión impidiendo buen contacto aire-combustible.

La humedad absorbe parte del calor para su evaporación.

Las variables que afectan la combustión de los residuos son:

Combustibilidad (Poder calorífico).

Tiempo de residencia.

Temperatura de flama.

Turbulencia en la zona de reacción.

6.2.2. Ventajas y desventajas de la incineración.

6.2.2.1. Ventajas de la incineración.

Reducción significativa de volumen.

Eliminación de bacterias y material viral.

Destrucción de compuestos orgánicos tóxicos.

Recuperación de la energía.

6.2.2.2. Desventajas de la incineración.

Emisión de compuestos de azufre, nitrógeno, compuestos halogenados, mercurio, arsénico, selenio, plomo, cadmio y partículas suspendidas.

6.2.3. Tipos de incineradores.

Existen muchos dispositivos que pueden efectuar la combustión de un sólido, y pueden ser incineradores de parrillas, rotatorios, lecho fluidizado, pirólisis y demás.

6.2.3.1. Incinerador de parrillas.

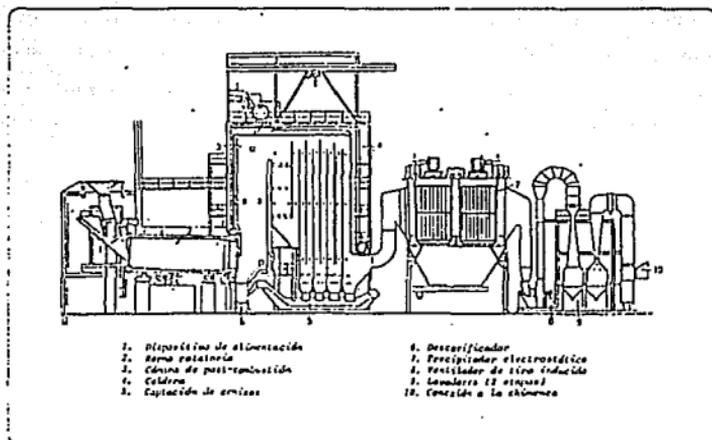
Dispositivo de combustión continua, en donde los residuos fluyen por gravedad a través de un tolva de alimentación sobre parrillas donde se secan los residuos por radiación. El aire penetra por debajo de las parrillas.

6.2.3.2. Incinerador rotatorio.

Dispositivo donde los residuos se vierten por un tolva a un tambor de forma cilíndrica y posición inclinada, donde se inyecta el aire a contracorriente desde el extremo opuesto a la alimentación de los residuos. Recomendado para residuos industriales.

FIGURA 6.2.3.2.1.

PLANTA INCINERADORA DE HORNO ROTATORIO



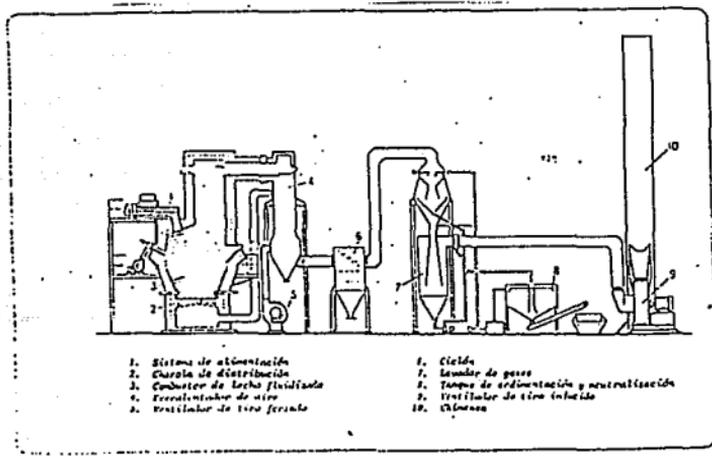
Fuente: Morales, 1992.

6.2.3.3. Horno de lecho fluidizado.

El lecho se prepara con arena de cuarzo o de río con tamaño de molienda de 1 mm o menos, el cual se utiliza como medio fluidizado junto con el aire de combustión, distribuido por un ducto bajo la capa de arena. Los residuos se alimentan con una granulometría parecida al material del lecho. Estos dispositivos son los que deben utilizarse en la incineración de lodos.

FIGURA 6.2.3.3.1.

PLANTA DE INCINERACION DE LECHO FLUIDIZADO.



Fuente: Morales, 1992.

6.2.3.4. Horno de pirólisis.

Proceso donde se lleva a cabo una destilación destructiva de la fracción orgánica del residuo. Esto ocurre cuando el material se expone al calor en ausencia de oxígeno.

La diferencia con la combustión es que ésta última libera calor.

6.2.3.4.1. Productos de la pirólisis.

Los productos de la pirólisis se presentan en los tres estados de la materia y pueden ser los siguientes:

Gases de hidrógeno, metano, dióxido de carbono, monóxido de carbono.

Líquidos como el ácido acético, metanol, etc.

Sólidos como el alquitrán.

6.2.4. Condiciones generales de operación de los incineradores.

Las temperaturas van de los 500°C a 1,600°C y las presiones de 1 hasta 70 atmósferas.

6.2.5. Criterios de selección para la incineración.

Los criterios de selección de incineración dependen del tipo de residuo, composición, propiedades físicas y químicas.

Tipo de residuo: Líquido, sólido, gas o mezcla.

Composición: C, H, O, N, S, H₂O, ceniza.

Poder calorífico: Kcal/kg.

Propiedades físicas:

Sólidos: Tamaño, forma y cantidad.

Líquidos: Viscosidad en función de la temperatura, gravedad específica e impurezas.

Características Especiales: C, R, E, T, I.

Generación: Máxima, promedio y mínima (presente y futuro).

(Morales, 1992).

6.2.6. Tratamiento de Residuos Peligrosos en Horno Cementero en Noruega. (Viken, Waage, 1983).

En Noruega en los años 70 se establecen planes para el control de los residuos peligrosos mediante el uso de un horno cementero.

6.2.6.1. Detalles sobre el uso de horno cementero.

El cemento se produce por proceso líquido o seco.

6.2.6.1.1. Producción de cemento mediante proceso líquido.

La piedra caliza, arena y arcilla se muelen y mezclan con 25 a 40 % de agua.

El horno recibe los materiales en forma de lechada.

6.2.6.1.2. Producción de cemento mediante proceso en seco.

En el proceso en seco la materia se mezcla y se muele sin agua.

6.2.6.1.3. Características generales de la incineración en un horno cementero.

Por consumo de combustible el proceso seco es más rentable que el líquido.

La alta temperatura descompone PCB y PAH.

Precipitadores electrostáticos limpian el polvo de los gases de las chimeneas.

Los gases ácidos se neutralizan por la alcalinidad de los materiales del horno. Los gases de la chimenea, el polvo reciclado y la escoria se controlan por análisis químicos.

6.2.6.2. Establecimiento del plan de incineración mediante el uso del horno cementero.

El plan se estableció mediante la participación del gobierno e iniciativa privada, de donde se comisionó a expertos en recolección, transporte, procesos, aspectos económicos y otro de normatividad.

El grupo de expertos se consultó constantemente en la elaboración del plan.

Este dividió en 4 categorías a los residuos a tratar, los cuales cubren 18 tipos diferentes.

6.2.6.3. Plan de recolección y transporte.

El plan obliga a los productores de desechos peligrosos a transportar directamente a la instalación de eliminación los desechos que no se pueden tratar IN SITU.

6.2.6.4. Principios de tratamiento de los residuos.

En Noruega existen muchas instalaciones para el manejo de muchas sustancias químicas. Los residuos orgánicos que pueden bombearse se incineran en los hornos cementeros.

Las pruebas a las que se sometió el sistema resultaron positivas. Los residuos no bombeables se diluyen y se introducen con corteza de madera, en un quemador de caldera de plantas de pulpa y papel.

6.2.6.5. Organización y Planificación.

Los bomberos, policía, médicos y los equipos de rescate de la planta establecieron procedimientos de seguridad para el manejo de sus desechos, se prepararon planes de emergencia y se

proporcionó información a empleados y autoridades. El generador se responsabilizó del transporte.

6.2.6.6. Plan de almacenamiento y manejo.

VARIABLES A CONSIDERAR EN LA SELECCIÓN DEL EQUIPO PARA EL MANEJO DE LOS RESIDUOS.

Toxicidad.

Inflamabilidad.

Viscosidad.

Líquidos y sólidos contenidos en sus desechos.

El almacenamiento se realizó en tanques presurizados con gas inerte. El agua de drenaje de los tanques se conecta al sistema de alimentación de lechada del horno.

Para el almacenamiento se disponen de máscaras de oxígeno y detectores de humo.

6.2.6.7. Pruebas de incineración.

Se utilizó un horno de prueba de 170 m de longitud y 5 m de diámetro, que tuvo un consumo de 92 toneladas de petróleo para 850 toneladas diarias.

Se instaló un quemador de carbón para permitir la atomización del desecho líquido mediante aire a velocidad ultrasónica.

6.2.6.7.1. Pruebas y control en la incineración de residuos en el horno cementero.

El sistema de control de emisiones y de la calidad del aire se diseñó con el Instituto Noruego de Investigación sobre la Contaminación del Aire (NILU) y la asociación de usuarios de vapor.

La detección de rastros químicos en los gases de chimenea es complicada y requiere de manejo y extracción de grandes volúmenes de gas.

