

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA

01149

26

ESTUDIOS PRELIMINAR DE LOS LODOS PRIMARIOS Y
ACTIVADOS DE EXCESO EN LA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES "CHAPULTEPEC"

TRABAJO:
PRESENTADO A LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE
POSGRADO DE LA

FACULTAD DE INGENIERIA
DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

COMO REQUISITO PARA OBTENER
EL GRADO DE
MAESTRO EN INGENIERIA
(AMBIENTAL)

PRESENTA:

BALTAZAR LUCERO RAMIREZ

MEXICO, D.F. 2002



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 esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

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



01149

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO
Facultad de Ingeniería

26

ESTUDIO PRELIMINAR DE LOS LODOS PRIMARIOS Y AC-
TIVADOS DE EXCESO EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO -
DE AGUAS RESIDUALES "CHAPULTEPEC"

BALTAZAR LUCERO RAMIREZ

TRABAJO

Presentado a la División de Estudios de
Posgrado de la

FACULTAD DE INGENIERIA

de la

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO.

como requisito para obtener
el grado de

MAESTRO EN INGENIERIA
(A M B I E N T A L)

CIUDAD UNIVERSITARIA, MAYO DE 1986.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

A mi madre

Por su sacrificio de tantos
años

A mis hermanos

Esperando que este trabajo
sea un incentivo para su -
constante superación.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Deseo expresar mi más sincero agradecimiento a los siguientes profesores:

Dr. Pedro Martínez Pereda

Subjefe del Area de Ingeniería Ambiental

División de Estudios de Posgrado

Facultad de Ingeniería, UNAM, por su asesoría y sus consejos en la elaboración de este trabajo.

M en I Gabriela Moeller de Jalife

Secretaría Académica

División de Estudios de Posgrado

Facultad de Ingeniería, UNAM, por el apoyo tanto académico como administrativo que siempre me ha proporcionado

M en C Francisco Montejano Uranga,

Como un reconocimiento a su gran trayectoria docente en la enseñanza de la Ingeniería Sanitaria y Ambiental en México

M en I Georgina Fernández Villagómez,

Por su orientación y su amistad.

Agradezco también a todas aquellas personas que de algún modo participaron en la realización de este trabajo, en especial a la señorita Arcelia Villegas Sosa por su valiosa ayuda en la elaboración del presente trabajo.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

ESTUDIO PRELIMINAR DE LOS LODOS PRIMARIOS Y ACTIVADOS DE EXCESO EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES "CHAPULTEPEC"

CONTENIDO

1. INTRODUCCION
2. OBJETIVOS Y ALCANCES
3. SITUACION ACTUAL DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LAS PLANTAS QUE OPERA LA DIRECCION GENERAL DE CONSTRUCCION Y OPERACION HIDRAULICA (DGCOH) DEL DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL (DDF)
4. MUESTREO Y ANALISIS DE LODOS PRIMARIOS Y ACTIVADOS DE EXCESO EN LA PLANTA "CHAPULTEPEC"
5. CUANTIFICACION PRELIMINAR DE LOS LODOS QUE SE PRODUCEN EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES QUE OPERA LA DGCOH, DDF
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
7. REFERENCIAS Y OBRAS CONSULTADAS
8. ANEXOS
 - ANEXO I: GRAFICAS DE CAUDALES MENSUALES PROMEDIO DE AGUAS RESIDUALES TRATADAS EN LAS PLANTAS QUE OPERA LA DGCOH, DDF
 - ANEXO II: GRAFICAS DE VALORES DE PARAMETROS ANALIZADOS EN LOS LODOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO "CHAPULTEPEC"
 - ANEXO III: TIPOS Y CARACTERISTICAS DE LODOS REGISTRADOS EN LA LITERATURA
 - ANEXO IV: DESCRIPCION DE LOS PROCESOS EXISTENTES EN LA LITERATURA PARA EL TRATAMIENTO Y ELIMINACION DE LOS LODOS

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

1. INTRODUCCION

En la operación de las plantas de tratamiento de aguas residuales se obtiene además de las aguas renovadas una serie de subproductos como: los materiales gruesos eliminados en el tratamiento preliminar, los materiales inertes que sedimentan en los tanques desarenadores, los materiales flotantes o natas que se forman en la superficie de los tanques de desnatación, los sólidos que se asientan en el fondo de los tanques de sedimentación primaria y los flóculos biológicos eliminados en las tolyas de los tanques de sedimentación secundaria. A estos dos últimos se les conoce con el nombre genérico de "lodos" de las plantas de tratamiento de aguas residuales y normalmente tienen la forma de una masa viscosa o suspensión con un alto contenido de humedad. De los subproductos mencionados, son los lodos los que mayor volumen ocupan y su tratamiento y eliminación es uno de los problemas más complejos en el campo del tratamiento de las aguas residuales.

Desafortunadamente, las plantas de tratamiento de aguas residuales que opera la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica (DGCOH) del Departamento del Distrito Federal (DDF) así como muchas otras plantas similares en el país carecen en su mayoría de instalaciones para el tratamiento de los lodos o bien se cuenta con los equipos pero no se operan. Esto ha originado que esos subproductos se acumulen dentro de las mismas plantas y que finalmente en forma inadecuada sean descargados a los sistemas de alcantarillado o a cuerpos hidrológicos superficiales causando innecesarios problemas de salud pública, azolve de ductos, olores desagradables y otras molestias al medio ambiente.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2. OBJETIVOS Y ALCANCES

Ante la problemática que representa la descarga de los lodos crudos tanto primarios como activados de exceso a los sistemas de alcantarillado, específicamente en las plantas de tratamiento de aguas residuales que opera la DGCOH del DDF., y tomando en cuenta que no existe información respecto a las características ni al volúmen de dichos lodos, se pretende que este trabajo logre los siguientes objetivos y alcances:

- 1) Caracterización preliminar de los lodos primarios y activados de exceso producidos en la planta de tratamiento de aguas residuales "Chapultepec".
- 2) Cuantificación preliminar de los lodos primarios y activados de exceso que se producen en cada una de las plantas que opera la DGCOH del DDF.

Para poder cumplir con los objetivos mencionados se deberán lograr los alcances que se citan a continuación:

- 1) Muestreo y análisis de lodos primarios y activados de exceso de la planta "Chapultepec", para determinar algunas de sus características físicas y químicas.
- 2) Visitas a cada una de las plantas de tratamiento de aguas residuales que opera la DGCOH., con el fin de conocer sus instalaciones y en el caso de existir, los equipos para el tratamiento de lodos.
- 3) Descripción de los procesos y operaciones unitarias existentes en la literatura para el tratamiento y eliminación de los lodos.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

3. SITUACION ACTUAL DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LAS PLANTAS QUE OPERA LA DIRECCION GENERAL DE CONSTRUCCION Y OPERACION HIDRAULICA DEL DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL

El Departamento del Distrito Federal ante el problema que representa el proporcionar un suministro eficiente de agua a la población, lo cual es cada vez más complejo, debido entre otras causas al excesivo crecimiento demográfico e industrial, a la escasez del recurso en la cuenca del Valle de México y a los altos costos que representa el importar agua de otras cuencas, ha establecido desde al año de 1956, la política del reuso del agua residual tratada en diversas aplicaciones que no requieren agua de calidad potable, como el riego de áreas verdes en parques y jardines y el llenado de lagos de ornato y recreativos, lo que ha permitido en cierto grado, el ahorro de agua potable de primera calidad y destinarla a otros sectores de la población.

Por lo anterior, la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica del DDF., en el período de 1956 a la fecha ha construido nueve plantas de tratamiento de aguas residuales municipales. Estas son:

- Chapultepec
- Ciudad Deportiva
- San Juan de Aragón
- Coyoacán (antes Xochimilco)
- Cerro de la Estrella
- Acueducto de Guadalupe
- Bosques de las Lomas
- El Rosario

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

- Tlatelolco

Las cinco primeras fueron construídas con el propósito específico de reusar el agua tratada y las cuatro restantes con el objeto de cumplir con el Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación del Agua, - no obstante, sus efluentes también están siendo aprovechados. En la Figura 3.1 se muestra la ubicación de dichas plantas.

Las nueve plantas de tratamiento fueron diseñadas utilizando el proceso biológico de "lodos activados" (tratamiento secundario). La planta de "El Rosario" cuenta - además con tratamiento terciario a base de columnas de carbón activado.

La capacidad de diseño de cada una de las plantas junto con otra información se presenta en la Tabla 3.1. La - capacidad total instalada es de 4,317 l/s.

3.1 Características de las plantas de tratamiento⁽³⁾

Chapultepec. Esta fue la primera planta construída en la Ciudad de México para el tratamiento de aguas residuales con el fin de ahorrar agua potable. Su efluente se aprovecha para el riego de áreas verdes del Bosque de Chapultepec y para el llenado de sus lagos recreativos. Consta de dos unidades de 80 l/s cada una e inició su operación en el año de 1956.

Esta planta se construyó además con equipo e instalaciones para el tratamiento de los lodos. La unidad No. 1 tiene un tanque Imhoff y la No. 2 tiene digestión anaeróbica en dos etapas. La planta trata aguas residuales

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

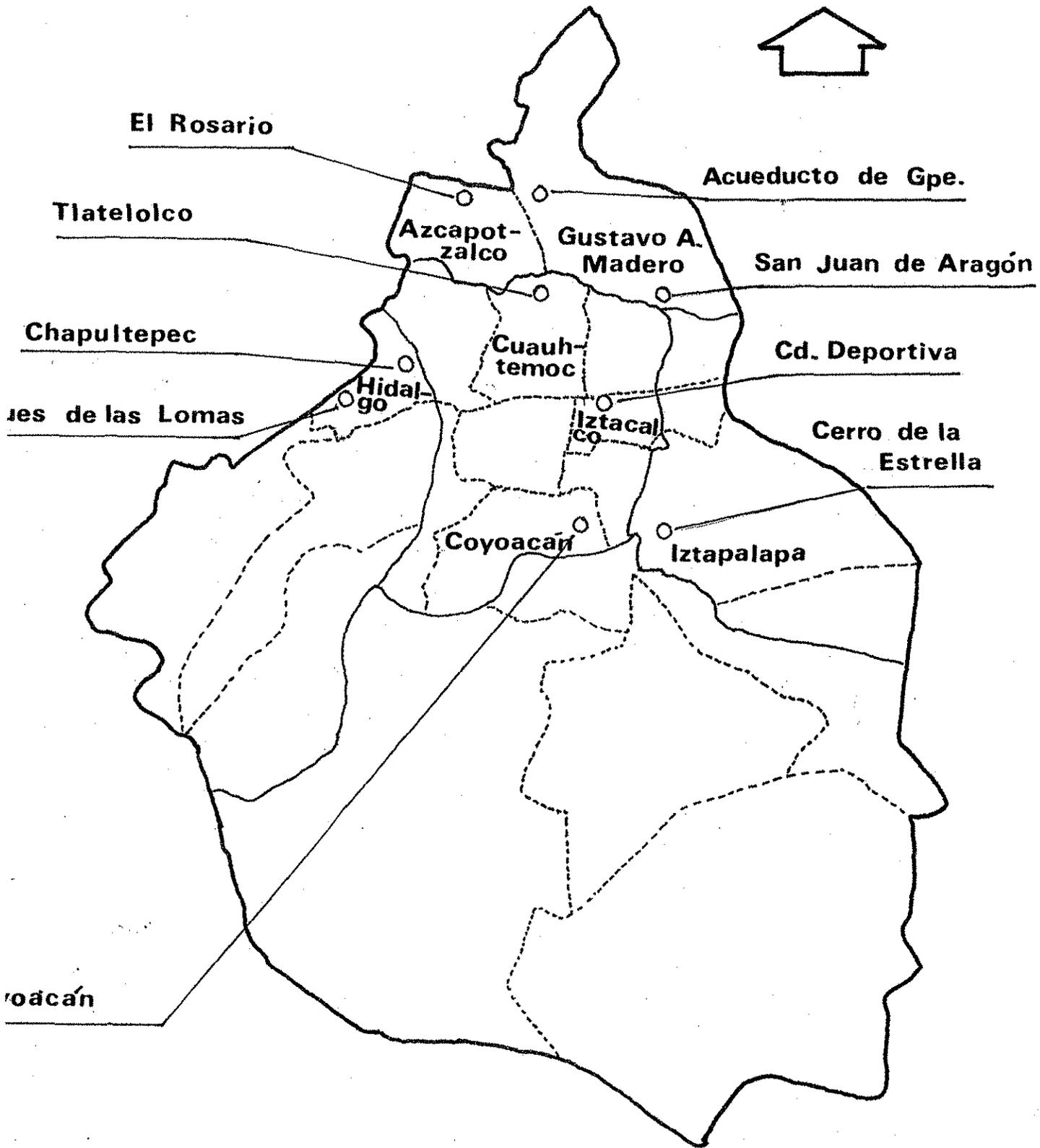


FIGURA 3.1 UBICACION DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES QUE OPERA LA DGCOH., DDF.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

TABLA 3.1 PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES CONSTRUIDAS Y OPERADAS POR LA DIRECCION GENERAL DE CONSTRUCCION Y OPERACION - HIDRAULICA DEL DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL.

No.	NOMBRE DE LA PLANTA	INICIO DE OPERACION	CAPACIDAD INSTALADA (l/s)	NIVEL DE TRATAMIENTO	OBJETIVO
1	CHAPULTEPEC	1956	160	SECUNDARIO (LA)	REUSO
2	CIUDAD DEPORTIVA	1958	230	SECUNDARIO (LA)	REUSO
3	SAN JUAN DE ARAGON	1962	500	SECUNDARIO (LA)	REUSO
4	COYOACAN (ANTES XOCHIMILCO)	1959	1,250	SECUNDARIO (LA)	REUSO
5	CERRO DE LA ESTRELLA	1968	2,000	SECUNDARIO (LA)	REUSO
6	BOSQUES DE LAS LOMAS	1973	55	SECUNDARIO (LA)	CC/REUSO
7	ACUEDUCTO DE GUADALUPE	1974	80	SECUNDARIO (LA)	CC/REUSO
8	EL ROSARIO	1981	22	SECUNDARIO (LA) Y TERCARIO (CA)	CC/REUSO
9	TLATELOLCO		20	SECUNDARIO	CC
TOTAL			4,317		

LA: Lodos activados; CA: Carbón activado; CC: Control de la Contaminación

básicamente domésticas.

Ciudad Deportiva. Está planta fue construída con el mismo objetivo que la de Chapultepec, en este caso para el riego de áreas verdes de la Ciudad Deportiva. En la actualidad su efluente se ha aprovechado también para el riego de áreas verdes de algunas avenidas importantes como: Presidente Plutarco Elías Calles, Ignacio Zaragoza y Río Churubusco.

La planta consta de dos unidades: la No. 1 tiene una capacidad de 80 l/s y la No. 2 de 150 l/s. El agua residual tratada en esta planta tiene características variables incluyendo algunos residuos industriales que han interferido en el tratamiento.

San Juan de Aragón. Se construyó con una capacidad de 500 l/s con el objeto de reusar su efluente para el riego de las áreas verdes y el llenado del lago recreativo de la Unidad habitacional de San Juan de Aragón. Actualmente, la red de distribución del agua tratada para riego, se ha prolongado a varias avenidas incluyendo una interconexión con la red de la planta de Ciudad Deportiva.

Coyoacán (antes Xochimilco). Esta planta se construyó con el propósito de mantener el equilibrio hidrológico del lago de Xochimilco. Consta de dos unidades. En 1958 se construyó la primera etapa con una capacidad de 800 l/s poniéndose en operación en 1959. En 1967 el Departamento del Distrito Federal decidió la construcción de su ampliación para tratar hasta 1,250 l/s.

Cerro de la Estrella. Esta planta fue construida para trabajar con una capacidad de 2,000 l/s. Inicialmente su efluente iba a ser utilizado para irrigación en la

zona sureste del Distrito Federal. En la actualidad se utiliza para el riego de áreas verdes en la Calzada Ignacio Zaragoza y para alimentar los canales de Xochimilco. La planta inició su operación en 1968.

Bosques de las Lomas. Se construyó en 1973 como condición del Departamento del Distrito Federal para la aprobación del Fraccionamiento Bosques de las Lomas. Esta planta es la primera construída en el Distrito Federal para cumplir con lo indicado por el Reglamento para la prevención y Control de la Contaminación del Agua.