**TABLA 6.2.6.7.1. COMPONENTES ORGANICOS PESADOS
EN EL GAS.**

	(NORMAL)	mgq/m ³	mg/h	(ANORMAL)	mgq/m ³	mg/h
C-ALCALIBENCENOS	1		90	2		180
ALCANOS	14		1,270	21		1,900
PAH	14		1,270	25		1,270
TIOFENOS	7		635	13		1,180
CETONAS	6		545	16		1,450
ALDEHIDOS	4		365	12		109

FUENTE: PNUMA, 1983.

TABLA 6.2.6.7.2.

**EMISIONES DE COMPUESTOS CLORADOS
EN LOS GASES DE CHIMENEA.**

	(NORMAL)	mg/m ³	mg/h	(NORMAL)	mg/m ³	mg/h
	I		II		III	
CLOROFORMO	0.87	87	1.180	118	1E-5	-
TETRACLORURO DE CARBONO	0.4	40	1.220	122	1E-5	-
TRICLOROETILENO	0.3	30	0.910	91	1E-5	-
TETRACLOROETILENO	0.4	40	1.210	121	3E-5	-
CLOROBENCENO	2.900	290	1.300	930	0.890	89
PCB	0.08	8	0.170	17	0.040	4

FUENTE: PNUMA, 1983.

6.2.6.7.2. Destrucción de dioxinas en el horno cementero.

La eficiencia de destrucción de PCB basada en una alimentación de 50 kg/h fue superior a 99.9999 %.

Las dibenzodioxinas policloradas (PCDD) y los dibenzofuranos policlorados (PCDF) no se detectaron.

Se analizó cloro durante la incineración de PCB.

**CUADRO 6.2.6.7.2.1. ANALISIS DE CLORO PRODUCTO DE
LA INCINERACION DE PCB.**

Polvo de Chimenea máximo	11.5 % de Cl
Polvo de Electrofiltro máximo	4.5 % de Cl
Escoria máximo	0.02 % de Cl

FUENTE: PNUMA, 1983.

Los cloruros inorgánicos quedaban concentrados en el polvo de chimenea y en polvo precipitador electrostáticos en forma de cloruros y álcalis.

Se detectó un incremento en la emisión de polvo en la chimenea de 5.2 a 6.8 Kg/h.

6.2.6.7.4. Pruebas en la calidad del aire.

Se roció SF₆ en el gas de chimenea, estando localizadas 26 estaciones de muestreo de aire en la dirección del viento durante las pruebas. La concentración máxima fue de 1:70,000 a una distancia máxima de 1,000 m (Viken, Waage, 1983).

6.2.7. El horno cementero como opción en el tratamiento de efluentes industriales en México.

El horno cementero se presenta como una atractiva solución para el tratamiento y disposición de residuos en México, ya que esta industria es una de las más importantes en cuanto a su aportación a la economía del país (CEMEX, 1991).

6.2.7.1. Países que utilizan el horno cementero para incinerar sus residuos.

Además de la experiencia de Noruega, países como Japón, Alemania y Estados Unidos elaboran un alto porcentaje de su cemento con esos materiales (CEMEX, 1991).

6.2.7.2. Beneficios de la utilización de hornos cementeros para incinerar residuos.

Los residuos de todos los materiales incinerados en el horno, incluyendo los materiales remanentes de los combustibles alternos se incorporan al producto final.

El plomo y el cromo, se integran al cemento.

Los compuestos orgánicos se eliminan en su totalidad.

Se preservan las materias primas y los recursos no renovables.

Los hornos cementeros manejan temperaturas superiores a los hornos comerciales.

Se reducen las emisiones debido a que la industria cementera utiliza desechos que de otra forma se incinerarían comercialmente sin el beneficio de un producto.

Los hornos cementeros se encuentran diseminados geográficamente haciendo la destrucción de desechos fácilmente accesible.

El cemento se utiliza en toda actividad de construcción y esencial para una economía saludable, por lo que si se utilizan materiales de desecho como una contribución a la resolución de un problema ecológico, se ayuda a el fortalecimiento de ésta industria a manera de hacerla más competitiva (CEMEX, 1991).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

CAPITULO VII.

7.1. CONCLUSIONES.

En México, una gran parte de los efluentes industriales carecen de un sistema o de un adecuado tratamiento. El problema del manejo y disposición radica principalmente en el agua residual que no está tratada y si lo está, el lodo residual se tira al drenaje, río o cualquier cuerpo.

El manejo y disposición apenas es regulado por la legislación de tratamiento y disposición final de residuos peligrosos, pero se nota incogruencia en la legislación que es copia de otros modelos. Existen leyes y normas que se contraponen en función de la dependencia gubernamental donde sea emanada, debido a la falta de comunicación que existe entre instituciones o los intereses creados para obtener algún tipo de poder o lucro.

Por ejemplo, la Ley de Aguas aprobada en diciembre de 1992 no otorga autoridad a los organismos municipales en materia de aplicación de acciones administrativas y de investigación y/o monitoreo.

No hay una legislación que sancione los daños a la salud que pudiese reportar el abandono negligente de algún material que no sea dispuesto adecuadamente.

En materia de caracterización en México no hay empresas que puedan dar análisis confiables para disposición o tratamiento

adecuado de lodos.

El lodo que sale de una planta de tratamiento está a menudo biológicamente activo, dándole carácter de peligrosidad inmediata y dado que es un concentrado de la contaminación lo hace nocivo al medio.

En materia de transporte no se cuenta con una adecuada vigilancia ya que los sistemas actuales de transportación en su mayoría carecen de señalizaciones acerca del residuo que contienen.

En México existe una total desinformación de los métodos de disposición final.

La población es fácilmente manipulable en cuanto a movilizaciones políticas para impedir la instalación de rellenos sanitarios e incineradores.

Técnicamente son pocas las empresas que desarrollan proyectos de disposición final o de incineración adecuadas.

El tratamiento de lodos es la segunda parte del tratamiento de aguas residuales por lo que es importante hacer énfasis en la aplicación de sistemas adecuados a las necesidades de cada planta mediante el estudio detallado del problema.

El Ingeniero Químico es un aportador de aplicación de soluciones, por que conoce los fundamentos químicos y termodinámicos

para tratar ciertos contaminantes de un efluente dentro de un proceso, o como auxiliar en el diseño de algún dispositivo o sistema como generador de tecnología propia.

7.2. RECOMENDACIONES.

Técnicamente el problema de manejo y disposición de lodos de tratamiento de efluentes industriales tiene solución.

Si cada industrial pusiera un poco de su parte en cuanto a la difusión de los métodos de tratamiento utilizando para ello parte del presupuesto que utilizan para anunciar sus productos, o bien dentro de sus productos o regalando folletos en los supermercados, con objeto de enterar a la población de qué se tratan éstas tecnologías.

Se debe de fomentar la optimización de procesos, la recuperación de materiales y el uso de tecnologías más limpias ya que contribuyen a la solución.

El empleo adecuado de los sistemas de seguridad dentro del manejo de lodos es una acción que debe vigilarse adecuada y oportunamente.

Sería conveniente fomentar en las empresas el patrocinio de proyectos tendientes para dar soluciones a problemas específicos

en coordinación con las instituciones de investigación, ya que es un problema asesorarse de personas realmente calificadas para realizar un estudio y dictamen adecuados.

Para el transporte sería útil emplear camiones de tipo de caja intercambiable para un manejo más sencillo de los lodos, o bien transportes como algunos recolectores de basura que constan de una caja móvil que se llena, y a su vez es una cuchara que introduce el residuo en el interior de la bóveda del camión.

Las necesidades de cada sitio y el presupuesto asignado son los que dirigen el tipo de medio de transporte a utilizar.

Una buena caracterización de un lodo puede conducir en gran medida al tipo de tratamiento a utilizar para disminuir el volumen de lodos y así proponer una adecuada disposición.

La incineración del lodo es la solución más viable, siendo que la combustión se llevaría a cabo en hornos cementeros, ya que operan a temperaturas de 2,000°C destruyendo toda la materia orgánica.

La industria del cemento es actualmente de las más fuertes en México, además de ser una de las más vigiladas en cuanto a emisiones y por lo tanto la hace opción factible en lugares que no cuenten con sitios adecuados para disposición controlada.

La formulación de algunos cementos se basa en la inclusión de materiales de desecho y un lodo seco daría o fortalecería ciertas propiedades mecánicas del mismo.

ANEXO 1 LEGISLACION

A.1.1. LEGISLACION EN LA REPUBLICA FEDERAL ALEMANA (R.F.A.).

A.1.1.1. Constitución del aparato responsable de la normatividad en la R.F.A. (Defregger, 1983).

La R.F.A. está formada por diez estados (o länders). Incluyendo los estados urbanos de Hamburgo, Bremen y Berlín.

En 1972 se creó una legislación federal (Decreto de Eliminación de Desechos) para controlar la eliminación de "residuos especiales". La responsabilidad de implementación e imposición del Decreto de Eliminación de Desechos fue delegada a los estados, cada uno de ellos posee un departamento del ambiente.

El ministerio del Interior mantiene la responsabilidad federal del manejo de los desechos, principalmente en cuestiones ambientales a nivel nacional e internacional.

A.1.1.2 Normas establecidas para regular los residuos en la R.F.A.

El decreto de eliminación de desechos se enmendó varias veces desde 1972 y aborda aspectos como:

- Definición de residuos.

- Recolección y transporte (es decir, guías o manifiestos: 38

categorías).