La planta se diseñó con el proceso de lodos activados en su variante de "aeración extendida". Su capacidad de diseño es de 55 l/s, y su efluente es aprovechado para irrigación por medio de pipas.

Acueducto de Guadalupe. El Departamento del Distrito Federal por encargo del Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos, construyó en 1974, la planta de tratamiento "Acueducto de Guadalupe" con el objeto de que el fraccionamiento del mismo nombre cumpliera con el Reglamento para la Prevención y Control de la contaminación del Agua. El gasto nominal de diseño es de 80 l/s, y su efluente también puede ser usado en la irrigación.

Esta planta se construyó con digestores anaeróbicos de lodos de alta capacidad, centrífuga para el secado de lodos y un lecho de secado cubierto.

3.2 Niveles de tratamiento

Con el objeto de conocer la situación actual en la operación, el mantenimiento y los caudales tratados recientemente, se realizaron visitas tanto a cada una de las plantas como a las

oficinas encargadas de su control. (4)

A partir de los datos diarios se estimaron los caudales mensuales promedio tratados para 1984 en cada una de las plantas. Ver la Tabla 3.2. Estos resultados se indican gráficamente en el Anexo I.

A partir de los valores presentados en la Tabla 3.2 se obtuvo el caudal diario promedio que es de 1,582 l/s para 1984. Si se compara este valor con la capacidad total de diseño del sistema que es de 4,317 l/s, se observa que solamente se está utilizando el 37% de la capacidad de tratamiento.

3.3 Operación de las plantas

Las plantas trabajan durante todo el año aprovechándose en ocasiones la época de lluvias para dar mantenimiento. En general la operación es deficiente y las principales fallas observadas son las siguientes: (1) En algunas plantas hay unidades que no están trabajando entre otras razones por carecer del equipo electromecánico necesario para su operación; (2) Hay variación en los caudales de entrada que reciben la mayoría de las plantas, principalmente en el horario nocturno, en el que se reducen notablemente esos caudales permitiendo en ocasiones suspender la operación de alguna unidad en aquellas plantas que cuentan con dos unidades de tratamiento; (3) En algunas plantas como Cd. Deportiva, Cerro de la Estrella y Coyoacán, cuyos caudales de entrada están sujetos a determinadas estaciones de bombeo aquellos caudales se suministran en forma irregular; (4) La mayoría de las plantas tienen laboratorios de control, sin embargo,

TABLA 3.2 CAUDALES MENSUALES PROMEDIO TRATADOS EN 1984 EN EL SISTEMA DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES QUE OPERA LA DIRECCION GENERAL DE CONSTRUCCION Y OPERACION HIDRAULICA DEL DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL

	EN.	FEB.	MZO.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AG.	SEPT.	OCT.	NOV.	DIC.	PROM. (l/s)	CAPAC. NOMIN. (l/s)	EFIC. DE PRODUC. %
CHAPULTEPEC	87	111	159	160	155	157	120	120	84	110	120	120	125	160	78
CD. DEPORT.	187	194	200	200	200	200	187	151	165	163	165	165	181	230	79
S. J. ARAGON	178	198	206	184	222	225	225	225	225	225	225	225	214	500	43
COYOACAN	362	352	397	400	400	400	400	337	229	213	211	211	326	1250	26
C. ESTRELLA	604	632	705	911	1171	1197	400	246	149	263	544	517	612	2000	31
BOSQUES	34	40	24	23	25	25	25	25	25	25	25	22	27	55	49
ACUEDUCTO	-	-	50	50	51	60	63	50	54	54	51	72	56	80	70
EL ROSARIO	18	19	22	22	22	22	22	22	22	22	22	21	21	22	95
TLATELOLCO	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	100
PROMEDIO DIARIO													1582	4317	37

Fuente: Datos recolectados por el autor en la Subdirección de Potabilización, Tratamiento y reuso, Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica del Departamento del Distrito Federal.

no tienen un suministro regular de los reactivos necesarios para la determinación de algunos parámetros químicos y biológicos de importancia. Las plantas de Bosques de las Lomas y Tlatelolco no cuentan con instalaciones de laboratorio; (5) El mantenimiento que se realiza actualmente es del tipo correctivo en vez de ser preventivo; (6) Se han presentado asentamientos diferenciales en ciertas unidades de las plantas Coyoacán y San Juan de Aragón que han afectado al proceso de tratamiento principalmente las unidades de sedimentación primaria; (7) Los sistemas de medición de caudales instalados inicialmente (limnigrafos) no trabajan correctamente por lo que no se tiene un control de los volúmenes tratados ni de sus variaciones, y (8) Casi todas las plantas carecen de las unidades e instalaciones necesarias para el tratamiento de lodos por lo que estos son descargados directamente al drenaje. Las plantas Chapultepec y Acueducto de Guadalupe cuentan con instalaciones de tratamiento de lodos pero no operan desde hace tiempo. ⁽⁵⁾

3.4 Aprovechamiento de efluentes

A pesar del reducido caudal de aguas tratadas producido actualmente, estas se han estado aprovechando, previa desinfección (cloración), para el riego de áreas verdes y llenado de lagos recreativos.

Se considera que actualmente se riegan con aguas tratadas 1,019 ha., ⁽²⁾ sin incluir camellones. Entre las zonas favorecidas se encuentran los Bosques de Chapultepec y San Juan de Aragón así como los canales de Xochimilco y un gran número de camellones. En la Tabla 3.3 se resumen los principales usos de los efluentes del sistema de plantas. ⁽⁵⁾

Recientemente, la DGCOH del DDF, tomando en cuenta las fallas que afectan el sistema de plantas, ha decidido estructu-

TABLA 3.3 APROVECHAMIENTO DE LOS EFLUENTES DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES QUE OPERA LA DIRECCION GENERAL DE CONSTRUCCION Y OPERACION HIDRAULICA DEL DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL (5)

PLANTA	USO DE LAS AGUAS TRATADAS O RENOVADAS
CHAPULTEPEC	RIEGO DEL BOSQUE DE CHAPULTEPEC Y LLENADO DE LAGOS Y FUENTES UBICADOS EN EL MISMO BOSQUE
CD. DEPORTIVA	RIEGO DE AREAS VERDES DE LA CIUDAD DEPORTIVA Y DE CAMELLONES EN ALGUNAS AVENIDAS IMPORTANTES
SAN JUAN DE ARAGON	RIEGO DEL BOSQUE DE SN. JUAN DE ARAGON Y LLENADO DEL LAGO UBICADO EN EL MISMO BOSQUE
COYOACAN (ANTES XOCHIMILCO)	REPOSICION DE NIVELES DE LOS CANALES DE XOCHIMILCO Y RIEGO DE LOS VIVEROS UBICADOS EN COYOACAN
CERRO DE LA ESTRELLA	REPOSICION DE NIVELES DE LOS CANALES DE XOCHIMILCO Y RIEGO DE CAMELLONES DE LA CZDA. I. ZARAGOZA
BOSQUES DE LAS LOMAS ACUEDUCTO DE GUADALUPE	RIEGO DE JARDINES Y CAMELLONES POR MEDIO DE PIPAS SE ESTA CONSTRUYENDO LA RED DE DISTRIBUCION DE AGUA TRATADA PARA EL RIEGO DE AREAS VERDES EN EL INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
EL ROSARIO	SE ESTA CONSTRUYENDO LA RED DE DISTRIBUCION DEL AGUA TRATADA PARA SU USO EN EL DEPORTIVO REYNOSA
TLATELOLCO	RIEGO DE JARDINES Y CAMELLONES POR MEDIO DE PIPAS

rar el "Plan Maestro de Tratamiento y Reuso" con la finalidad de programar las acciones necesarias que lleven a hacer de las aguas renovadas una fuente complementaria de suministro a la población y que en términos generales presenta resultados de una serie de posibilidades planteadas para el aprovechamiento de las aguas residuales y los recursos técnicos, económicos, humanos y legales.

4. MUESTREO Y ANALISIS DE LODOS PRIMARIOS Y ACTIVADOS DE EXCESO PRODUCIDOS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES "CHAPULTEPEC"

Hasta ahora en México, la experiencia en el campo del manejo y eliminación de los lodos que se producen en el tratamiento de las aguas residuales es escasa y sus características físicas, químicas y biológicas no han sido aún estudiadas. Con el propósito de conocer en forma preliminar algunas de esas características, se realizaron varios análisis en lodos primarios y activados de exceso de la planta Chapultepec la cual pertenece a la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica (DGCOH) del Departamento del Distrito Federal (DDF). Se piensa realizar posteriormente una caracterización más completa de los lodos de dicha planta así como el estudio de las instalaciones existentes para su tratamiento que actualmente se encuentran sin operar con el fin de proponer a las autoridades competentes un plan para su rehabilitación.

4.1 Muestreo

Se seleccionó la planta "Chapultepec" por tres razones principalmente: (1) las aguas residuales tratadas en esa planta son básicamente de origen doméstico; (2) los lodos producidos no contienen coagulantes químicos ni floculantes que hubieran sido empleados en el tratamiento de las aguas residuales; y (3) la planta ha estado operando con buena eficiencia a lo largo de casi 30 años. El muestreo se realizó diariamente en el período comprendido del 14 de agosto al 13 de septiembre de 1985 procurando extraer las muestras a la misma hora (9:00 a 10:00 hrs. A. M.) con el fin de evitar gran variación en la

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

concentración de sus sólidos. Debido a que la planta - consta de dos módulos, se prefirió tomar las muestras - del módulo 2, ya que su construcción es más reciente y - su equipo electromecánico trabaja en forma adecuada. En la figura 4.1 se presenta un esquema de dicho módulo así como los puntos de muestreo que corresponden a los pozos de visita por donde se descargan al drenaje las purgas - de lodos tanto primarios como activados de exceso ó se--cundarios. Las purgas se efectúan en tres ocasiones du--rante el día (una vez por turno de operadores).

4.2 Análisis

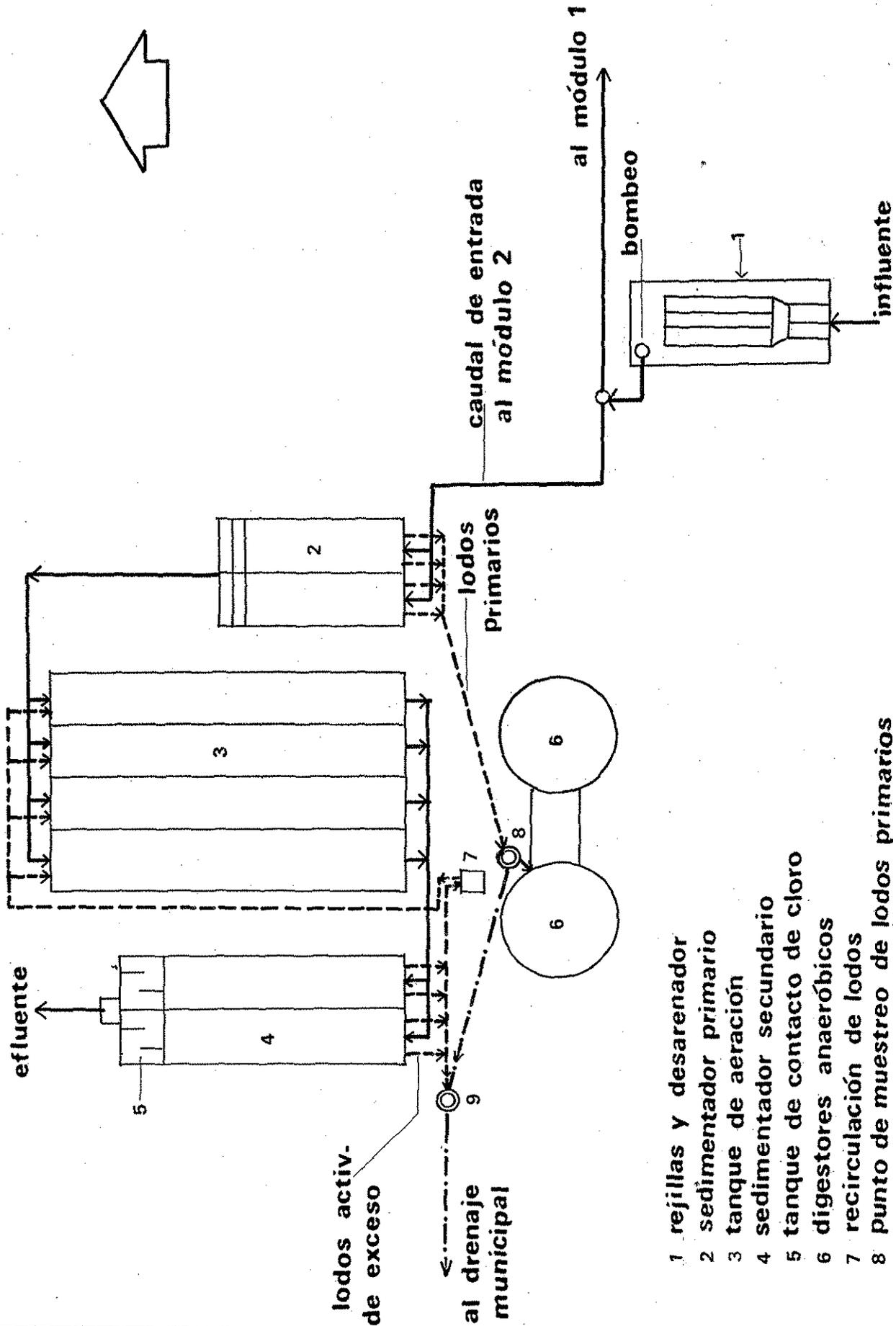
Los parámetros que fueron analizados son los siguientes: pH, sólidos totales (secos), sólidos totales fijos, sólidos totales volátiles, sólidos suspendidos totales, sólidos suspendidos fijos, sólidos suspendidos volátiles, - contenido de humedad, gravedad específica del lodo e índice volumétrico de lodos activados de exceso.

Los análisis se realizaron en el Laboratorio de Ingeniería Ambiental de la División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería (DEPFI), de la UNAM, siguiendo los procedimientos indicados por los Métodos Estandar para el examen de las aguas blancas y las aguas residuales (15a edición).⁽¹⁹⁾ Se debe mencionar que existen además otros parámetros importantes en la caracterización de los lodos, como: el contenido de nutrientes (Nitrógeno, Fósforo y Potasio), el valor calorífico, el contenido de grasas y aceites y la alcalinidad, los cuales por razones de tiempo no fue posible determinar en este trabajo.

4.3 Resultados

Los valores de los parámetros analizados en los lodos -

MIENTO DE AGUAS RESIDUALES "CHAPULTEPEC"



- 1 rejillas y desarenador
- 2 sedimentador primario
- 3 tanque de aeración
- 4 sedimentador secundario
- 5 tanque de contacto de cloro
- 6 digestores anaeróbicos
- 7 recirculación de lodos
- 8 punto de muestreo de lodos primarios
- 9 punto de muestreo de lodos activados en exceso

primarios y activados de exceso se presentan en las Tablas 4.1 y 4.2 respectivamente. Si se comparan estos valores con los registrados en la literatura (6) (7) (8) y (14), Tabla 4.3 se observa lo siguiente:

pH. Los valores promedio obtenidos para los lodos primarios y activados de exceso, se encuentran dentro de los límites indicados en la referencia (6) y (8).

Sólidos totales (ST) secos. Se obtuvieron valores promedio de 0.5 por ciento de sólidos secos para lodos primarios y 0.4 por ciento para lodos activados de exceso. Estos valores son muy bajos con los reportados en la literatura (6) (7) y (14).

Contenido volátil (% de ST). El contenido promedio de materia volátil como porcentaje de sólidos totales secos fue de 58 y 81 por ciento para lodos primarios y activados de exceso respectivamente. Estos valores son ligeramente mayores a los valores típicos registrados en la referencia (6) y (8).

Contenido de humedad (%) Los porcentajes de humedad obtenidos fueron de 99.5 por ciento para lodos primarios y 99.6 por ciento para lodos activados de exceso. En la literatura no se reportan valores de contenido de humedad pero son fácilmente deducibles a partir de la concentración de sólidos totales secos (ST).

Gravedad específica del lodo. Los valores promedio obtenidos fueron de 1.004 para lodos primarios que es igual al registrado en la referencia (14) y de 1.003 para lodos activados de exceso, el cual es ligeramente mayor al indicado en la referencia (14).