- Los generadores son responsables de sus desechos.
- Importación y exportación de desechos.
- Registro de generadores, transportistas y eliminadores.
- Sanciones para los infractores.

La legislación en la R.F.A solicita a la industria el tratamiento y/o eliminación de sus desechos, de manera aceptable.

En respuesta, se establecen compañías privadas y agencias semi-públicas para el manejo de los desechos.

A.1.1.3. Sistemas autorizados para el manejo de residuos en la R.F.A.

Los sistemas para el manejo pueden ser:

- Sistema regulado o de monopolio.
- Cooperativa municipal.
- Empresa privada.
- Sistema cerrado.

Algunas firmas manufactureras establecen instalaciones IN SITU para el tratamiento y eliminación de los desechos.

A.1.1.4 Manejo de residuos en la R.F.A.

A.1.1.4.1. Identificación de residuos.

Desde 1975 existe un catálogo con todos los tipos imaginables de desechos (570 aproximadamente).

En 1977 se introdujo un esquema de clasificación proveniente de

este catálogo general para la identificación de desechos "especiales" o peligrosos.

La lista de "desechos especiales" se diseñó para facilitar la aplicación práctica, tanto para los generadores, como a la autoridad de control. Se identifican 38 categorías de características individuales y orígenes definidos en el reglamento estatutario.

Por ejemplo: residuos de curtidurías, polvo de asbesto, ácidos, etc.

A.1.1.4.2. Volumen y disposición de residuos en la R.F.A.

Se estiman en 4 millones de toneladas anuales de "desechos especiales".

Aproximadamente 15 % es incinerado y 35 % reducido por tratamiento fisicoquímico; el resto es trasladado a sitios de relleno sanitario

A.1.2 LEGISLACION EN LOS PAÍSES BAJOS. (Erasmus, 1983)

A.1.2.1. Marco Jurídico.

En los Países Bajos se promulgó en 1970 la ley sobre contaminación de aguas. Seguida de la ley sobre contaminación del aire en 1972. Y en 1983 la ley de rehabilitación de suelos, que es una medida temporal, en vigor hasta promulgarse la ley de protección al suelo, mediante la cual serán posibles mayores medidas para el efecto. Bajo este proyecto de ley, los ejecutivos provinciales establecerán un programa durante un período de 5 años, con la colaboración de los municipios implicados.

Se concibe el proyecto de ley sobre substancias químicas, de acuerdo con los reglamentos internacionales y con las actividades de organismos como la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (O.C.D.E) y la Comunidad Económica Europea (C.E.E.). El proyecto de ley, se presentó ante la Cámara Baja del Parlamento Holandés en 1981. Esta llena vacíos en la legislación existente, como el decreto de bienes y los reglamentos sobre plaguicidas.

A.1.2.2. Ley sobre residuos químicos.

La ley sobre residuos químicos de 1976 se publicó como principal instrumento para la regulación de la eliminación de los desechos peligrosos.

La eliminación de otras categorías de desechos se rige por la ley sobre residuos que se promulgó en 1977.

Para desechos radiactivos existe otra reglamentación aparte.

La ley sobre residuos químicos está dirigida a la reducción y finalmente a la prevención de la contaminación que provocan los desechos químicos y aceites residuales.

Las sustancias a las que se aplica esta ley están enumeradas en el inventario de sustancias y procesos, que se basa en aspectos de toxicidad (incluyendo efectos acumulativos), persistencia y posibles efectos nocivos sobre el hombre, animales, plantas y la biosfera en su totalidad.

A.1.2.2.1. Obligaciones del generador.

Las provisiones de la ley sobre residuos químicos (las cuales no se aplican a las viviendas privadas), obligan a los generadores, cuyos desechos químicos y aceites residuales necesitan eliminarse mediante utilización de servicios externos: A comunicar detalles de importancia como composición, propiedades, cantidad y destino, al Ministerio de Vivienda y Planificación del Territorio y Ambiente.

A.1.2.2.2. Facultades de las autoridades.

El ministerio otorga licencias para almacenar, tratar, procesar y/o eliminar residuos químicos y aceites residuales, y sólo aquellos que la posean podrán hacerse cargo de los desechos producidos, y siempre que, se entregue una descripción detallada de éstos.

A.1.2.2.3. Licencias de tratamiento de residuos.

Las licencias tienen por objeto el proporcionar detalles de las transacciones al ministerio.

La ley prohíbe la eliminación de desechos químicos y derivados de aceites, en depósitos sobre o dentro de la tierra, ya sea en algún tipo de envase o sin él. Existen excepciones a esta prohibición, en el caso de no existir otra alternativa y bajo condiciones estrictamente controladas.

El organismo que aplica y ejecuta la ley es el ministerio, y consiste en el otorgamiento de licencias a personas o firmas cuyo negocio es eliminar los desechos químicos y aceites residuales generados por otros.

Para la notificación de movimientos y tratamiento de desechos y aceites residuales, se utilizan sistemas de cómputo para almacenar la información dada por cada persona o firma .

A.1.3 LEGISLACION EN EGIPTO. (Hamza, 1983).

A.1.3.1. Contexto Legal.

A.1.3.1.1. Limitaciones.

Las normas y leyes concernientes al control de desechos sólidos otorgan ciertos poderes a los municipios para supervisar la recolección y eliminación de residuos domésticos; sin embargo, la legislación apenas se refiere a desechos provenientes de fuentes industriales.

En ausencia de reglamentos prácticos para reforzar el control de emisiones industriales, la aplicación de la legislación no cumple con los requerimientos necesarios.

A.1.3.2. Estrategias de resolución.

Es necesaria una estrategia basada en prácticas posibles y económicamente factibles para ejecutar los lineamientos interinos y de largo alcance sobre la eliminación de desechos sólidos y líquidos de industrias.

La Comisión Nacional del Medio Ambiente propone estrategias para imponer a los que contaminan "fechas-meta" y lineamientos interinos sobre emisiones.

Se puede imponer un sistema de cargas fiscales a las fuentes cuyo aporte de contaminantes compatibles pueda crear costos de tratamiento que excedan aquellos de los domésticos.

A.1.3.2.1. Establecimiento de tarifas.

Se propone la siguiente fórmula de tarifas:

$$\text{COSTO} = Q[C1 + C2(\text{DBO} - X1) + C1(\text{SS} - X2) + C4P]$$

En donde:

C1=Costo de transporte hacia las instalaciones de tratamiento.

Q=Flujo promedio anual.

X1 y X2=D.B.O y Sólidos suspendidos sin costo respectivamente.

P y C4=Concentraciones y costo de tratamiento de substancias peligrosas específicas (Cianuros, fenoles, etc.)

Las cargas impuestas se invertirán en construcción de centrales industriales para el tratamiento de aguas residuales.

A.1.4 LEGISLACION EN JAPON. (Ichikawa, 1983)

A.1.4.1 Acciones administrativas sobre residuos peligrosos en Japón.

A.2.4.1.1 Establecimiento de medidas.

En 1970 se establecieron una serie de normas de calidad ambiental para la protección de la salud humana y la conservación del medio, conforme con el artículo 9 de la Ley Básica para el Control de la Contaminación del Ambiente.

A las normas les siguieron una serie de medidas para el control de la contaminación del agua (Ley No. 132 de 1967), tales como los reglamentos sobre efluentes y la construcción de sistemas de drenaje diseñados para lograr estas metas.

A.1.4.1.2. Clasificación de las normas.

Las normas de calidad del ambiente relativas a la calidad del agua se dividen en dos categorías. Una relativa a la protección de la salud humana y otra referente a las normas que se aplican a toda el agua de uso público, tales como ríos, lagos y mares.

A.1.4.2. Establecimiento de los parámetros a utilizar en las normas.

Los valores normales definidos para la protección de la salud se establecieron para nueve sustancias, incluyendo cadmio, alquil mercurio y Bifenilos Policlorados (PCB). Aquellos prescritos para el plomo, compuestos de cromo (VI) y arsénico son los mismos que los del agua potable.

Dado que el mercurio, el alquil mercurio y el PCB son a menudo ingeridos en el pescado, los valores normales se fijan tomando en cuenta su contenido en los productos y sus índices de su concentración.

**CUADRO A.1.4.2.1. NORMAS DE CALIDAD DEL AMBIENTE EN JAPON
RELATIVAS A LA PROTECCION DE LA SALUD.**

Valores estándar	Cadmio menos de .001 ppm	Cianuro No detectable	Fósforo orgánico No detectable	Plomo .1 ppm o menos	Cromo(VI) .05 ppm o menos
	Arsénico 0.05 ppm o menos	Mercurio Total 0.0005ppm o menos	Alquil Mercurio No detectables	PCB	

Fuente: Ichikawa 1983.

Los niveles de efluentes relativos a sustancias tóxicas se aplican a los efluentes vertidos por todos los establecimientos especifi-

cos. Además, los niveles de efluentes están relacionados con la conservación del ambiente vivo medido en términos de la demanda

bioquímica de oxígeno (D.B.O), pH y sólidos suspendidos (S.S), se aplican a los efluentes provenientes de establecimientos específicos que vierten sus residuos a razón de 50 m³ o más.

TABLA A.1.4.2.1.

**NIVELES DE EMISION REGLAMENTADOS
PARA EL CONTROL DE LA CONTAMINACION EN JAPON.**

Niveles de emisión (mg/ L)	Reglamentos de drenaje. (mg/ L)	Reglamentos de relleno sanitario. (mg/ L)
Cd	0.1	0.3
CN	1.0	1.0
N orgánico	1.0	1.0
Cr (VI)	1.0	1.0
As	0.5	1.0
Hg(total)	0.5	
PCB	0.005	0.0005
Cr	0.003	
Cu		2.0
Zn		3.0
Fe		5.0
Mn		10.0
Temperatura(°C)		45
pH		5.0
D.B.O (mg/ L)		600
SS(ml/ L)		600

Fuente: Ichikawa, 1983.

A.1.4.3. Establecimiento de estándares.

Los valores estándar de efluentes para sustancias tóxicas se definen en diez veces el valor normal de calidad del medio, con un margen para los efectos de dilución de las aguas de los ríos.

Aquellos para el alquil mercurio se definen en un nivel al cual no se detecten. En aquellos casos donde las industrias vierten sus efluentes al sistema de alcantarillado, se adaptan normas y reglamentos por parte de las municipalidades que limitan las descargas de desechos que interfieran con la operación de las plantas de tratamiento.

Se observa que los reglamentos para el drenaje están al mismo nivel que los fijados para descarga de efluentes al sistema de alcantarillado público.

A.1.5 LEGISLACION EN POLONIA. (Kempa, 1983).

A.1.5.1. Producción de residuos en Polonia.

El volumen total de desechos sólidos generado en los primeros años de la década de los ochenta fue casi de 400 millones de toneladas, siendo la proporción:

74.5 % de residuos no peligrosos, principalmente de origen mínero.

25 % de residuos parcialmente nocivos, incluyendo de basuras municipales.

0.5 % residuos altamente tóxicos.

A.1.5.2. Procedencia de los residuos.

Durante 1976 la industria polaca produjo 23.1 millones de toneladas desechos peligrosos. De esta producción total, los provenientes de las minas de cobre, zinc y plomo, aunados a sedimentos y partículas de polvo de precipitadores electrostáticos empleados en la metalurgia no ferrosa, así como los de curtidurías, enchapado y procesos relacionados, representan hasta 20.3 millones de toneladas.

El resto de la producción proviene de las industrias química, farmacéutica y refinerías.

Sólo 17 % se reutilizan.

Aproximadamente el 24 % de los materiales parcialmente nocivos y el 3 % de los desechos altamente tóxicos se reciclan.

La industria química, principal productora de desechos altamente tóxicos y peligrosos, utiliza solo un 6% del total de la producción de sus desechos.

A.1.5.3. CLASIFICACION DE RESIDUOS PELIGROSOS EN POLONIA.

A.1.5.3.1. Criterios de clasificación de desechos.

Se sugirieron como criterios básicos los siguientes indicadores de nocividad:

- A - Toxicidad.
- B - Inflamabilidad.
- C - Consistencia.
- D - Solubilidad en agua.
- E - Composición del agua extraída.
- F - Composición de los vapores y gases emitidos.

Cada indicador se evalúa con base en una escala de cinco clases. para cada una se han establecido valores umbral de indicadores particulares. Estos son fundamentalmente valores numéricos explícitos.

A.1.5.3.2. Indicadores en detalle.

A - TOXICIDAD.

Clase 1 - Residuos que contengan, en cantidades que excedan 0.1 % de masa seca, las siguientes sustancias:

a) aquéllas mencionadas como medios dañinos -lista B de la ley Polaca sobre Venenos del 28 de diciembre de 1963-.

b) aquéllas cuya concentración máxima permitida (CMP) en el aire de los lugares de trabajo que no exceda de 0.0001 g/m³.

c) aquéllas cuyos CMP (20 o 30 min) en el aire de lugares protegidos no exceda de 0.01 mg/m³.

d) aquellas cuyo CMP en la superficie del agua de primera clase en pureza no exceda de 0.05 g/m³.

e) aquéllas no mencionadas antes, cuyos LD50 no exceda en 50 mg/kg (para ratas) o cuyo LC50 no exceda en 100 mg/kg y otras sustancias de propiedades que correspondan a las sustancias anteriormente mencionadas.

Clase 2 - Residuos que contengan en cantidades menores a 0.01% de masa seca, las sustancias de la clase 1 y en cantidades que excedan 0.1 % de materia seca, las siguientes sustancias:

a) aquéllas mencionadas como medios dañinos- lista B de la ley Polaca sobre Venenos de diciembre de 1963-.

b) aquéllas cuyo CMP en el aire de los lugares de trabajo

varía de 0.0001 a 0.01 g/m³.

c) aquellas cuyo CMP (20 o 30 min.) en el aire de áreas protegidas varía de 0.01 a 0.1 mg/m³.

d) aquéllas cuyo CMP en el agua de primera clase de pureza varía de 0.05 a 1 mg/m³.

e) aquellas no mencionadas antes, cuyo LD50 es igual a 50 - 500 mg/kg o LC50=100-1,000 mg/kg y otras sustancias con propiedades dañinas que correspondan a las sustancias anteriormente mencionadas.

Clase 3 - Residuos que contengan en cantidades que excedan 0.1 % de masa seca las siguientes sustancias:

a) aquéllas cuyo CMP en el aire de los lugares de trabajo varía de 0.01 a 0.1 mg/m³.

b) aquéllas cuyo CMP (20 o 30 min) en el aire en áreas protegidas varía de 0.1 a 1.0 g/m³.

c) aquéllas cuyo CMP en la superficie de primera clase de pureza varía de 0.1 a 10 g/m³.

d) aquéllas no mencionadas antes, cuyo LD50 es igual a 500 - 5,000 mg/kg y otras sustancias con propiedades dañinas que correspondan a las sustancias anteriormente mencionadas.

Clase 4 - Residuos que contengan en cantidades menores a 0.1% de masa seca, las sustancias de la clase 3, y en cantidades que excedan 0.1 % de masa seca las siguientes sustancias:

a) aquéllas cuyo CMP en los lugares de trabajo exceda 0.1 g/m³.

b) aquéllas cuyo CMP (20 o 30 min) en el aire de áreas protegidas varía de 1.0 mg/m³.

c) aquéllas cuyo CMP en la superficie de agua de primera clase de pureza exceda 10 g/m³.

d) aquéllas cuyo LD50 es igual a 5,000 - 15,000 mg/kg y otras propiedades dañinas que correspondan a las sustancias anteriormente mencionadas.

Clase 5 - Desechos que no contengan sustancias dañinas (LD50 > 15,000 mg/kg).

B - INFLAMABILIDAD

Clase 1 - residuos de extrema inflamabilidad con una temperatura de ignición de $T < 249$ J.

Clase 2 - residuos de fácil flamabilidad, $T=294-328$ °K.

Clase 3 - residuos inflamables $T= 328-373$ °K.

Clase 4 - residuos inflamables $T > 373$ °K.

Clase 5 - residuos prácticamente no inflamables.

C - CONSISTENCIA

Clase 1 - residuos líquidos

Clase 2 - residuos semisólidos (con consistencia de pulpa,

sedimento, pasta, masa, etc.)

Clase 3 - residuos sólidos, en polvo y sueltos.

Clase 4 - residuos sólidos, con consistencia de tierra húmeda o de arena gruesa.

Clase 5 - residuos sólidos, de material solidificado rocoso.

D - SOLUBILIDAD EN AGUA

Clase 1 - residuos fácilmente solubles; en las pruebas normales, un 90-100 de la masa es disuelta.

Clase 2 - residuos fácilmente solubles, 10 - 90 % de la masa.

Clase 3 - residuos moderadamente solubles, 1 - 10 % de la masa.

Clase 4 - residuos poco solubles, 0.1 - 1 % de la masa.

Clase 5 - residuos prácticamente insolubles, menos del 0.1% de la masa.

E - COMPOSICION EN EL EXTRACTO DE AGUA.

Clase 1 - el extracto normal del agua contiene sustancias de clase 1 de toxicidad en concentraciones que excedan 0.1 g/m³.

Clase 2 - el extracto normal del agua contiene sustancias de clase 1 de toxicidad en concentraciones que exceden 0.1 g/m³, y sustancias de la clase 2 de toxicidad

en concentraciones que excedan en 0.1 g/m³.

Clase 3 - el extracto de clase 3 de toxicidad en concentraciones que excedan 10 g/m³.

Clase 4 - el extracto normal del agua que contiene sustancias de la clase 3 de toxicidad en concentraciones menores a 10 g/m³.

Clase 5 - el extracto de agua no contiene sustancias dañinas.

F - VOLATILIDAD.

Clase 1 - Desechos muy volátiles, con un índice de volatilidad (Iv) de $1 > 1.15$,

Clase 2 - desechos volátiles con $Iv = 1.0 - 1.15$,

Clase 3 - desechos moderadamente volátiles con $Iv = 1.05 - 1.10$.

Clase 4 - desechos poco volátiles con $Iv = 1.00 - 1.05$.

Clase 5 - desechos sin componentes volátiles con $Iv = 1.0$.

G - COMPOSICION DE VAPORES EMITIDOS Y GASES.

Clase 1 - el gas (vapor) emitido de los desechos en las pruebas estándar contiene sustancias de la clase 1 de toxicidad en concentraciones que exceden 0.1 mg/m³.

Clase 2 - el gas emitido de los desechos contiene sustancias de la clase 1 de toxicidad en concentraciones de

0.01 mg/m³.

Clase 3 - el gas contiene sustancias de la clase 3 de toxicidad en concentraciones que exceden 0.1 mg/m³.