TABLA 4.1 VALORES DE PARAMETROS DETERMINADOS EN LODOS PRIMARIOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES "CHAPULTEPEC"

PARAMETRO	FECHA DE MUESTREO												S E P T I E M B R E												MEDIA
	14	15	15	15	19	20	21	22	23	26	27	28	29	30	2	3	4	5	6	9	10	12	13		
PH	6.0	6.3	6.3	6.3	5.3	6.0	6.5	6.6	6.6	6.0	6.4	6.5	6.3	6.6	6.1	6.4	6.2	6.4	6.5	5.4	6.0	6.6	6.2	6.2	
Sólidos Totales (ST) mg/l	2560	1600	3380	5230	1690	1220	5175	3290	10660	3990	4245	6710	4450	7990	3205	4700	4225	2750	5250	12120	4940	4990	4790		
Sólidos Totales Fijos (STF) mg/l	100*	630	250*	1060	1060	420	1100	720	2455	670	475	350	3150	-	-	1190	460	370	210*	2360	440	1160	1063		
Sólidos Totales Volátiles (STV)	2460	970	3130	5170	630	800	4075	2570	8205	3320	3770	6360	1300	-	-	3510	3765	2380	5040	9760	4500	3830	3777		
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	1510	1080	1150	5220	1250	960	4980	2400	9720	3360	3495	5640	4195	5240	2300	3530	3450	1790	4260	11420	3940	3740	3847		
Sólidos Suspendidos Fijos (SSF)	295	480	460	640	830	460	755	440	2100	200	385	440	3230	-	-	610	270	-	1660	-	960	-	836		
Sólidos Suspendidos Volátiles	1215	600	690	4580	420	500	4225	1960	7620	3160	3110	5200	965	-	-	2920	3180	-	9760	-	2780	-	3111		
Humedad (%)	99.7	99.8	99.7	99.4	99.8	99.9	99.5	99.7	98.9	99.6	99.6	99.3	99.6	99.2	99.6	99.5	99.6	99.7	99.5	98.8	99.5	99.5	98.5		
Sólidos Secos (%)	0.3	0.2	0.3	0.6	0.2	0.1	0.5	0.3	1.1	0.4	0.4	0.7	0.4	0.8	0.4	0.4	0.5	0.4	0.5	1.2	0.5	0.5	0.5		
Contenido Volátil (% de ST)	96	61	93	83	37	66	79	78	77	83	89	95	29	-	-	75	89	87	96	81	91	77	78		
Gravedad Específica	1.003	1.002	1.003	1.004	1.003	1.003	1.003	1.006	1.002	1.004	1.003	1.002	1.003	1.006	1.006	1.005	1.003	1.003	1.003	1.005	1.006	1.002	1.004		
DQO/SSV	1.04	1.7	2.5	2.0	-	-	-	4.5	0.6	-	-	1.4	4.9	-	1.9	1.9	2.0	-	-	-	-	-	2.2		

* Valores no empleados en la determinación de la media aritmética

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Tabla 4.2 VALORES DE PARAMETROS DETERMINADOS EN LOS OROS ACTIVADOS DE EXCESO DE LA PLANTA
 DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES "CENPULVERSC"

PARAMETRO	FECHA DE MUESTREO														S E P T I E M B R E														Media	
	14	15	16	19	20	21	22	23	26	27	28	29	30	3	6	7	10	12	12	X										
PH	7.3	7.7	7.6	7.8	8.0	7.4	7.6	7.3	7.0	7.0	7.2	7.1	7.3	7.0	7.4	7.5	7.1	7.4	7.3	7.4										
Sólidos Totales (ST) mg/l	1710	3400	1180	3520	3070	1585	990	6990	7160	4170	1880	1730	2650	5810	2419	7730	2210	6040	11000	7410										
Sólidos Totales Fijos (STF) mg/l	720	-	30*	200	690	260	-	10	1350	-	350	100	710	1360	320	5610	110	1330	710	1740										
Sólidos Totales Volátiles (STV)	990	-	1150	3320	2380	1325	-	6580	5810	-	1530	1130	1940	5450	2090	2120	2100	4710	10290	5570										
Sólidos Suspendedidos Totales (SST)	1180	1040	340*	470	1060	1140	680	600	7060	1320	1670	2340	2340	6440	1710	2920	1560	5600	5680	5360										
Sólidos Suspendedidos Fijos (SSF)	450	250	-	50*	620	-	-	30*	1160	120	70	12*	560	640	70	1640	-	380	540	1120										
Sólidos Suspendedidos Volátiles (SSV)	730	790	-	410	440	-	-	570	5900	1200	1400	880	1880	5600	1640	1280	-	4620	5140	4440										
Humedad (%)	99.5	99.7	99.9	99.7	99.8	99.9	99.9	99.3	99.3	99.6	99.9	99.7	99.7	99.3	99.6	99.4	99.8	99.4	98.9	99.2										
Sólidos Secos (%)	0.5	0.3	0.1	0.3	0.3	0.2	0.1	0.7	0.7	0.4	0.4	0.1	0.3	0.7	0.2	0.6	0.2	0.6	1.1	0.7										
Contenido Volátil (% de ST)	58	-	97	94	78	84	-	94	81	-	81	92	73	83	27	27	95	78	94	77										
Gravedad Específica del lodo	1.003	1.004	1.002	1.002	1.002	1.002	1.002	1.002	1.002	1.002	1.007	1.001	1.006	1.003	1.003	1.003	1.003	1.003	1.001	1.003										
Índice Volumétrico de lodos (IVL)	76	48	235	117	57	110	140	105	138	64	142	140	89	144	126	116	212	178	176	178										
DDO/SSV	1.04	0.8	-	1.4	-	-	-	2.1	-	-	-	3.3	1.01	-	1.2	-	1.2	-	-	-										

* Valores no empleados en la determinación de la media aritmética

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

TABLA 4.3 COMPARACION DE VALORES PROMEDIO DE ALGUNOS PARAMETROS OBTENIDOS EN LOS LODOS DE LA PLANTA "CHAPULTEPEC" - CON LOS REPORTADOS EN LA LITERATURA

LODOS PRIMARIOS

Parámetro	Valor promedio	Valores reportados en la literatura
pH	6.2	5 - 8 ⁽⁶⁾ (8)
ST Sólidos secos (%)	4 (ST) 0.5	2-8 ⁽⁶⁾ , 4-8 ⁽⁷⁾ , 2-5 ⁽¹⁴⁾
Humedad (%)	99.5	
Gravedad específica	1.004	1.02 ⁽⁸⁾ , 1.004 ⁽¹⁴⁾
Contenido volátil (% de ST)	78	60-80 ⁽⁶⁾ , 64-93 ⁽⁸⁾
DQO/SSV	2.2	1-2 ⁽⁸⁾

LODOS ACTIVADOS DE EXCESO

Parámetro	Valor promedio	Valores reportados en la literatura
pH	7.4	6.5-8 ⁽⁸⁾
Sólidos secos (%)	0.4	0.5-1.5 ⁽⁷⁾ , 0.7 ⁽¹⁴⁾
Humedad (%)	99.6	
Gravedad específica	1.003	1.001 ⁽¹⁴⁾
Contenido volátil (%)	81	61-75 ⁽⁸⁾
IVL*	133	50-100 ⁽¹⁰⁾
DQO/SSV	1.5	2.17 ⁽⁸⁾

* INDICE VOLUMETRICO DE LODOS

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Relación DQO/SSV. Se obtuvieron valores de 2.2 para lodos primarios, el cual es alto en relación al indicado en la referencia (8); y de 1.5 para los lodos activados de exceso, valor bajo en relación al indicado en la referencia (8).

Indice volumétrico de lodos (IVL). El valor promedio obtenido para los lodos activados de exceso fue de 133 el cual está fuera del rango indicado por la referencia (10) para lodos con buena sedimentación.

Como se ha mencionado anteriormente, esta serie de análisis se realizó con el fin de conocer en forma preliminar algunas características importantes de los lodos en México.

Entre las observaciones más interesantes destacan las siguientes:

- a) No hubo gran variación en los valores de pH obtenidos para ambos tipos de lodos, manteniendose estos, en los rangos indicados en la Literatura.
- b) Las concentraciones de sólidos totales secos en % fueron bajas, principalmente en lodos primarios. Por ello los valores de contenido de humedad fueron altos.

Las bajas concentraciones de sólidos secos podrían explicarse por dos razones:

- (1) El muestreo se realizó en plena época de lluvias cuando hay mayor dilución en la concentración de los contaminantes que arrastra el caudal de influente; y
- (2) Algún error en la purga de lodos o en la misma operación de los tanques sedimentadores..

- c) Debido a que el contenido volátil (%) en ambos tipos de lodos es ligeramente mayor al registrado en la literatura, este parámetro podría ser de interés para considerar a la incineración como una alternativa para la eliminación definitiva de los lodos.
- d) El valor promedio obtenido del Índice volumétrico de lodos (IVL) en los lodos activados de exceso es mayor del rango que se reporta en la literatura para lodos con buena sedimentación. Por lo tanto los lodos activados de exceso analizados mostraron pobre sedimentabilidad. Esto pudo deberse a alguna anomalía en el proceso biológico de tratamiento.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

5. CUANTIFICACION PRELIMINAR DE LOS LODOS PRODUCIDOS EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA DGCOH, DDF

Para llevar a cabo el tratamiento y eliminación de los lodos que se producen en la depuración de las aguas residuales de una manera efectiva, existen en la literatura diversas operaciones y procesos unitarios (Ver anexo IV). No obstante para poder seleccionar los procesos más adecuados es necesario conocer antes las características y cantidades de lodos a tratar.

Con el propósito de conocer en forma preliminar el volumen de lodos que se producen actualmente en las plantas de tratamiento de aguas residuales de la DGCOH, DDF y que finalmente se descarga a los sistemas de alcantarillado sin recibir un tratamiento previo, se hizo un cálculo aproximado de dicho volumen.

Las plantas de tratamiento mencionadas emplean el proceso de lodos activados y producen lodos primarios y lodos activados de exceso o secundarios.

En la cuantificación de los volúmenes de lodos primarios juegan un papel importante: las características del agua residual a tratar, las características de operación del sedimentador primario, el contenido de humedad y la fracción de sólidos sedimentables. Asimismo, los volúmenes de lodos activados de exceso dependen principalmente de su contenido de humedad y de la fracción seca de los sólidos totales.

A continuación se presenta el procedimiento empleado en la cuantificación preliminar de lodos ilustrando el caso particular de la planta "Chapultepec" perteneciente a

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

ese sistema de plantas que opera la DGCOH. En la Figura 5.1 se muestra un esquema de dicha planta junto con las variables utilizadas en el cálculo. Estas son:

- Q_o : Caudal de aguas residuales del influente, m^3/h
- X_o : Sólidos Suspendidos Totales (SST), kg/h ó mg/l
- S_o : DBO_5 del influente, kg/h ó mg/l
- h : Fracción de DBO no eliminada en el sedimentador primario
- i : Fracción de DBO no eliminada en el tanque de aeración de los lodos activados
- k : Fracción de X_o eliminada en el sedimentador primario
- ΔX : Sólidos netos producidos mediante la acción biológica de los lodos activados
- ΔS : Fracción de DBO eliminada en el sistema de tratamiento biológico = $hS_o - ihS_o = hS_o(1-i)$
- Y : Coeficiente de producción de lodos activados = $\Delta X/\Delta S$
- X_f : Sólidos Suspendidos Totales en el efluente, kg/h

El valor de las variables empleadas para el caso de la planta "Chapultepec" son las siguientes:

- $Q_o = 125 \text{ l/s} = 10,800 \text{ m}^3/\text{d}$ (valor promedio diario).
- $X_o = 210 \text{ mg/l}$ (valor promedio diario en 1985)
- $S_o = 145 \text{ mg/l}$ (" " " " ")
- $h = 0.7$ (valor indicado en las referencias 6 y 7)
- $i = 0.2$ (valor promedio diario en 1985)

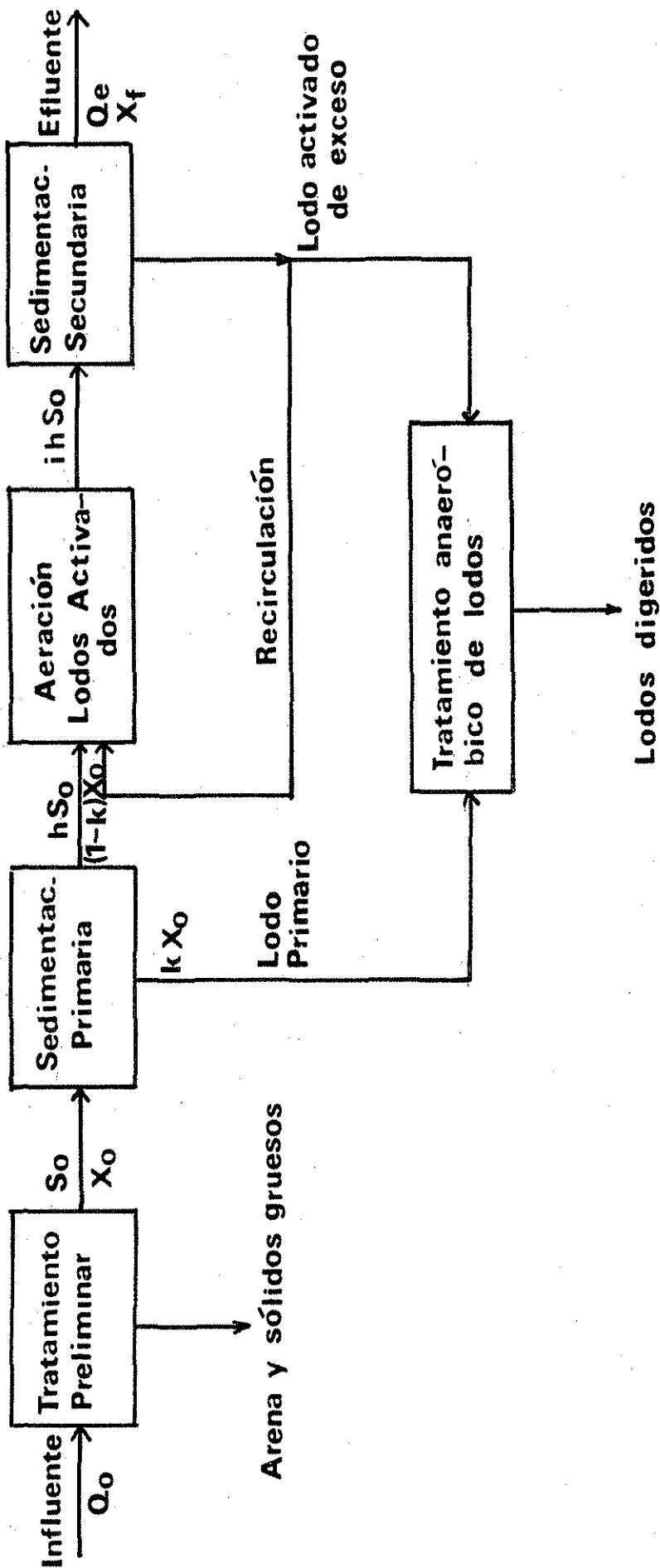


FIGURA 5.1 ESQUEMA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES "CHAPULTEPEC"

$$\begin{aligned}
 k &= 0.6 && \text{(valor promedio diario en 1985)} \\
 X_f &= 40 \text{ mg/l} && \text{(valor promedio diario en 1985)} \\
 Y &= 0.5 && \text{(valor indicado en las referencias 6 y 7)}
 \end{aligned}$$

a) Cálculo del volumen de lodos primarios

$$\begin{aligned}
 \text{Sólidos suspendidos totales en el influente, } X_o &= 0.21 \\
 \text{kg/m}^3 \times 10,800 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} &= 2,268 \text{ kg/d}
 \end{aligned}$$

Eficiencia del sedimentador primario, $k = 0.6$

Si se considera una concentración de sólidos totales del 2 por ciento ⁽⁶⁾ y se supone una gravedad específica igual a la del agua, el volumen de lodos primarios será:

$$\frac{1361 \text{ kg/d}}{0.02} \times \frac{1}{1,000 \text{ kg/m}^3} = 68 \text{ m}^3/\text{d}$$

b) Determinación del volumen de lodos activados de exceso

$$\begin{aligned}
 \text{DBO eliminada, } \Delta S &= hS_o - ihS \\
 &= 0.7 (145) - 0.2 (0.7) (145) \\
 &= 82 \text{ mg/l} \\
 &= 886 \text{ kg/d}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Producción neta de sólidos, } \Delta X &= (\Delta S)Y \\
 &= 886 \text{ kg/d} \times 0.5 \\
 &= 443 \text{ kg/d}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Lodos activados de exceso} &= (1-k)X_o - X_f + \Delta X \\
 &= 0.4 (2,268) - 432 + 443 \\
 &= 918 \text{ kg/d}
 \end{aligned}$$

Si se considera una concentración de sólidos del 1 por ciento (7) y se supone una gravedad específica igual a la del agua, el volumen de lodos activados de exceso será:

$$\frac{918 \text{ kg/d}}{0.01} \times \frac{1}{1,000 \text{ kg/m}^3} = 92 \text{ m}^3/\text{d}$$

c) Volumen total de lodos en la planta "Chapultepec"

Lodos primarios	68 m ³ /d
Lodos activados de exceso	92
Total =	<u>160 m³/d</u>

Los valores de las variables empleadas para la cuantificación preliminar de los lodos producidos en las plan--tas restantes, se presentan en la Tabla 5.4 y debido a que no fue posible tener acceso a los datos reales de -operación en todas las plantas fueron seleccionados de la siguiente manera:

Q_o = Se emplearon los caudales promedio reales de operación para cada planta (ver la Tabla 3.2)

S_o = Los valores empleados en las plantas de Cd. Depor--tiva y Cerro de la Estrella son los indicados en -la referencia (13). En el caso de la planta de -San Juan de Aragón se empleó el mismo valor que el de Cd. Deportiva ya que sus aguas residuales tie--nen características similares. Para las plantas -de Coyoacán, Acueducto de Guadalupe, El Rosario y Tlatelolco, se adoptó el mismo valor que en la -planta Cerro de la Estrella y por último en la -planta Bosques de las Lomas se uso el mismo valor que en la planta de Chapultepec.

TABLA 5.4 VALORES DE LAS VARIABLES EMPLEADAS EN LA CUANTIFICACION PRELIMINAR DE LOS LODOS QUE SE PRODUCEN EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES QUE OPERA LA DIRECCION GENERAL DE CONSTRUCCION Y OPERACION HIDRAULICA DEL DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL

PLANTA DE TRATAMIENTO	Q ₀ (l/s)	S ₀ (mg/l)	X ₀ (mg/l)	h	i	k	X _f (mg/l)	Y	Sólidos (%)	
									Primarios	Activ. de exc.
CHAPULTEPEC	125	145	210	0.7	0.2	0.6	40	0.5	2	1
CIUDAD DEPORTIVA	181	200	290	0.7	0.2	0.6	55	0.5	2	1
SAN JUAN DE ARAGON	214	200	290	0.7	0.2	0.6	55	0.5	2	1
COYOACAN	326	175	254	0.7	0.2	0.6	48	0.5	2	1
CERRO DE LA ESTRELLA	612	175	254	0.7	0.2	0.6	48	0.5	2	1
BOSQUES DE LAS LOMAS	27	145	210	0.7	0.2	0.6	40	0.5	2	1
ACUEDUCTO DE GUADALUPE	56	175	254	0.7	0.2	0.6	48	0.5	2	1
EL ROSARIO	21	175	254	0.7	0.2	0.6	48	0.5	2	1
TLATELOLCO	20	175	254	0.7	0.2	0.6	48	0.5	2	1

SIMBOLOGIA

- Q₀ : Caudal de entrada a la planta (mg/l)
 S₀ : DBO₅ del influente, mg/l
 X₀ : Sólidos suspendidos totales en el influente (mg/l)
 h : Fracción de DBO no eliminada en el sedimentador primario
 i : Fracción de DBO no removida en el proceso de lodos activados
 k : Fracción de X removida en el sedimentador primario
 X_f : Sólidos suspendidos totales (SST) en el efluente (mg/l)
 Y : Coeficiente de producción de lodos activados

X_0 = A partir del valor promedio diario real de la planta Chapultepec y empleando además los correspondientes valores de S_0 , fueron interpolados los valores de X_0 para las demás plantas de la siguiente manera:

Chapultepec, para un valor de $S_0 = 145$ mg/l,
 $X_0 = 210$ mg/l

Cd. Deportiva para un valor de $S_0 = 200$ mg/l,
 $X_0 = x$

De donde $x = X_0$ de Cd. Deportiva = $\frac{200 \times 210}{145} =$
 $= 290$ mg/l

X_f = Los valores de este parámetro fueron interpolados a partir del valor promedio diario real de la planta Chapultepec, de la misma manera que se hizo para X_0 .

h = Se empleó el valor registrado en las referencias 6 y 8

i = Se adoptó para las demás plantas el valor promedio diario de 1985 de la planta de Chapultepec

k = Se adoptó para las demás plantas el valor promedio diario de 1985 de la planta de Chapultepec

Y = Se empleó el valor indicado en las referencias 6 y 7.

En las Tablas 5.5 y 5.6 se presentan las cantidades preliminares de lodos calculadas en peso de sólidos secos (kg/d) así como sus respectivos volúmenes.

TABLA 5.5 CANTIDADES PRELIMINARES DE LODOS PRODUCIDOS EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES QUE OPERA LA DIRECCION GENERAL DE CONSTRUCCION Y OPERACION HIDRAULICA DEL DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL

PLANTA DE TRATAMIENTO	LODOS PRIMARIOS (kg/d)	LODOS ACTIVADOS DE EXCESO (kg/d)	TOTAL POR PLANTA (kg/d)
CHAPULTEPEC	1,361	918	2,279
CIUDAD DEPORTIVA	2,721	1,830	4,551
SAN JUAN DE ARAGON	3,217	2,163	5,380
COYOACAN	4,292	2,890	7,182
CERRO DE LA ESTRELLA	8,060	5,425	13,485
BOSQUES DE LAS LOMAS	-	199	199
ACUEDUCTO DE GUADALUPE	738	497	1,235
EL ROSARIO	280	186	466
TLATELOLCO	264	178	442
TOTAL	20,933	14,286	35,219

TABLA 5.6 VOLUMENES PRELIMINARES DE LODOS PRODUCIDOS EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA DIRECCION GENERAL DE CONSTRUCCION Y OPERACION HIDRAULICA DEL DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL EN 1985.

PLANTA DE TRATAMIENTO	LODOS PRIMARIOS (m ³ /d)	LODOS ACT. m ³ /d	TOTAL POR PLANTA (m ³ /d)
CHAPULTEPEC	68	92	160
CIUDAD DEPORTIVA	137	183	320
SAN JUAN DE ARAGON	161	216	377
COYOACAN	215	289	504
CERRO DE LA ESTRELLA	403	543	946
BOSQUES DE LAS LOMAS	-	20	20
ACUEDUCTO DE GUADALUPE	37	50	87
EL ROSARIO	14	19	33
TLATELOLCO	13	18	31
TOTAL	1,048	1,430	2,478

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Como resultado del análisis preliminar de lodos de la planta Chapultepec, así como de la operación y el manejo actual de lodos en el sistema de plantas de tratamiento de aguas residuales que opera la DGCOH, DDF, se derivan las siguientes conclusiones y recomendaciones:

CONCLUSIONES

- (1) Los lodos primarios y secundarios analizados en la planta Chapultepec mostraron altos porcentajes de hmedad.
- (2) Los porcentajes de sólidos totales obtenidos en los lodos primarios y secundarios analizados fueron de 0.5 y 0.4% respectivamente, los cuales son bajos comparados con los registrados en la literatura. No obstante, sus contenidos de materia volátil fueron ligeramente mayores a los indicados en la literatura.
- (3) La masa de lodos calculada en forma preliminar que se produce en las nueve plantas de tratamiento de aguas residuales de la DGCOH, DDF, fue de 20,833 kg/d para lodos primarios y de 14,286 kg/d para lodos secundarios. Es decir se obtuvo una masa total de 35,219 kg/d.
- (4) En todas las plantas, los lodos, tanto primarios como secundarios, se descargan sin tratamiento previo al sistema de drenaje municipal. Esta situación viola las disposiciones del Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación del Agua,

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

- (5) A pesar de que las plantas de Chapultepec y Acueducto de Guadalupe, cuentan con instalaciones para el tratamiento de sus lodos, estas se encuentran abandonadas. Se piensa que ello obedece a tres razones principalmente:
- 5.1 Falta de personal capacitado para operarlas.
 - 5.2 Fallas en el equipo electromecánico y problemas de importación de partes y refacciones.
 - 5.3 Escaso interés o ignorancia por parte de las autoridades que se encuentran en niveles altos de decisión.
- (6) Actualmente no existe información disponible sobre las características de los lodos en ninguna de las plantas de la DGCOH, DDF.

RECOMENDACIONES

- (1) Dado que es difícil que se tomen medidas de solución a corto plazo en el tratamiento y eliminación de los lodos de las plantas de la DGCOH, DDF, debido a problemas económicos y de disposición de recursos humanos capacitados, se recomiendan:
- 1.1 Soluciones a corto plazo: efectuar un estudio en caminado a rehabilitar las instalaciones existentes para el tratamiento de lodos en las plantas de Chapultepec y Acueducto de Guadalupe; la caracterización de los lodos y la determinación de parámetros de diseño para la elección de las mejores alternativas de solución en las demás plantas.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

1.2 Soluciones a largo plazo. Implantación de los procesos más adecuados para la solución de la problemática que representa el vertido de lodos sin tratamiento previo a los sistemas de drenaje municipal.

- (2) En la búsqueda de los procesos más adecuados, se recomienda el aprovechamiento de los estudios realizados por la Subdirección de Desarrollo Tecnológico de la misma DGCOH, así como de las experiencias en el tratamiento de lodos de otras plantas como es el caso del Primer Distrito de Control de la Contaminación ubicado en la Ciudad Industrial del Valle de Cuernavaca (CIVAC).
- (3) Se sugiere considerar el uso de espesadores de lodos por gravedad antes de digerirlos o deshidratarlos con el objeto de reducir su volumen y optimizar el costo de los procesos subsecuentes. Asimismo, se sugiere considerar la digestión anaeróbica para la estabilización de los lodos debido a que sus costos de operación no son muy elevados y, además, el gas metano producido se aprovecharía para el mezclado y calentamiento de los lodos a digerir y posiblemente para incinerar otros residuos sólidos.
- (4) En la eliminación de los lodos digeridos o deshidratados algunas alternativas que se sugiere considerar son: (a) Su empleo como adicionador de suelos en áreas determinadas de los Bosques de Chapultepec San Juan de Aragón o Ciudad Deportiva y principalmente en los terrenos semidesérticos del ex-lago de Texcoco que forman parte del Proyecto Texcoco; (b)

La mezcla de lodos deshidratados de la planta de - San Juan de Aragón con residuos sólidos municipa-- les para estudiar su composteo en la planta indus-- trializadora de basura que se encuentra en las pro-- ximidades de esa zona; y (c) Estudiar la incinera-- ción de mezclas de lodos deshidratados (sin dige-- rir) con residuos sólidos municipales para conocer condiciones posibles de co-incineración, aprove--- chando las dos plantas que actualmente construye - el Departamento del Distrito Federal para incine-- rar residuos sólidos de hospitales.

7. REFERENCIAS Y OBRAS CONSULTADAS

REFERENCIAS

- (1) CRUICKSHANK GARCIA, Gerardo. "Proyecto Texcoco" En IV - Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, - Morelia, Mich., oct. 1984. 680-684
- (2) DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL, DIRECCION GENERAL DE CONSTRUCCION Y OPERACION HIDRAULICA. Plan Maestro de Tratamiento y Reuso. México, D.D.F., sep. 1982
- (3) DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL, DIRECCION GENERAL DE OBRAS HIDRAULICAS. Diversos reportes de plantas de tratamiento de aguas residuales. México, D.D.F., 1971-1978.
- (4) DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL, DIRECCION GENERAL DE CONSTRUCCION Y OPERACION HIDRAULICA, SUBDIRECCION DE POTABILIZACION, TRATAMIENTO Y REUSO. Acceso a datos de -- plantas de tratamiento de aguas residuales. México, D.D.F. ago. 1985.
- (5) VISITAS PERSONALES DEL AUTOR A LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES QUE OPERA LA DIRECCION GENERAL DE CONSTRUCCION Y OPERACION HIDRAULICA DEL DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL. México, D.D.F., may. 1985
- (6) METCALF AND EDDY. Wastewater Engineering; Treatment-Disposal and Reuse. 2nd. edition New York, Mc-Graw-Hill, 1979.
- (7) VESILIND, P.A. Treatment and Disposal of Wastewater Sludges Ann Arbor Michigan, Ann Arbor, 1979.
- (8) MUNICIPAL ENVIROMENTAL RESEARCH LABORATORY. Process Design Manual-Sludge Treatment and Disposal. Cincinnati, Ohio, - United States Enviromental Protection Agency, Sep. 1979. 1119 pag., EUA 45268, EPA. 625/1-79-011.

- (9) MOHLMAN, F.W. "The Sludge Index" En Sewage Works Journal, 1934. 6:1
- (10) FAIR, M.G., GEYER, J.CH., OKUN, D.A. Purificación de Aguas y Tratamiento y Remoción de Aguas Residuales. México, Limusa, 1981. V.II
- (11) RUDOLFS, W. "Fertilizer and Fertility Value of Sewage Sludge" En Water Sewage Works, 1940, 87:12.
- (12) RANDALL, W.C., TURPIN, K.J. and KING, H.P. "Activated Sludge Dewatering Factors Affecting Drainability" En Journal Water Pollution Control Federation, 1971, 43:1
- (13) LABORATORIOS ABC. "Evaluación de daños a la salud por el uso de aguas renovadas". México, Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica, D.D.F., 1981. V.II.
- (14) IMHOFF, K., FAIR, M.G. and MOORE, E.W. Sewage Treatment. New York, London, Wiley, 1947.
- (15) SUNDSTROM W.D. and KLEI, E.H. Wastewater Treatment. Englewood Cliffs, N.J. Prentice-Hall, 1979.
- (16) BENEFIELD, D.L. and RANDALL, W.C. Biological Process Design for Wastewater Treatment. Englewood Cliffs, N.J. Prentice-Hall, 1980.
- (17) PAULSRUD, B., and EIKUM, A.S. "Lime Stabilization of Sewage Sludges" En Water Res., 1975. 9: 297
- (18) OFFICE OF TECHNOLOGY TRANSFER. Process Design Manual for Sludge Treatment and Disposal. Washington, D.C., United States Environmental Protection Agency, 1974.
- (19) APHA, AWWA, WPCF. "Standar Methods for the Examination of Water and Wastewater. 15th Edition. Washington, D.C. 1980.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

OBRAS CONSULTADAS

- ATHIE LAMBARRI, Mauricio. Water Quality Management on CIVAC, Mor. Glasgow, Scotland, M. Athie, 1978. 163 p. Thesis (Master of Science), University of StratchClyde, Department of Civil Engineering, Public Health Division.
- CERVANTES, V.E. y LOPEZ, M.V. "Tratamiento de lodos residuales por medio de digestión aeróbica" En IV Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Morelia, Mich. oct. 1984. 246-252.
- ESPINO, D.E. y VALLES, M.V. "Tratamiento de lodos primarios y su relación con la concentración de sólidos suspendidos en el influente" En IV Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Morelia, Mich. oct. 1984. 44-49
- JONGUITUD, F.V. "Aplicaciones de la digestión aeróbica de lodos de desecho" En IV Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Morelia, Mich. oct. 1984. 260-267
- LOPEZ, G.P. Filtrabilidad de lodos digeridos aeróbicamente México, P. López, 1981. 84 p. Tesis (Maestría en Ingeniería Ambiental), UNAM., Facultad de Ingeniería, División de Estudios de Posgrado.
- TEJADA, G.W. Capacidad de incineración de lodos de tratamiento biológico por incineradores existentes de basuras. México, W. Tejada. 1985. 84 p. Tesis (Maestría en Ingeniería Ambiental), UNAM., Facultad de Ingeniería, División de Estudios de Posgrado.
- YAÑEZ, F. "Bibliografía sobre costos de plantas de tratamiento de aguas residuales y tratabilidad de desechos en plantas piloto", Comunicación técnica 450 del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Lima, Perú, C.E.P.I.S., jul. 1979. 6p.