Clase 4 - el gas contiene sustancias de la clase 3 de toxicidad en concentraciones que exceden 0.1 mg/m³.

Clase 5 - el gas no contiene sustancias dañinas.

A.1.5.3.3. Tipos de desechos.

Clase I - residuos altamente peligrosos.

Clase II - residuos peligrosos.

Clase III - residuos dañinos.

Clase IV - residuos parcialmente nocivos.

Clase V - residuos no peligrosos, pero problemáticos.

A.1.6 LEGISLACION EN FRANCIA. (Le Roy, 1983).

A.1.6.1 Leyes y reglamentos sobre residuos industriales en Francia.

Existen leyes y reglamentos que se aplican a los desechos, y sus previsiones varían de acuerdo con su categoría.

A.1.6.1.1. Ley sobre establecimientos clasificados.

La ley No 76.663 del 19 de julio de 1976 para establecimientos obligados a cumplir con reglamentos para la protección del ambiente, cubre la producción y eliminación de desechos dentro de la empresa.

Establece reglamentos para la creación, operación e incluso el cierre de compañías industriales cuya presencia y manejo puedan ser causa de contaminación. Esta ley se implementó por un decreto, el 21 de septiembre de 1977.

Se publicó una lista de establecimientos clasificados, incluyendo 400 tipos de industrias.

El número 167 de la lista (decreto del 9 de junio de 1980) estipula que las estaciones de tránsito, sitios de relleno sanitario y las instalaciones que procesan e incineran desechos industriales provenientes de un establecimiento clasificado se incluyen también.

A.1.6.1.2. La ley sobre eliminación de residuos y recuperación de materiales.

El marco legal que se encuentra contenido en la disposición No 75.663 del 15 de julio de 1975 sobre la eliminación de desechos y recuperación de materiales. Conciernen todo tipo de desechos y actividades relacionadas a la recolección, transporte, almacenamiento, procesamiento y eliminación.

El artículo 2 formula el principio de responsabilidad del productor de residuos, quien debe asegurarse de su eliminación en condiciones que no pongan en peligro el ambiente y debe rendir cuentas de su destino final.

El artículo 3 prevé que las autoridades responsables de la ley y el orden, luego de la notificación formal y a expensas de la parte responsable, ordenen la eliminación de desechos que se encuentren abandonados o procesados violando la ley.

El artículo 8 de la ley proporciona la posibilidad de imponer un sistema de declaración sobre compañías que producen, importan, transportan o eliminan desechos, cuyo almacenamiento o confinamiento pueda considerarse peligroso para el ambiente.

El decreto No. 77.974 del 19 de agosto de 1977 acerca de la información que proporciona sobre los desechos contaminantes, y

encuadrando las categorías en que se enmarcan dentro de las previsiones y que se agrupan en cinco:

1. Residuos que contienen alguna de las veintiocho sustancias mencionadas (que incluyen asbesto, metales pesados y sus compuestos, compuestos de cianuro, flúor, azufre, fenol, PCB y solventes).
2. Residuos radiactivos.
3. Residuos de pinturas, hidrocarburos y aceites residuales.
4. Residuos de diversas actividades (refinerías de petróleo, industria química, farmacéutica y relacionadas, además de laboratorios).
5. Residuos provenientes de actividades relacionadas con el acabado de metales.

El decreto del 19 de agosto de 1977 designó al Cuerpo de Inspectores de Establecimientos Clasificados para aplicar la ley del 15 de julio de 1975. Algunas DII han creado ya un sistema de vigilancia basado en el principio de la "autosupervisión", mediante el cual las empresas de ciertos sectores industriales entregan una "declaración de producción de residuos" cada año al Cuerpo de Inspectores. El documento enumera diferentes tipos y cantidades de desechos contaminantes producidos por la firma.

Otra aplicación de la ley del 15 de julio de 1975 es el decreto del 21 de noviembre de 1979 (publicado en el diario oficial del 23 de noviembre) que establece reglamentos para la recuperación del aceite residual y estipula las condiciones para su recolección y eliminación.

El memorándum del 26 de junio de 1980 recomienda la creación de comités regionales de trabajo, formados por cuerpos especiales, representantes elegidos e industriales, quienes son responsables del diseño de las plantas de eliminación de desechos industriales.

A.1.6.1.3. La ley de protección del agua.

En aplicación de los reglamentos relacionados con el agua (decreto del 23 de febrero de 1973), el vertido de cualquier desecho sobre o bajo tierra, a excepción de aquellos considerados como inofensivos, está sujeto a un permiso.

Este procedimiento complementa al relacionado con los establecimientos clasificados.

A.1.6.1.4. Leyes sobre protección de los mares contra la contaminación por residuos.

La eliminación o incineración de desechos en el mar (leyes del 7 de julio de 1976) está sujeta a permiso previo del Ministerio del

Ambiente, el cual puede requerir al solicitante el cumplimiento de ciertas condiciones especiales dirigidas a la protección del medio marino.

Estas leyes francesas quedan incluidas en el marco de trabajo de las directrices de la Comunidad Económica Europea (C.E.E), en particular la del 20 de marzo de 1978 sobre residuos tóxicos y peligrosos.

A.1.6.2. Organismos Implicados.

A.1.6.2.1. Ministerio del Ambiente.

El Ministerio establece e implementa políticas de control de desechos, con la colaboración de los otros ministerios involucrados. Al aplicar esta política, el Ministerio del Ambiente encuentra apoyo de varios organismos que actúan a través de la ley (DII) o a través de incentivos (ANRED y Agences Financières de Bassin).

A.1.6.2.2. DII (Direcciones Interdepartamentales de la Industria).

El oficial responsable de los desechos en una empresa trata principalmente con la DII, que ejecuta las instrucciones generadas promulgadas a nivel nacional, de acuerdo con las características y condiciones locales.

A.1.6.2.3. ANRED (Agencia Nacional para la Recuperación y Eliminación de Residuos- Agence Nationale pour la Récupération et l'Élimination des Déchets -.)

La ANRED se define como "un servicio público propiedad del Estado de naturaleza comercial e industrial, responsable de recuperación e implementación de operaciones de recuperación y eliminación de desechos, y/o de llevar a cabo tales operaciones en interés público cuando los medios privados o públicos sean insuficientes".

Su tarea consiste, en la creación de instalaciones para proceso y reutilización de los desechos; debe incentivar el desarrollo de nuevas técnicas, asesorar a las autoridades locales y empresas, promover las campañas de información para despertar la conciencia pública.

Está capacitada para proporcionar asesoría técnica y ayuda financiera (subvenciones y préstamos o créditos) para operaciones de naturaleza ejemplar o que representen intereses importantes en términos de protección al medio ambiente y del ahorro de materias primas.

La ANRED recibe actualmente la mayor parte de sus fondos de los ministerios que la controlan, el Ministerio del Medio Ambiente y el Ministerio de Industria e Investigación.

A.1.6.2.4. Agencias Financieras de las Cuencas (Agences Financières de Bassin).

Existen seis de estas agencias en Francia para las seis cuencas principales.

Son servicios públicos responsables de la administración del agua y del control de la contaminación. Sus fondos provienen de las cuotas pagadas por los usuarios, ya sea porque contaminan o porque usan esta agua como reserva de agua potable, para la industria y el riego.

Los fondos se redistribuyen para financiar el control de la contaminación.

A.1.6.3. Proceso de autorización para unidades de tratamiento y confinamiento de residuos en Francia.

El proyecto se acompaña de un estudio de impacto que se presenta para la aprobación del público, autoridades locales y departamentos gubernamentales implicados.

Luego de esto, se proporciona la autorización mediante un decreto, el cual incluye reglamentos operacionales diseñados por la Dirección Interdepartamental de la Industria (D.I.I.).

Establecimientos que presentan problemas menos serios y están sujetos a un procedimiento de declaración a la Prefectura y que deben cumplir con los reglamentos preestablecidos de operación, cubiertos por decreto general.

ANEXO 2

TRATAMIENTO DE LODOS.

A.2.1. REFERENCIAS PUBLICADAS SOBRE TRATAMIENTOS INDUSTRIALES.

Tratamiento de efluentes de producción de pulpa al sulfato.

Timofeeva, Rusetskaya, Burshtein, Semenova, Kukbarev, Stankevich, Kimenko, Kukhareva, 1988.

Descontaminación de licores de maquinarias limpia-botellas.

Maueler, Brunk, Marten, 1986.

Nuevos procesos para tratamiento avanzado de aguas residuales.

Uriens, 1988.

Tratamientos biológicos de aguas residuales.

Tanaka, Minoru, 1988.

Tratamiento de aguas residuales que contienen para toluidina con ozono y peróxido de hidrógeno. Wei, Xingyi, Lu, Jun, Hui, Jianying, 1987.

Purificación de petróleo contenido en agua residual por electrólisis. Ibadullaev, Suleimanov, Tagiev, 1987.

Tratamiento de aguas residuales de plantas de plomo y zinc.

Zlatev, Zagorski, 1988.

Decoloración de aguas procedentes de pulpa blanqueada mediante el uso de ozono. Del Claustro, Prat, Vicente, Esplugas, 1988.

Tratamiento de dioxinas con ozono. Von der Mark, Rump, Pierson, 1987.

Inovación de tecnología para el año 2000 de tratamiento de aguas residuales. Parker, 1988.

Relación entre contactor metanogénico contenido y actividad máxima metanogénica de lodos granulares anaeróbios. Gorris, Dekok, Kroon, 1988.