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

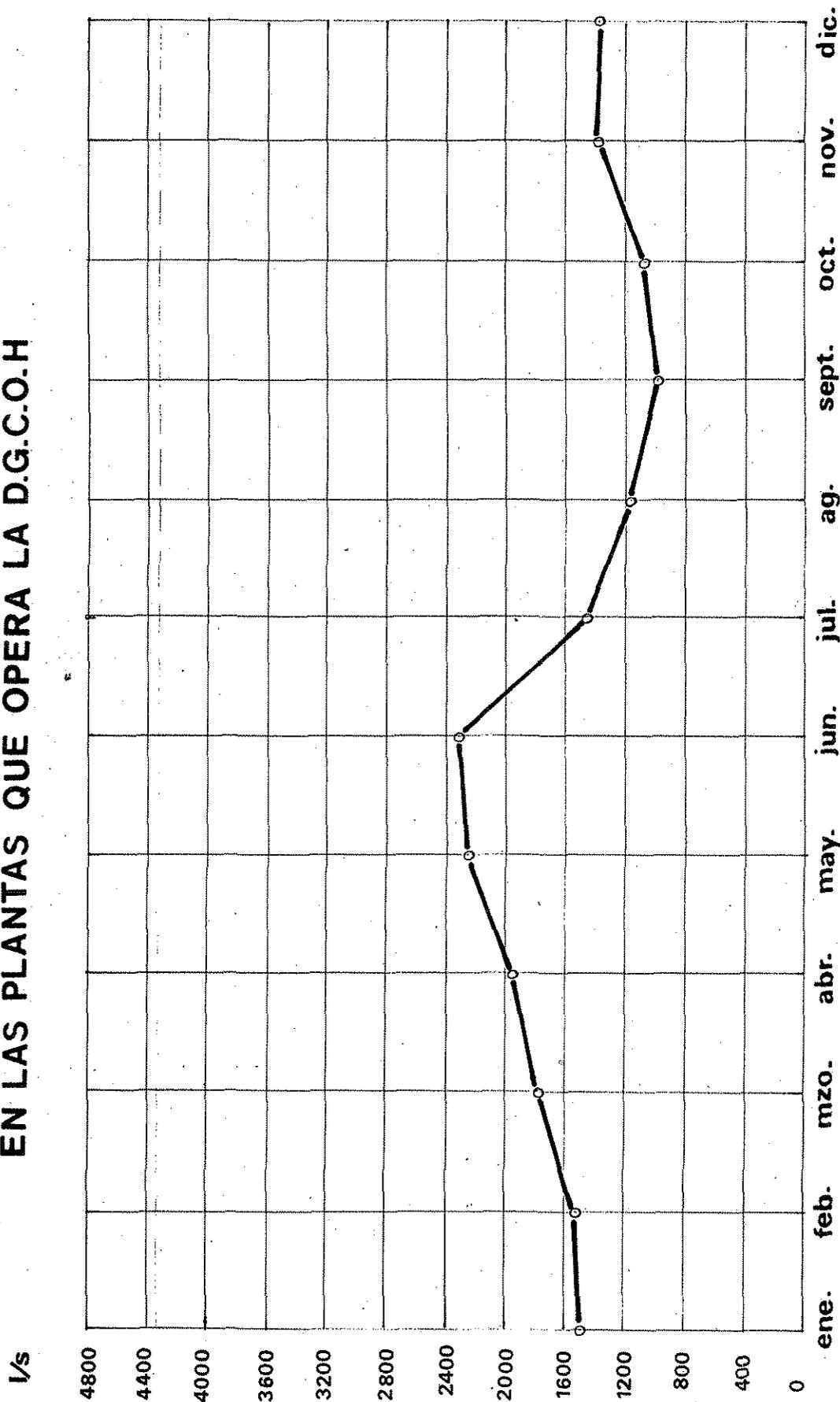
8. ANEXOS

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

ANEXO I: GRAFICAS DE CAUDALES MENSUALES PROMEDIO
DE AGUAS RESIDUALES TRATADAS EN LAS -
PLANTAS QUE OPERA LA DGCOH, DDF.

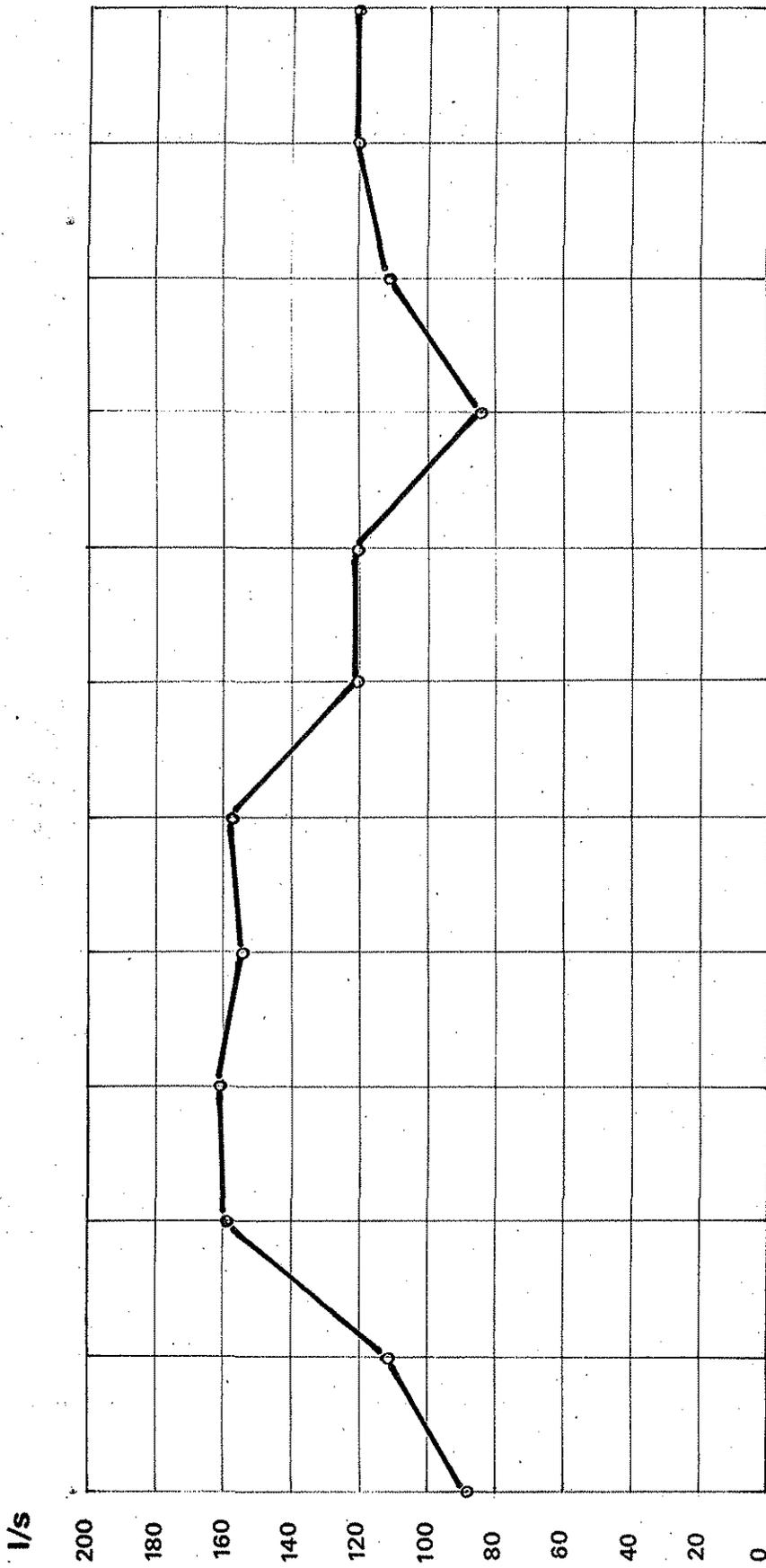
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

**CAUDALES MENSUALES PROMEDIO TRATADOS EN 1984
EN LAS PLANTAS QUE OPERA LA D.G.C.O.H**



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CHAPULTEPEC



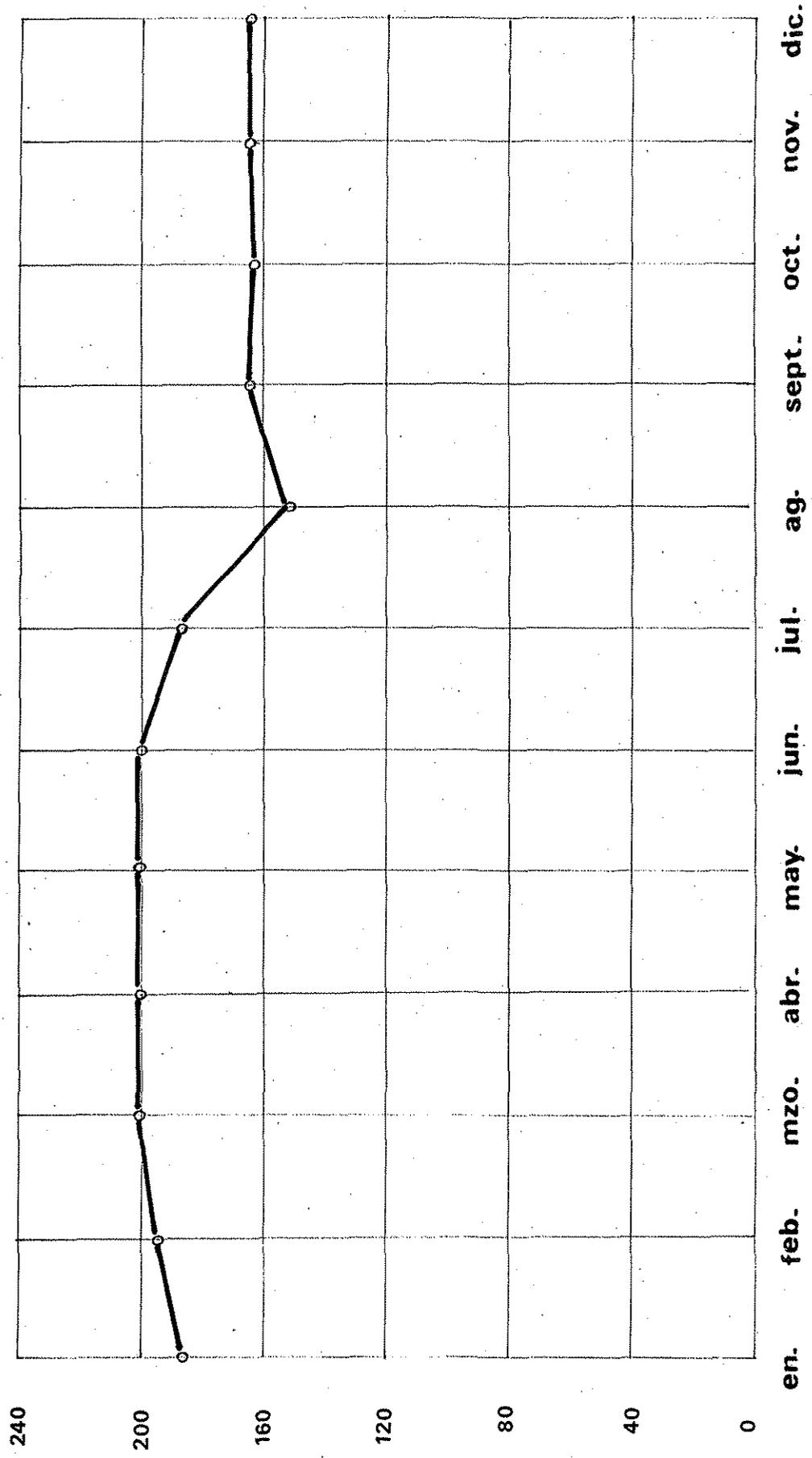
enero febrero marzo abril mayo junio julio agosto septiembre octubre nov. dic.

1984

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CD. DEPORTIVA

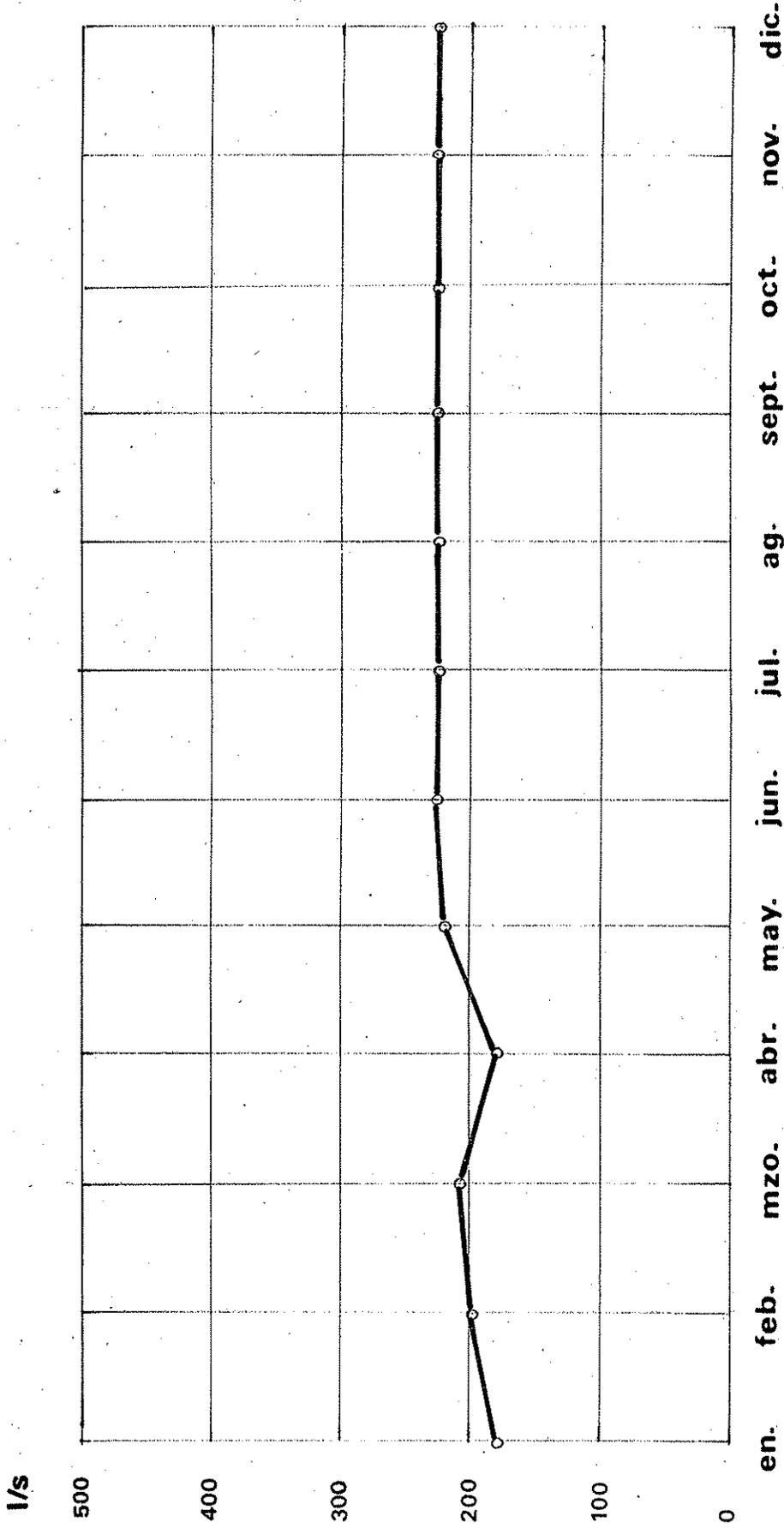
l/s



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

1984

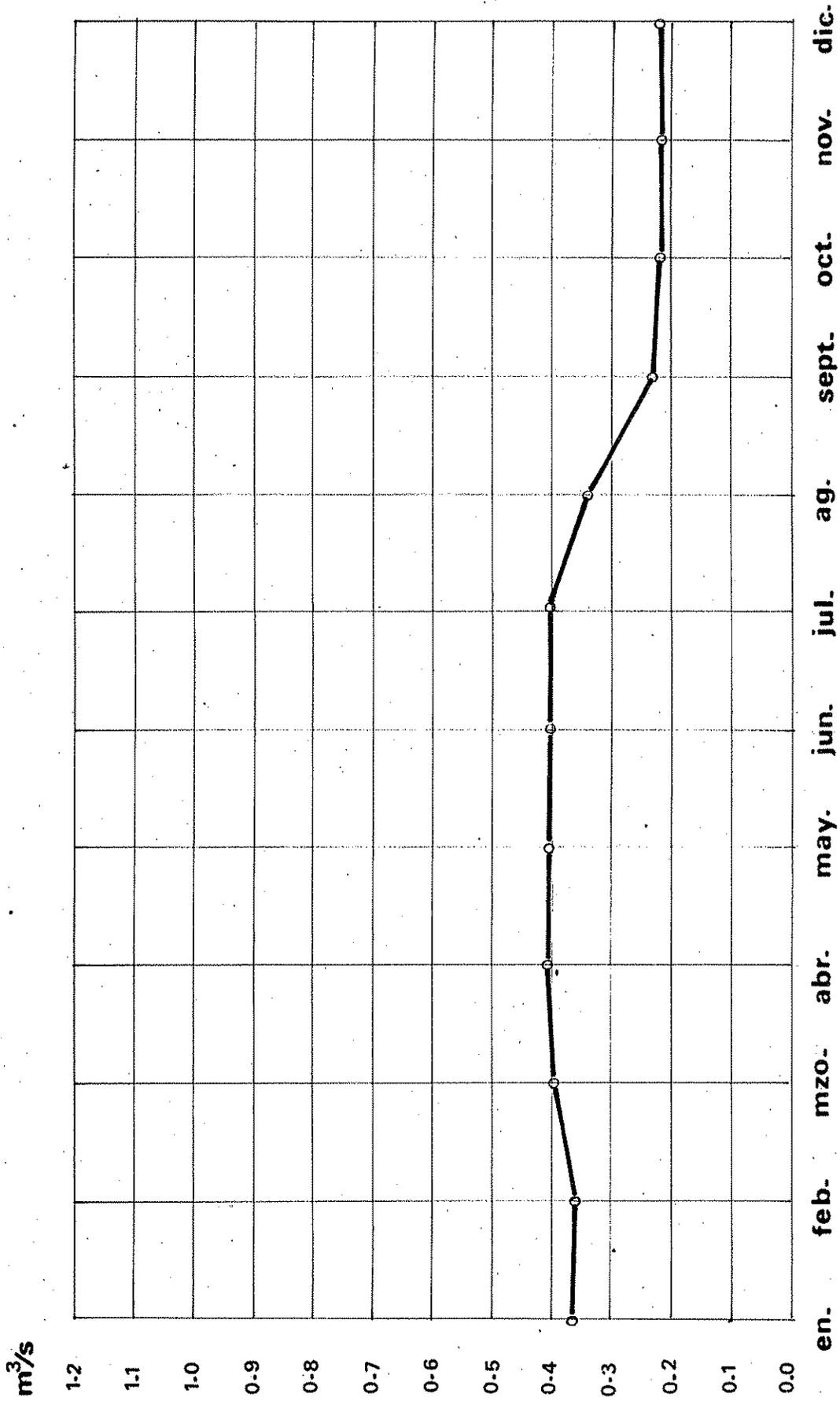
SAN JUAN DE ARAGON



1984

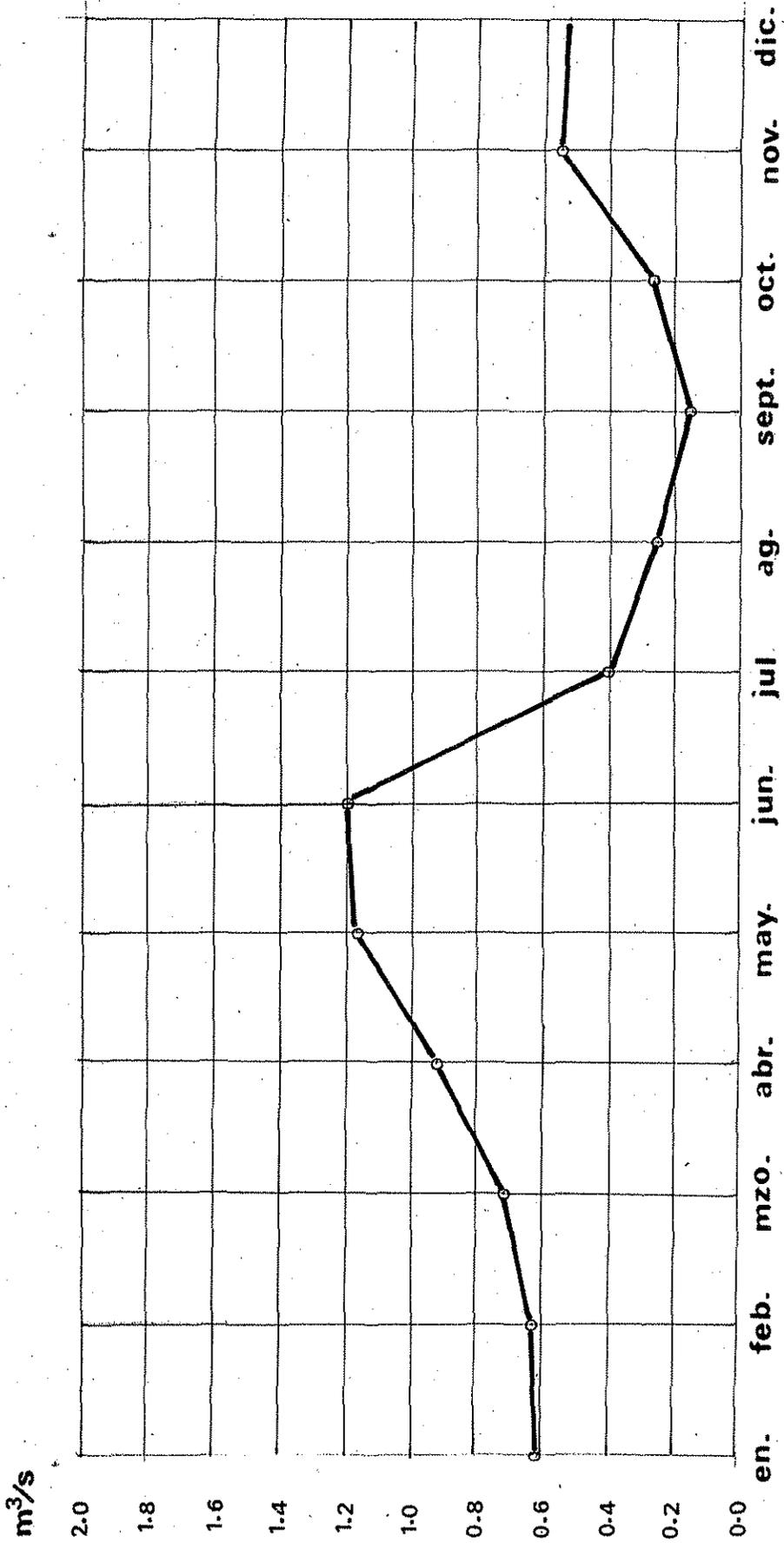
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