Mecanismo de conversión preliminar en digestor anaeróbico de lodos biológicos. Paulotathis, Gosset, 1988.

Tratamiento de aguas residuales que contienen cianuro. Ema, 1988.

Separador agua-aceite para aguas residuales. Aymong, 1988.

Tecnología para tratamientos de aguas residuales de tenerías. Gutkowski, 1988.

Tratamiento de lodos tartáricos conteniendo cianuro ferroso. Iashuili, Kakhniashuili, Edzhibiya, 1988.

Digestión anaeróbica de lodos orgánicos. Kataoka, Endo, 1986.

Remoción de metales pesados de lodos clarificados o agua residual que contiene sólidos. Haessler, Schuttig, Machalet, 1987.

Remoción de iones de metales pesados de aguas residuales por electrólisis. Nikolaiev, Koval, Semenov, Drozdhenko, Romaneko, Kremlev, 1988.

Aerotanque eyector. Yurlev, 1987.

Remoción de contaminantes peligrosos por adsorción de biomasa microbiana. Bell, Tsezos, 1987.

Principios biológicos de tratamiento aeróbico y anaeróbico de aguas residuales. Mudrack, 1986.

Problemas especiales de tratamientos de efluentes industriales. Eroiss, 1986.

Toxicidad en agua de surfactantes textiles. Diehl, Barnhard, Avery, 1987.

Tratamiento anaeróbicos de lodos orgánicos. Kataoka, Endo, 1988.

Toxicidad y estimulación de la digestión anaerobia. Oleszkiewicz, 1988.

Proceso biológico de aguas residuales. Agranonik, Rakultsev, Keselbrener, Zaen, Burylev, Turovsii, 1988.

Digestión anaeróbica de lodos orgánicos.Katooka, 1988.

Nuevos procesos para pretratamiento fisicoquímico de efluentes de lecherías con uso agrícola del lodo producido.Bencze, 1990.

Facilidades de pre-precipitación sobre remoción de nitrógeno sin tanque de expansión.Karlsson, Smith, 1990.

Post-desnitrificación con alimentación controlada de lodo activado como donador de hidrógeno.Sekoulov, 1990.

Lodos activados.Silverstein, Mines, Sherrard, Weber, Aitken, 1990.

Tratamiento de lodos, utilización y disposición.Magar, Lagarenne, Muise, De Bernardi, 1990.

Método para adición controlada de oxidantes o reductores en tratamiento de aguas residuales.Morita, 1990.

Velocidad de acumulación de lodos en lagunas de estabilización. Leighton, Sockellares, 1988.

Solidificación de lodos de tratamiento de efluentes.Otte-Wite, Rauber, 1990.

Tratamiento anaeróbico de efluentes de cerveceras en el proceso expandido de microtransportador.Yoda, Iguchi, Kitagawa, 1990.

Tratamiento del sobrenadante de lodo por combinación de haz de electrones y tratamiento biológico. Cambios en la calidad del agua por irradiación. Arai, Arai, Sakumoto, Hosono, Yamamoto, Shimizu, Sugiyama, 1990.

Mejoramiento de la digestión anaerobia de lodo activado con tratamiento químico. Lin, 1989.

Una válvula check bomba reciprocante diseñada para oxidación supercrítica acuosa de lodos. Li, Gloyna, 1990.

Nuevos procesos para tratamiento fisicoquímico de efluentes de lecherías con uso agrícola del lodo producido. Karpati, Bencze, Borszeki, 1990.

Tratamiento de lodos. Sato, Kondo, Nonoyama, Oshima, 1990.

Digestión anaerobia de lodos. Nonoyama, Uchigama, Nakagawa, Osina, 1990.

Tratamiento de lodo activado. Akiyama, 1988.

Tratamiento y estabilización de lodos de efluentes de manufactura de sustitutos de grasa. Stepancia, Grishchenko, Belootchenko, 1990.

Tratamiento anaeróbico de lodos de acondicionamiento térmico de licor y características de granulado obtenido. Kimata, Tada,

Tanaka, Shinabe, Shimizu, 1991.

Estabilización de materiales peligrosos dentro de ferritas.

Tamura, Rojarayanont, Abe, 1991.

Estudio de planta piloto de efluentes de curtiduría con el objeto de reducir la producción de lodos. Szpyrkowicz, Rigoni, Zilio, 1991.

Tratamiento de lodos en un tanque biológico de depuración.

Kataoka, 1991.

Estudios de laboratorio de sobrevivencia de virus durante la digestión aerobia y anaerobia. Farrah, Bitton, Scheverman, 1991.

Tratamiento de lodos con silicato de calcio. Hatano, Joda, Morita, 1990.

Tratamiento de lodos de efluentes. Suzuki, Watanabe, Yoshida, 1990.

Inhibición de la digestión anaerobia por cobre. Wang, Zhao, Zhiping, Wang, Guo, 1990.

Control de metales pesados y compuestos organoclorados durante el tratamiento de los lodos. Bridle, Hammerton, 1990.

Uso de espuma de poliuretano como retención de microorganismos en fermentación metanogénico de propionato. Fukuzaki, Nishio, Nagai, 1990.

Inmovilización de microorganismos en geles que contienen agua. Hamada, Fujii, Okazaki, Abe, Nakahara, 1990.

Tratamiento térmico de lodos biológicos. Damen, Lahti, Kimmo, Peltola, 1987.

Derivados de poliaminas para la remoción de metales pesados. Moriya, Hosoda, Nishimura, Imachi, 1985.

Aparato para flotación de aguas residuales. Kadota, 1985.

Aclimatación de lodos activados y biodegradación de cresoles. Masunaga, Urushigaw, Yonezawa, 1987.

Procesos y aparatos para fijación, encapsulado, estabilización y detoxificación de metales pesados contenidos en lodos, suelos, cenizas y similares. Jones, 1986.

Bacteria reductora de cromo en la naturaleza y en efluentes industriales. Kuasnikok, Klyusshnikova, Kasatkina, Kuberskaya, 1988.

Proceso de lodos activados para aguas residuales. Fujii, Miki, Okamura, Shoji, 1988.

Solidificación y estabilización de lodos peligrosos con cemento Portland.Tseng, 1988.

Solidificación de efluente industrial mixto que contiene materia prima para concreto.Suemoto, 1988.

Efecto de la temperatura sobre la digestión de lodo aeróbico. Ouyang, 1989.

Solidificación y reuso de lodos residuales de la industria del acero.Pamukcu, 1989.

Tratamiento de efluentes de vinazas en un sistema de carpeta de lodo ascendente.Hong, Lettinga, 1990.

Método de reducción de volumen de lodos.Uchiyama, Fukushima, Nakagawa, Watanabe, 1990.

Tratamiento de lodo orgánico.Sato, Kondo, Nonoyama, Kamyama, 1990.

Aparato y proceso para clarificación y sedimentación de lodos. Harsanyi, Kiss, Toth, Baksa, Pais, Agoston, 1986.

Separación de lodos de dragado.Nikaido, Kikuchi, 1978.

Post-tratamiento de lodos crudos de tratamiento biológico de aguas residuales.Boehnke, 1985.

Manufactura de biogás y/o proteínas de efluentes agrícolas altamente contaminados. Kirchhof, Thomas, 1986.

Oxidación de aire húmedo de lodo digerido de forma anaerobia. Olmsteal, Hsieh, Scholze, 1987.

Efecto de variaciones de volumen del flóculo sobre las características de espesamiento de lodo. Knocke, 1986.

Naturaleza y uso de A-B (adsorción y bioareación) en lodos activados con referencia especial a una fermentación específica. Eitner, 1986.

Cinética y estequiometría en un reactor de lodos biológicos y desnitrificación con una fuente de carbón de lodos primarios. Abuyafend, Schroeder, 1986.

Remoción de iones de metales tóxicos de efluentes utilizando precipitantes poliméricos conteniendo grupo tiol. Mathur, Mathur, Menaria, 1989.

Remoción de óxidos de azufre de gases utilizando lodos activados. Erath, Henkel, 1989.

Tratamiento de efluentes que contienen látex sintético. Sevoyan, Abramyan, Arshakyan, 1989.

Tratamiento de líquidos peligrosos y lodos residuales.Hodi, Komlos, Lesseyei, 1986.

Método de tratamiento de aguas residuales con un lecho fijo de lodo activado.Fujji, Miki, Takesaki, Yamashiro, Masuda, Matsuo, 1988.

Tratamiento anaeróbico de lodos de plantas de pulpa.Alavaker, Puhakka, 1989.

Factores que controlan el reciclamiento del fósforo de digestores anaeróbicos en secuencia de sistemas biológicos de remoción de fósforo.Randall, 1988.

Tratamiento biológico de efluentes de la industria azucarera. Budicek, Reisek, Kubin, Spoustova, 1989.

Destino de componentes de detergentes, poliglixato de sodio en el tratamiento de aguas residuales.Park, Jenkins, Holsen, Wiscinsin, 1989.

Método de tratamiento de lodos.Fujiwara, 1988.

Análisis de nitrificación durante la digestión aerobia de lodos secundarios. Bhargava, 1989.

Estudio de factibilidad de uso de lodos activados como material de siembra para un reactor anaeróbico.Hu, Wu, Gu, 1988.

Tratamiento de efluentes de rastros con floculantes de sulfato de polihierro.Lu, Zhang, Chen, 1987.

Lavado de membranas de ultrafiltración.Akazawa, Koyama, Minami, Okamura, 1988.