COYOACAN



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

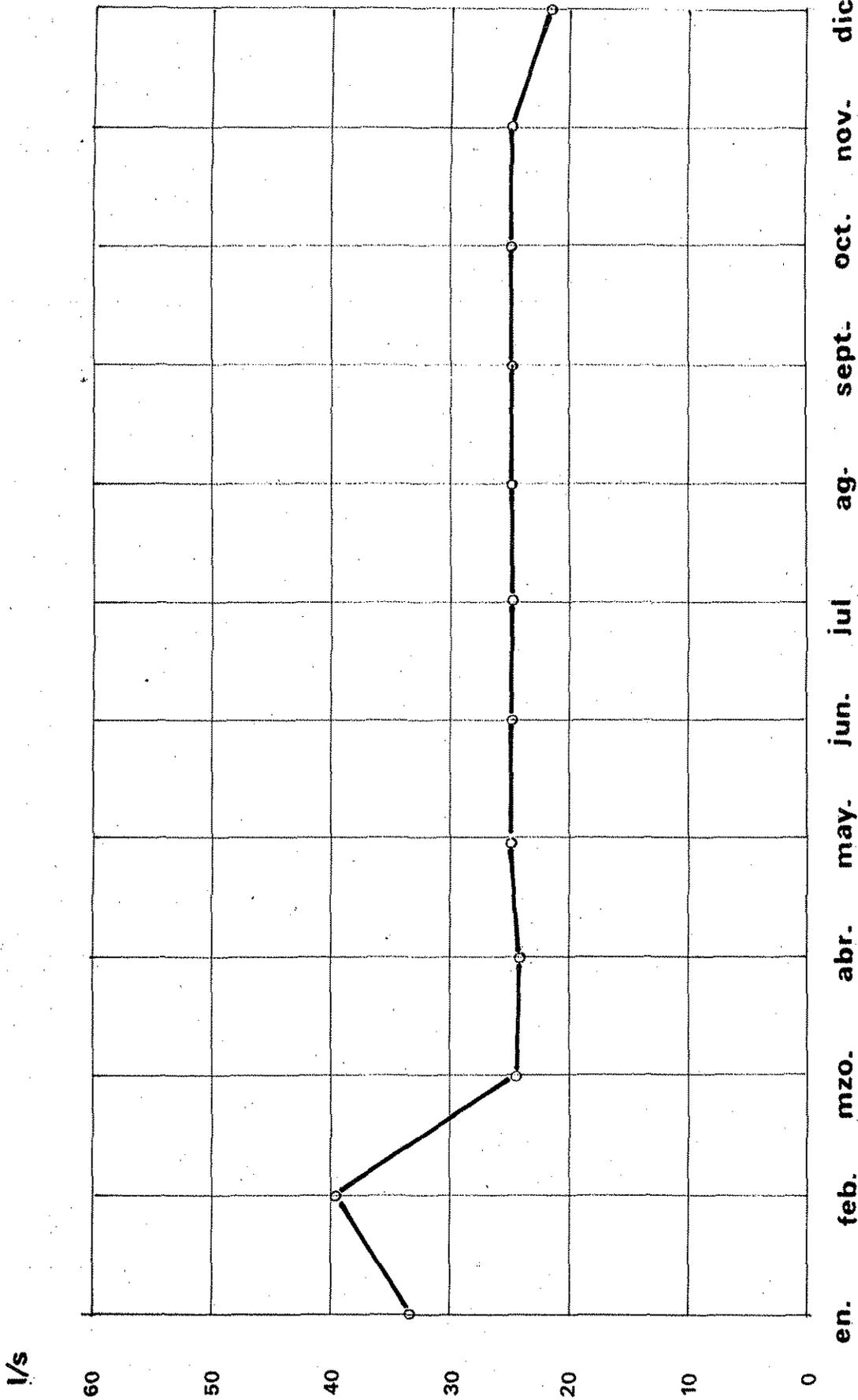
CERRO DE LA ESTRELLA



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

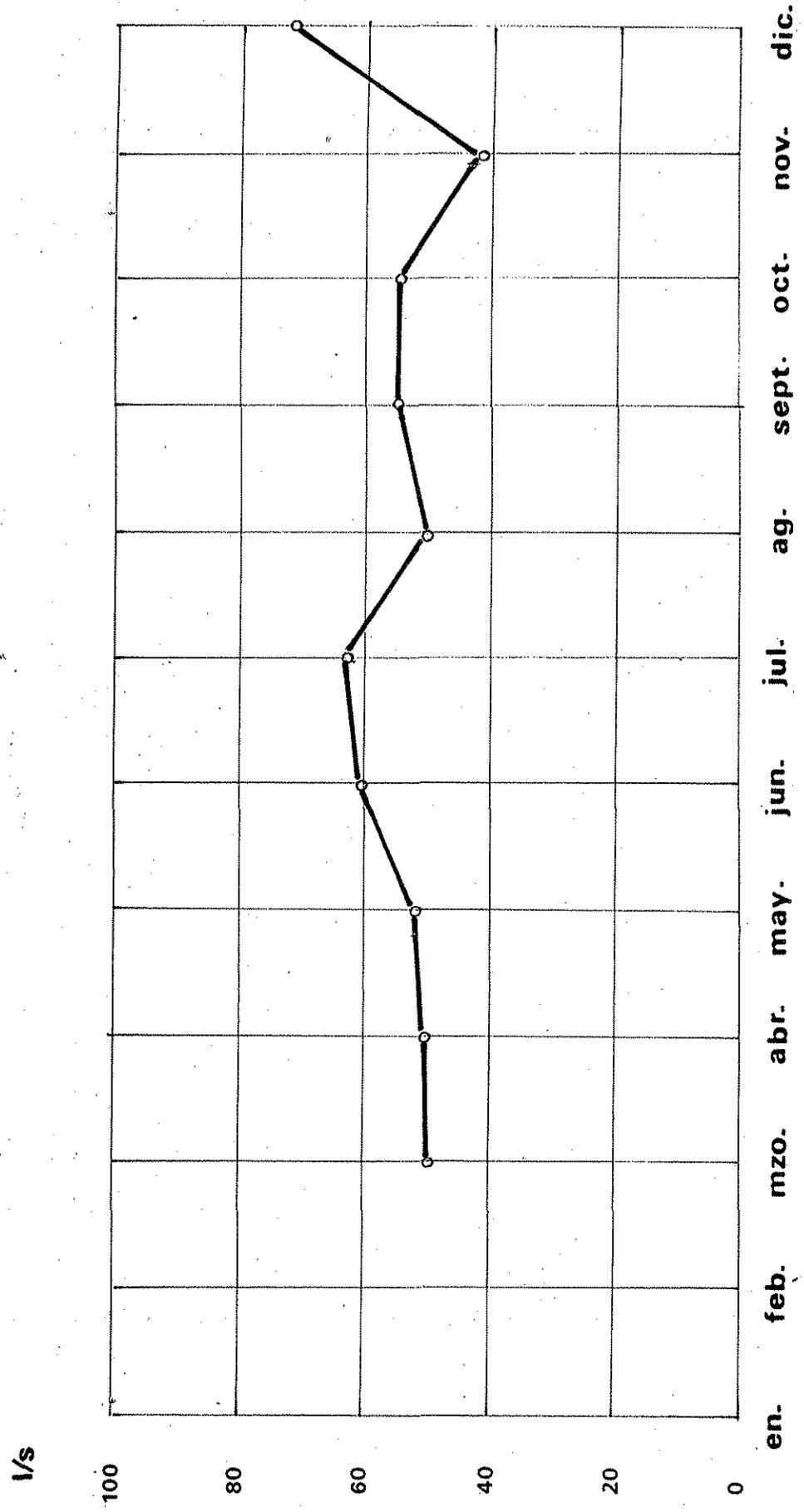
1984

BOSQUES DE LAS LOMAS



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

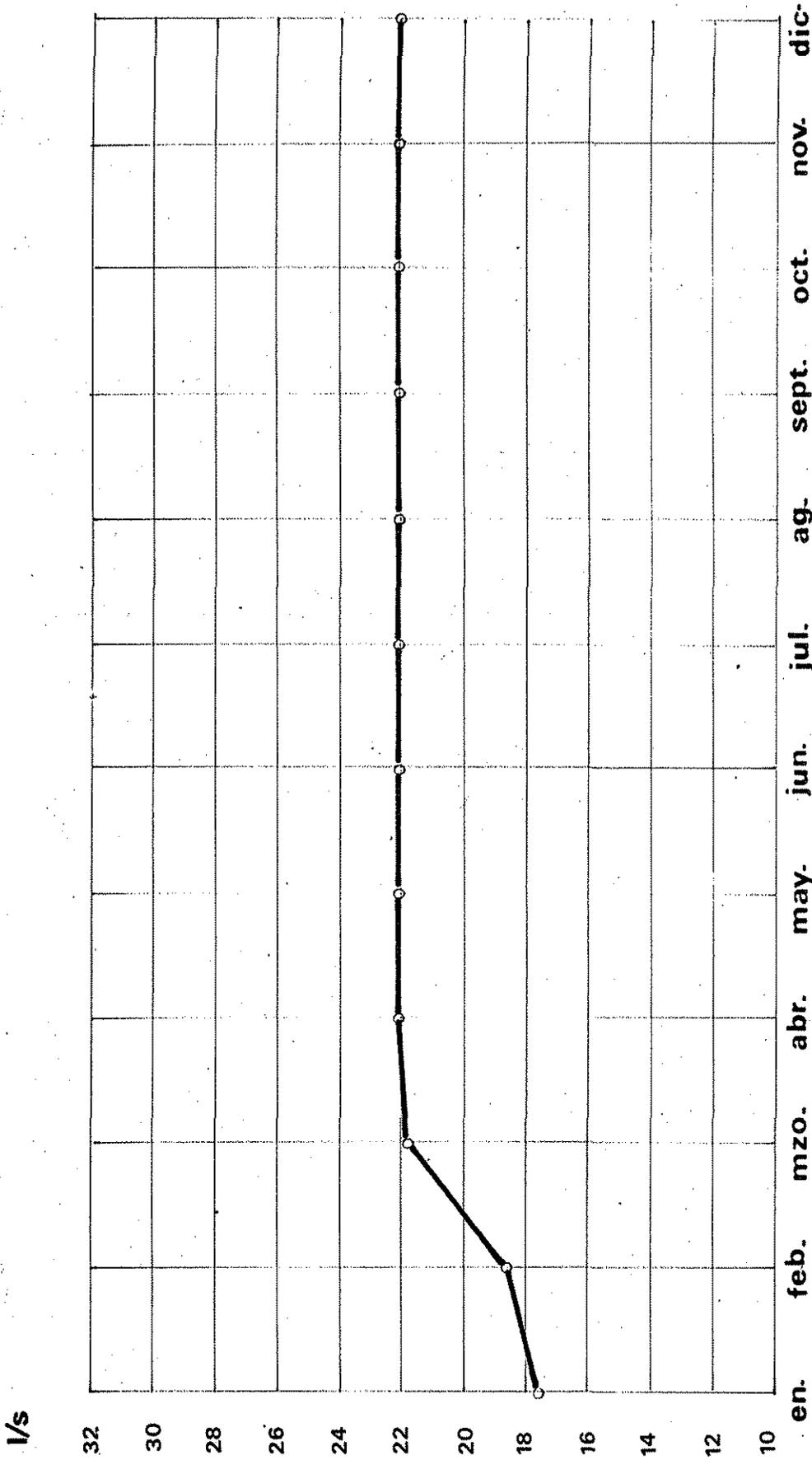
ACUEDUCTO DE GUADALUPE



1984

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

EL ROSARIO

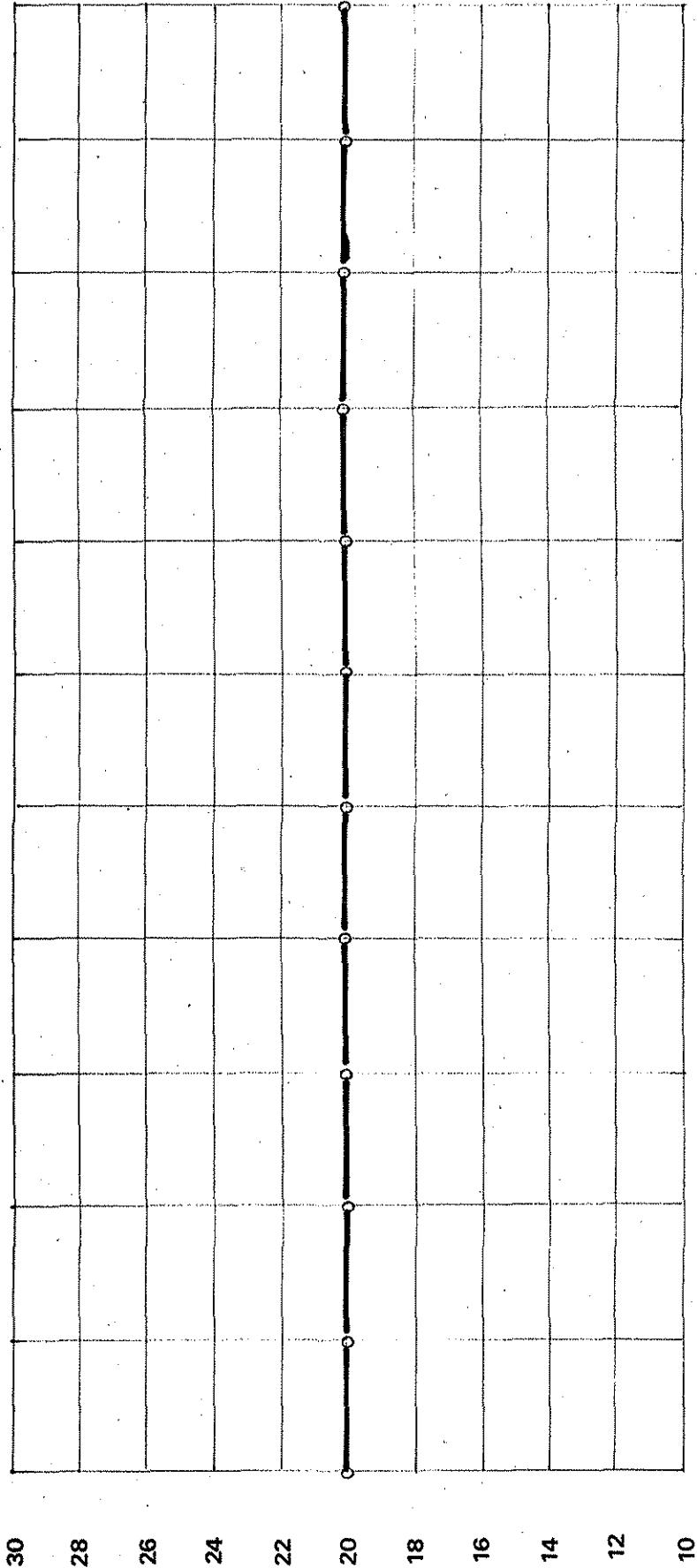


TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

1984

TLATELOLCO

l/s



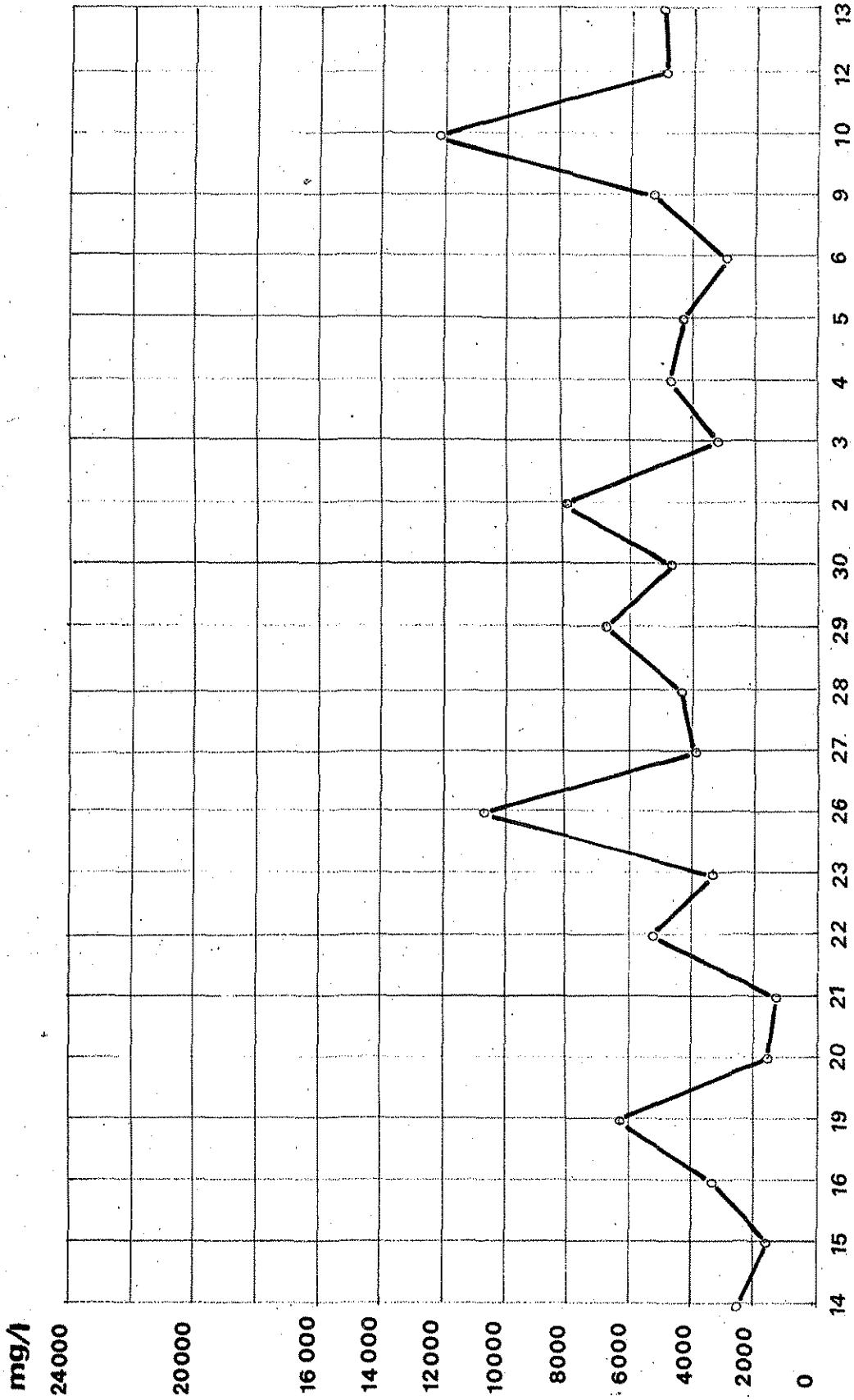
en. feb. mzo. abr. may. jun. jul. ago. sept. oct. nov. dic.

1984

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

ANEXO II: GRAFICAS DE VALORES DE PARAMETROS ANALIZADOS EN LOS LODOS - DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO - "CHAPULTEPEC"

SOLIDOS TOTALES EN LODOS PRIMARIOS (L.P.)

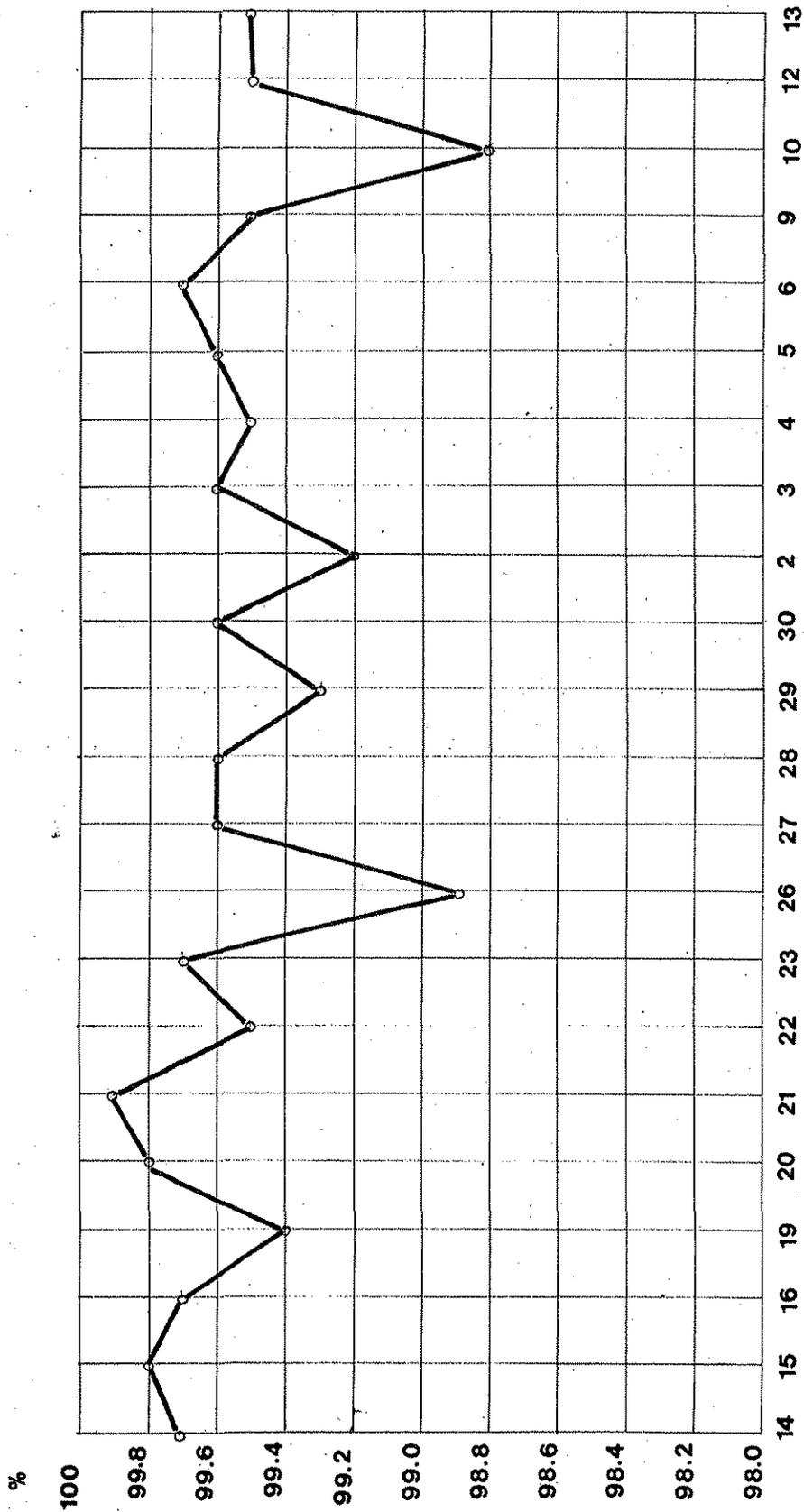


TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

agosto ← → septiembre

1985

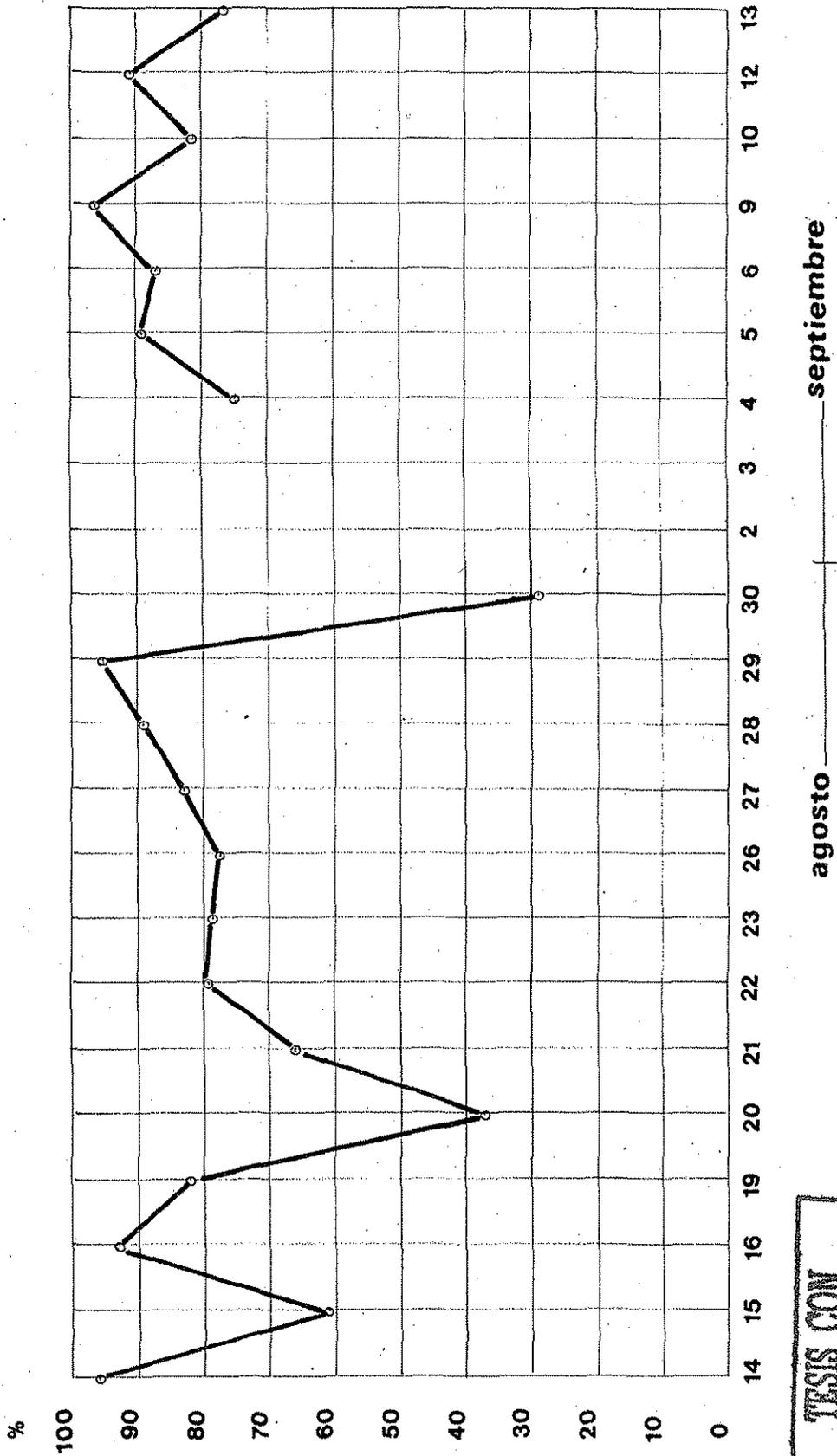
CONTENIDO DE HUMEDAD EN L.P.