Aparato para tratamiento del exceso de lodos.Ida, 1989.

Tratamiento de efluentes por ultrafiltración. (Problemas de separación resueltos de forma segura.)Oswald, 1989.

Experiencias con nitrificación de plantas de lodos activados en Dinamarca.Jansen, 1989.

Aplicación de disco bacteriológico rotatorio en tratamiento de efluentes de tenerías.Zeng, Deng, 1989.

Investigación de arranque en filtros anaeróbios utilizando residuos de lecherías.Marques, Cayless, Lestez, 1989.

Método de remoción de metales.Kuyacak, Volesky, 1988.

Efecto de la temperatura en la digestión aerobia.Ouyang, Kuo, 1989.

Tratamiento de residuos de producción de sosa.Pileky, Rokita, Nostachowski, Rokita, Nostachowski, Rokita, Stolka, 1988.

Aparato para digestión anaerobia de lodos de tratamiento de aguas residuales.Sasaki, Hoshikawa, Hatsumata, 1989.

Digestión anaerobia de lodos orgánicos.Kondo, Yajima, Nonoyama, Kamiyama, 1990.

Deodorización y digestión anaerobia de lodos.Ishida, 1988.

Tratamiento de aguas residuales orgánicas y lodos.Kataoka, Watanabe, 1990.

Desarrollo de licor mixto de alta concentración de lodo activado utilizado con una separación centrífuga como aereador de superficie.Honda, Yamamoto, 1990.

Medición de la velocidad de respiración endógena de lodo activado con un equipo automático para fácil estimación de la D.B.O. Mochizuki, Ishihara, Furukawa, Kamata, 1990.

Tratamiento de resinas epóxicas.Baradel, Della, Gulinelli, Valdiserra, Robertiello, 1988.

Método para mejorar asentamiento de lodo activado. Fujii, Tanabe, 1988.

Efectos de la precipitación de fósforo sobre la digestión anaerobia.Yeoman, Lester, 1990.

Método y aparato para desintegración y destrucción de materiales tóxicos de lodos. Rosloms, 1986.

Tratamiento de lodos de efluentes. Stremilova, Erenko, Kuvshinova, Sukhodolski, 1990.

Tratamiento de lodos de efluentes. Tsunekane, 1991.

Remoción de aceite de lodos de molinos por flotación. Bahr, Metins, 1987.

Tratamiento con ayuda de congelamiento y descongelación. Lewandowski, Morin, 1985.

Estabilización de lodos con electro-impulsos. Dichtl, 1987.

Estabilización de lodos en dos etapas. Dichtl, 1987.

Pirólisis y equipo para ésta operación en lodos biológicos. Chiarua, 1987.

Tratamiento de efluentes de cerveceras mediante la utilización del método de carpeta anaerobia de lodo de flujo ascendente (U.S.A.B). Liu, Fang, Zhu, Cai, Gu, 1990.

Estudio de la actividad del fosfato en la digestión anaerobia de lodos. Wang, Guo, Li, 1990.

Preparación de pigmento de óxido de hierro de residuos industriales. Guruviah, Sundram, Ganesa, 1989.

Opciones aeróbias y anaeróbias para tratamiento de efluentes de la industria de alimentos. Olesklewicz, Hutchison, 1989.

Ejecución perfeccionada de reactores de carpeta anaerobia de flujo ascendente. Shin, Paik, 1990.

Manejo de lodos de aguas residuales tóxicas. Pintenich, 1990.

Destrucción de químicos peligrosos usando energía solar. Glatmaier, Nix, 1990.

Manufactura de losas utilizando lodos de aguas residuales. Hashimoto, 1987.

Aplicación novedosa de ácido peracético en desinfección industrial. Fraser, 1987.

Posibilidad de utilización de los lodos de curtidurías o tenerías en agricultura. Silva, Giardelli, 1987.

Uso de lodos tratamiento de efluentes como sustituto de suelos. Kahl, Kalistratos, Jacob, 1988.

Uso de lodos de tratamiento de efluentes de anodizado de aluminio. Amante, 1990.

Procesos anaeróbios. Goodwin, Hickey, 1988.

Progreso de asentamiento de lodos activados por aditivos químicos. Demel, Moebius, 1988.

Sistemas para disposición y tratamiento de lodos tóxicos y peligrosos. Lottito, Mininni, Spionosa, 1987.

Investigación sobre el lecho anaeróbico fluidizado para digestión biológica. Huang, Huang, Ray, 1988.

Tratamiento de lodos inorgánicos. Higak, 1988.

Remoción de cromo de efluentes industriales. Beszeditus, 1988.

Ejecución de un proceso anaeróbico híbrido. Crawford, Teletzke, 1987.

Nuevos resultados sobre el comportamiento del cromo en efluentes de lodos de tenerías. Schwedt, Meyer, 1990.

Degradación de fenol, clorofenoles y clorofenoxiherbicidas durante la digestión anaeróbica. Kirk, Lester, 1989.

Remoción de nitrógeno por procesos de lodos activados en filtración de membranas. Suwa, 1990.

Diseño de tanque de digestión de lodos. Ren, 1989.

Digestión Anaerobia de sólidos capturados durante filtración del efluente primario. Dean, Matsumoto, Mark, Weber, Tchobanoglous, 1986.

ANEXO 3

DISPOSICION FINAL.

A.3.1. Ejemplos reales de la problemática que representan los tiraderos a "cielo abierto".

Estado de México.

En el Estado de México hay cinco mil tiraderos clandestinos que son de uso de diez mil fábricas del Valle de Cuautitlan-Texcoco.

Fuente: Excelsior, 20-1-1993, pag 1, Sección Estados.

En el Estado de México clausuran 13 tiraderos "a cielo abierto", que comprenden 275.5 hectáreas para el primer trimestre de 1993 y en su lugar se planea habilitar rellenos sanitarios para confinar residuos hospitalarios, domésticos e industriales de la región.

Fuente: El Financiero, Sección Metrópoli, pag 44, 3-12-1992.

La Jornada, Sección La Capital, pag 36, 3-12-1992.

El Estado de México carece de confinamientos controlados a pesar de ser la entidad de mayor actividad industrial.

Fuente: El Universal, Sección Estado de México, pag 3, 3-11-1992.

Fábricas Mexiquenses arrojan 12,000 toneladas de residuos anualmente en tiraderos "a cielo abierto".

Fuente: Excelsior, Sección Estados, pag 1, 29-5-1992.

Metepec cuenta con un tiradero de 50 m de profundidad y 250 m de circunferencia, donde albergan 900 toneladas de basura, el cual al no contar con estudios técnicos del suelo; se induce la existencia de una severa contaminación de los mantos freáticos. Fuente: El Universal, Sección Estado de México, pag 3, 10-11-1992.

Baja California Norte.

En Mexicali, Baja California Norte, se localizó 7,000 m³ de lodos de tratamiento de efluentes industriales, provenientes de Estados Unidos de América en depósito a "cielo abierto", sin el conocimiento de las autoridades.

Fuente: El Universal, Sección Primera, pag 12, 5-11-1992.

Morelos.

En Morelos hay 12 tiraderos "a cielo abierto" sin control técnico, por lo que existe un grave problema ambiental y de salud.

Fuente: El Universal, Sección Morelos, pag 6, 31-7-1992.

Distrito Federal.

El gobierno del Distrito Federal clausurará 13 tiraderos a "cielo abierto" y establecerá 7 rellenos sanitarios para una capacidad de recepción de 18,000 toneladas diarias.

Fuente: El Financiero, Sección Metrópoli, pag 34, 29-7-1992.

Se detectaron residuos tóxicos en los mantos freáticos de Valle de México, debido al mal manejo y falta de control los residuos que están a "cielo abierto".

Fuente: La Jornada, Sección El País, pag 10, 11-5-1992.

La asamblea de representantes del Distrito Federal manifestó que hacen falta, depósitos para residuos tóxicos para el Valle de México.

Fuente: Excelsior, Sección Primera, pag 4, 29-4-1992.

El Instituto de Geofísica de la U.N.A.M ha encontrado cadmio, cromo y hierro entre otros metales pesados contenidos en mantos freáticos en el Valle de México.

Fuente: Excelsior, Sección Primera, pag 5, 11-5-1992.

Tamaulipas.

El ayuntamiento de Matamoros, ordenó la suspensión de la operación de un confinamiento industrial, por irregularidades en su funcionamiento, siendo que revocó el permiso de uso de suelo para el efecto.

Fuente: La Jornada, Sección El País, pag 17, 21-7-1992.

Querétaro.

Es probable que los desechos tóxicos de Querétaro que se enviaron al confinamiento industrial que se clausuró en San Luis Potosí, por irregularidades en su funcionamiento, se depositaron en

tiraderos a "cielo abierto".

El estado planea la construcción de un relleno sanitario en San Juan del Río.

Fuente: El Universal, Sección Estados, pag 1, 14-4-1992.

En Ecatepec tiraderos a "cielo abierto" se incendian por falta de control de operación.

Fuente: El Universal, Sección Estados, pag 3, 20-4-1992.

En tiraderos a "cielo abierto", ríos y barrancas se encuentra el 75 % de los desechos peligrosos que genera la industria en México.

Fuente: El Universal, Sección Primera, pag 12, 3-11-1992.

A.3.2. Necesidad de Implantación de Confinamientos Controlados en México.

Distrito Federal.

La Asamblea de Representantes del Distrito Federal presentará propuestas para el manejo de residuos peligrosos, haciendo énfasis en su eliminación.

Fuente: La Jornada, Sección El País, pag 23, 9-10-1992.

Estado de México.

En el Estado de México se estudia la posibilidad de seguir utilizando el relleno "Rincón Verde".

Fuente: El Universal, Sección Estado de México, pag 3, 14-4-1992.

En Tepatlaxco, Estado de México, el relleno "Corral del Indio" no cuenta con un buen estudio técnico de operación y de servicio.

Fuente: El Universal, Sección Estados, pag 6, 16-12-1992.

En Toluca construirán un confinamiento de desechos tóxicos.

Fuente: Uno más uno, Sección La Provincia, pag 15, 18-11-1992.

Puebla.

En Puebla, la SEDESOL indica que las barrancas de Tlapacoya son técnicamente factibles para construir rellenos sanitarios para la entidad.

Fuente: El Universal, Sección Estados, pag 2, 27-7-1992.

Morelos.

En Temixco se cuenta con un confinamiento sin control.

Fuente: El Universal, Sección Morelos, pag 8, 5-11-1992.

Jalisco.

Jalisco cuenta con un confinamiento que no cumple con todas las normas que establece SEDESOL.

Fuente: La Jornada, Sección El País, pag 24, 6-11-1992.

Sinaloa.

En Sinaloa, la Asociación de Agricultores del Río Culiacán, demandó la construcción de un confinamiento de residuos.

Fuente: El Universal, Sección Estados, pag 1, 11-12-1992.

Nuevo León.

En Nuevo León faltan al menos 3 rellenos sanitarios para disposición de 5,500 toneladas de residuos industriales.

Fuente: Excelsior, Sección Estados, pag 4, 11-12-1992.

Sonora.

En Hermosillo Sonora urge que se habilite el confinamiento de "Las Víboras" para desechos de 4,000 fábricas.

Fuente: Excelsior, Sección Estados, pag 1, 8-1-1993.

BIBLIOGRAFIA.

Adamsom, D.
Cooper, R.N.
Van Oostrom, A.J.
Biocycle. June.
pp 56-60, 1991.

American Society for Testing and Materials.
Annual Book of A.S.T.M. Part 23.
Water and Atmospheric Analyses, 1973.

APHA, AWWA y WPCF
Métodos Normalizados de Análisis, Ed Diaz de Santos.
1992.

Apuntes del Seminario de Impacto Ambiental de las Industrias de
Celulosa y Papel A.T.C.P. 1991.

Aguilar, F.
Carrasco, S.
Coronado, M.
Espinosa, G.
Fuad, A.
Gonzalez, R.
Gonzalez, R.
Rojas, J.

Benn, F.R.
McAuliffe, C.A.
McMillan Press Ltd. 1975.

Cheremisihoff, P.
Pollut. Eng Vol.22 N°5
pp 87-94, 1990.

Chistayakova, E.A.
Belostoskii, M.D.
Worobeva, Y.A.
Vodosnabzh Sanit.Tekn.
pp 21-23. 1990.

Crespo
Manual de Cimentación.
Ed Limusa, 1979.

Curso de Manejo, Tratamiento y Disposición de Residuos Sólidos Municipales. 1991.

Aguilar, F.
Davila, A.
Morales, J.J.
Sanchez, J.

Curso de Residuos Sólidos Peligrosos. 1992.

Aguilar, F.
Davila, A.
Gutierrez, C.
Morales, J.J.

Defregger, F.

Erasmus, H.

Hamza, A.

Ichikawa, A.

Kempa, E.

Le Roy, E.

Skinner, J.

Viken, W.

Waage, P.

PNUMA Número Especial, Industria y Medio Ambiente.
pp 16-22, 26-52, 67-71, 76-81. Montevideo, Uruguay, 1983.

Endo, K.

Kato, T.

(Hitachi Metals, Ltd.)

Jpn Kokai Tokkyo Koho JP 02,204,000 [90,204,000]. 1990.

Espíndola, M.

Tellez, O.

Tesis de Licenciatura (Facultad de Química).

Evaluación de Tecnologías que emplean Procesos Fisicoquímicos para el Tratamiento de Residuos Peligrosos.

1992.

Ford, D.

Gloyna, E.

Malina, J.Jr.

Collection, Treatment and Disposal of Liquid Wastes for Presentation at Mexico City, Mexico. 1991.

Furukawa

Maruoka, R.

Hina, S.

(Kurita Machinery Mig. Co., Kurita Water Industries, Ltd)

Jpn Kokai Tokkyo Koho JP 298,900 [90,268,900]. 1990.

Haberl, T.
Urban, W.
Gehring, P.
Szinovatz, W.
Water Science Technology Vol.24, N°3-4
pp 229-239. 1991.

Highsmith, R.
Good, F.
Lupton, F.
Kehrer, K.
Petrie, G.
US.US 4988442. 1991.

Hakubun
Shioyama
Terao, 1987.
sin número de página.

Haubry, A.
Cornice, R.
Forgeat, J.C.
(Degremont S.A.)
FR 2,581,559. 1986.

Hundt, T.R.
O'Melia, C.R.
Aluminum-Fulvic Acid Interactions Mechanisms and Applications.
Journal AWWA. April.
pp 176-186. 1988.

International Conference of Enviromental Pollution.
Chambino, T.
Bartolomeu, F.
Ganho, R.M.B.
Nath, B.
Robinson, J.P.
pp 663-670.

International Conference on Enviromental Pollution.
Thorat, P.R.
Kapadani, B.P.
Nath, B.
Robinson, J.P.
pp 680-685.

Kemmer, F.N.
The NALCO Water Handbook. 1979.

Kim, C.W.
Lee, S.
(Poong Lim Industrial Ltd.)
Brit. U.K. Pat.GB 2,228,930. 1990.

Kitano, M.
Jpn Kokai Tokkyo Koho JP 0342,012 [9142,012]. 1991.

Kitano, K.
(Komatsu, Ltd).
Jpn Kokai Tokkyo Koho JP 63,294,786 [88,294,786]. 1988.

Kudo, A.
Water Science Technology 21(12)
pp 1685-1688. 1989.

Ledendorf, W.
Ger Offen DE 3,545,321. 1987.

Manual de Tratamiento de Aguas Negras.
Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York.
México, 1990.

Matsuda, K.
Aoi, M.
Jpn Kokai Tokkyo Koho JP 63 54,991 [88,54,991], 1988.

Mikami, Y.
Morita, H.
Tanimura, Y.
Ishii, N.
(Nittetsu Mining Co.Ltd)
Jpn Kokai Tokkyo Koho JP 63,270,511 [88,270,511] 1988.

Mikehda, J.
Grau, P.
Wanner, J.
Konicek, Z.
Vesely, D.
Krizanovic, F.
Kos, M.
Czech CS 248,891. 1988.

Moebius, C.H.
Luonsi, A.A.O.
Rantala, P.K.
Water Science Technology Vol.20 N°1
pp 121-132, 1988.

Moore W.J.
Physical Chemistry.
Prentice Hall Inc, 1972.

Murakami, M.
Yokoyama, S.
Ogi, T.
Koguchi, K.
Biomass Vol.23 N°3
pp 215-228, 1990.

Nakano, 1987.
sin número de página.

Nevalainen, J.
Rantala, P-R.
Junna, J.
Water Science Technology Vol.24, N°3-4.
pp 427-430. 1991.

Nishisawa, F.
Hirao, T.
(Takuma, Co, Ltd)
Jpn Kokai Tokkyo Koho JP 62,49,992 [8749,992]. 1987.

Ogurisu, T.
Tasaka, K.
Ikeda, K.
Kubota, T.
Jpn Kokai Tokkyo Koho JP 62,171,788. [87,171,788]. 1987.

Otte-Witte, R.
Rauber, M.
WLB Wasser, Luft.
D-4600
Durtmund R.F.A. 1990.

Roe, L.
Water Res.24(12).
pp 1453-1458. 1990.

Sakuma, E.
(Koyokasei K.K.)
Jpn Kokai Tokkyo Koho JP 02,203,981 [90,203,981]. 1989.

Shishkin, E.A.
Toran, N.M.
Komisarova, M.P.
Tsuetn Met, Moscu (5)
pp 94-96. 1987.

Tanaka, 1989.
sin número de página.

Tango, H.
Hotsuta, H.
(Nigata Engineering Co, Ltd.)
Jpn Kokai Tokkyo Koho JP 63,116,800 [88,116,800]. 1988.

Tchobenoglous, A.
Metcalf & Eddy.
Waste Water Engineering Treatment Disposal and Reuse.
McGraw Hill Book Company, 1979.

Tseng, D.W.
Journal.Chin.Ins.Eng.11(3).
pp 219-225. 1988.

Van Luin, A.B.
Teurlinckx, L.V.M.
Kolaczowski, S.T.
Crittenden, B.D.
Management of Hazardous and Toxic Wastes in The Process
Industries.
pp 476-485, 1987.

Winkler, M.A.
Tratamiento Biológico de Aguas de Desecho.
Ed. Limusa. 1986.
Autores citados por Winkler M.A en "El Proceso de Lodos
Activados", cap 3 y "Procesos Avanzados de Lodos Activados"
cap 5. de Tratamiento Biológico de Aguas de Desecho.
pp 87-128, 161-181. 1986.

Yasukawa, K.
Suzuki, K.
JPN KOKAI TOKKYO KOHO JP 62,193,700. 1987.