agosto ← → septiembre

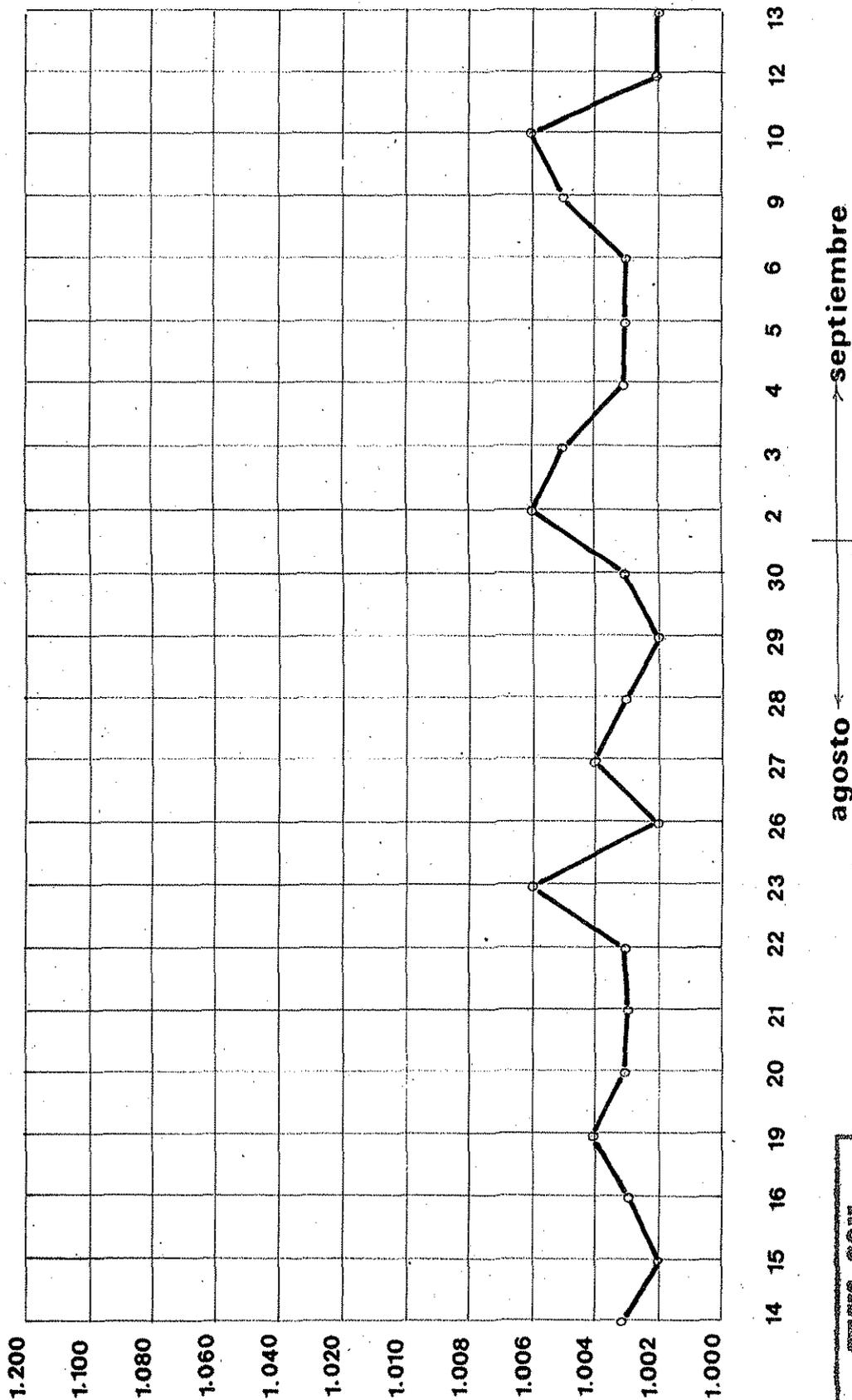
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CONTENIDO VOLATIL EN L.P.



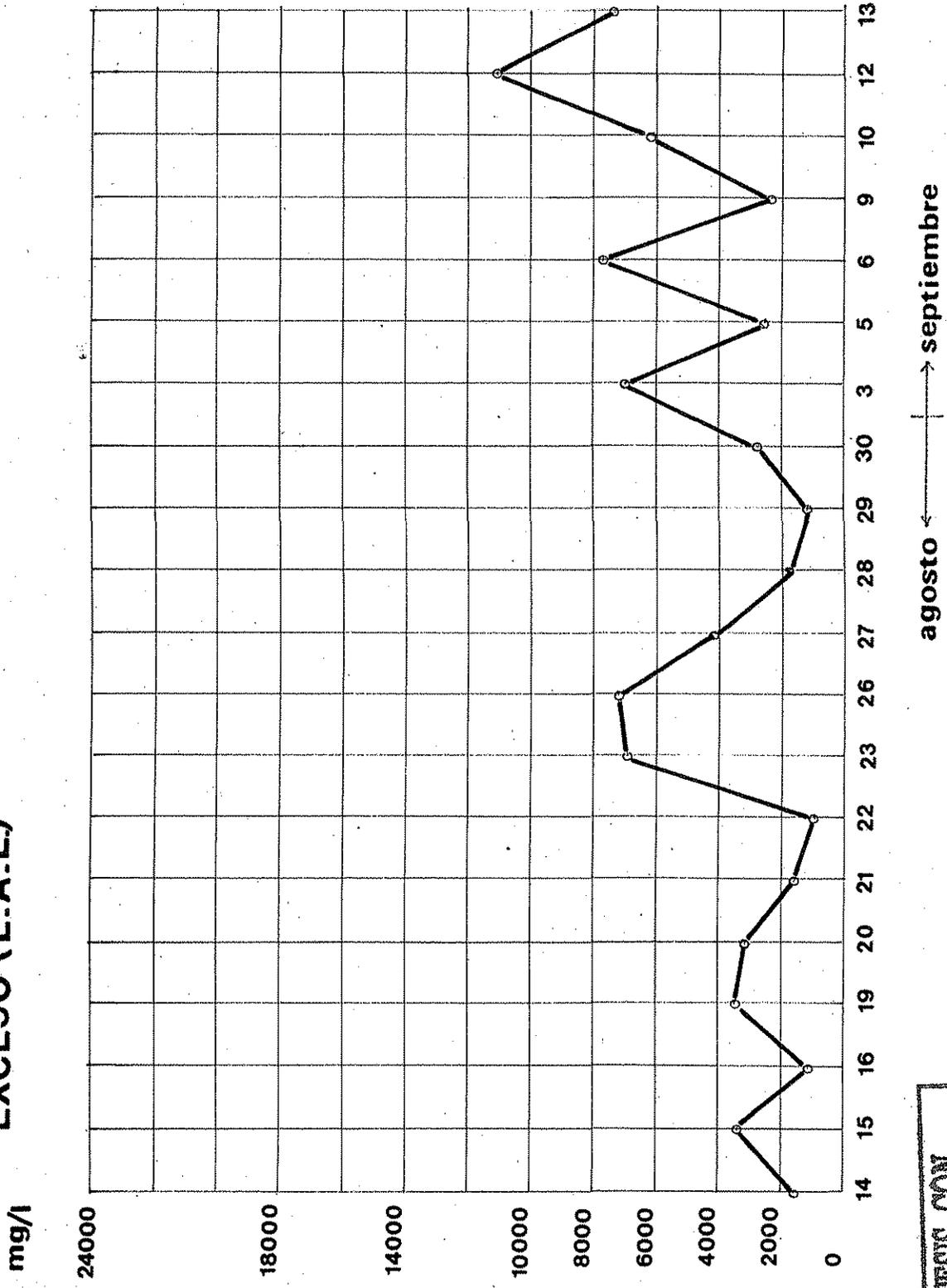
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

GRAVEDAD ESPECIFICA EN L.P.



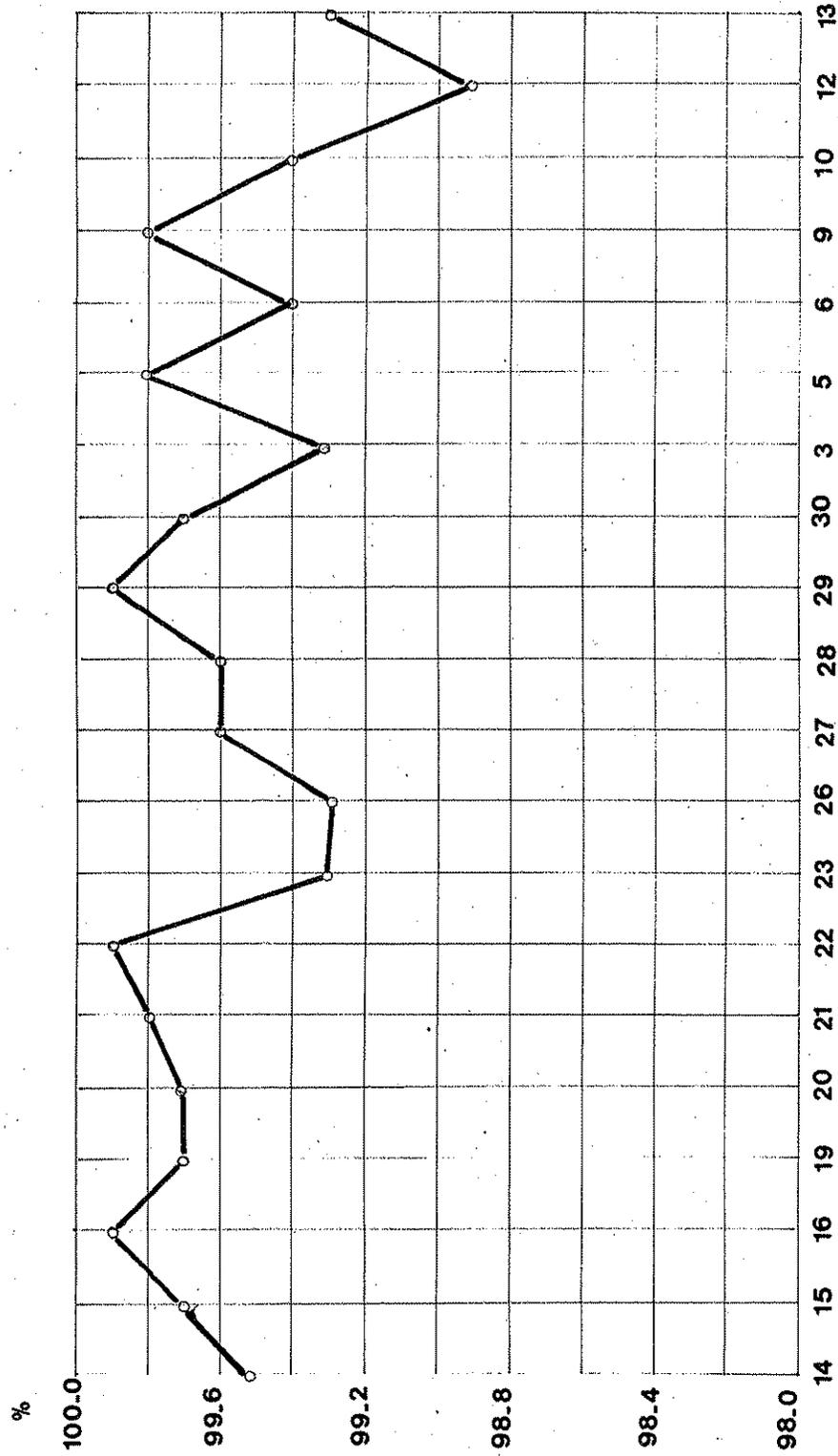
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

SOLIDOS TOTALES EN LODOS ACTIVADOS DE EXCESO (L.A.E.)



TESIS CON FALLA DE ORIGEN

CONTENIDO DE HUMEDAD EN L.A.E.

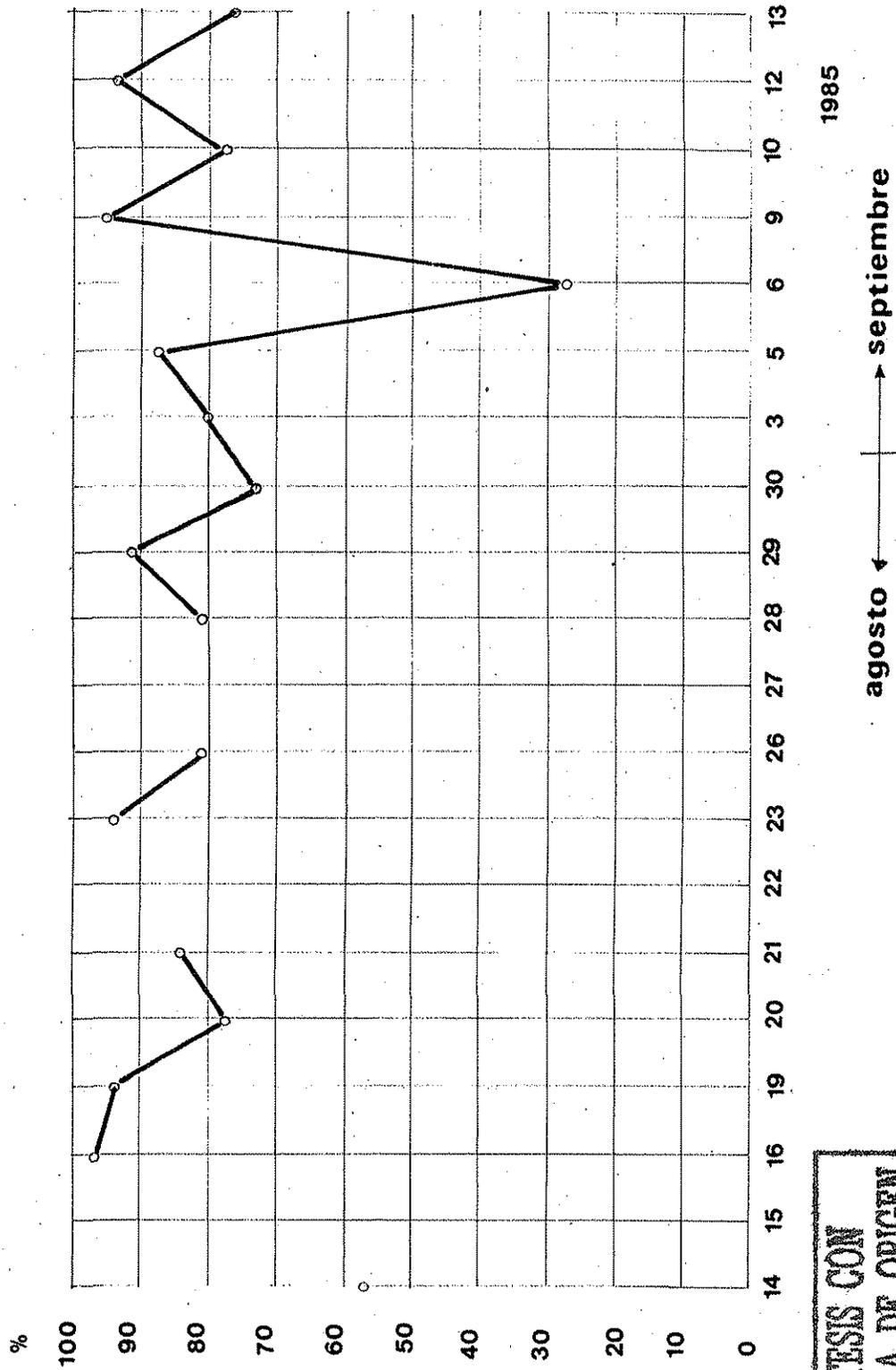


TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

agosto ← → septiembre

1985

CONTENIDO VOLATIL EN L.A.E

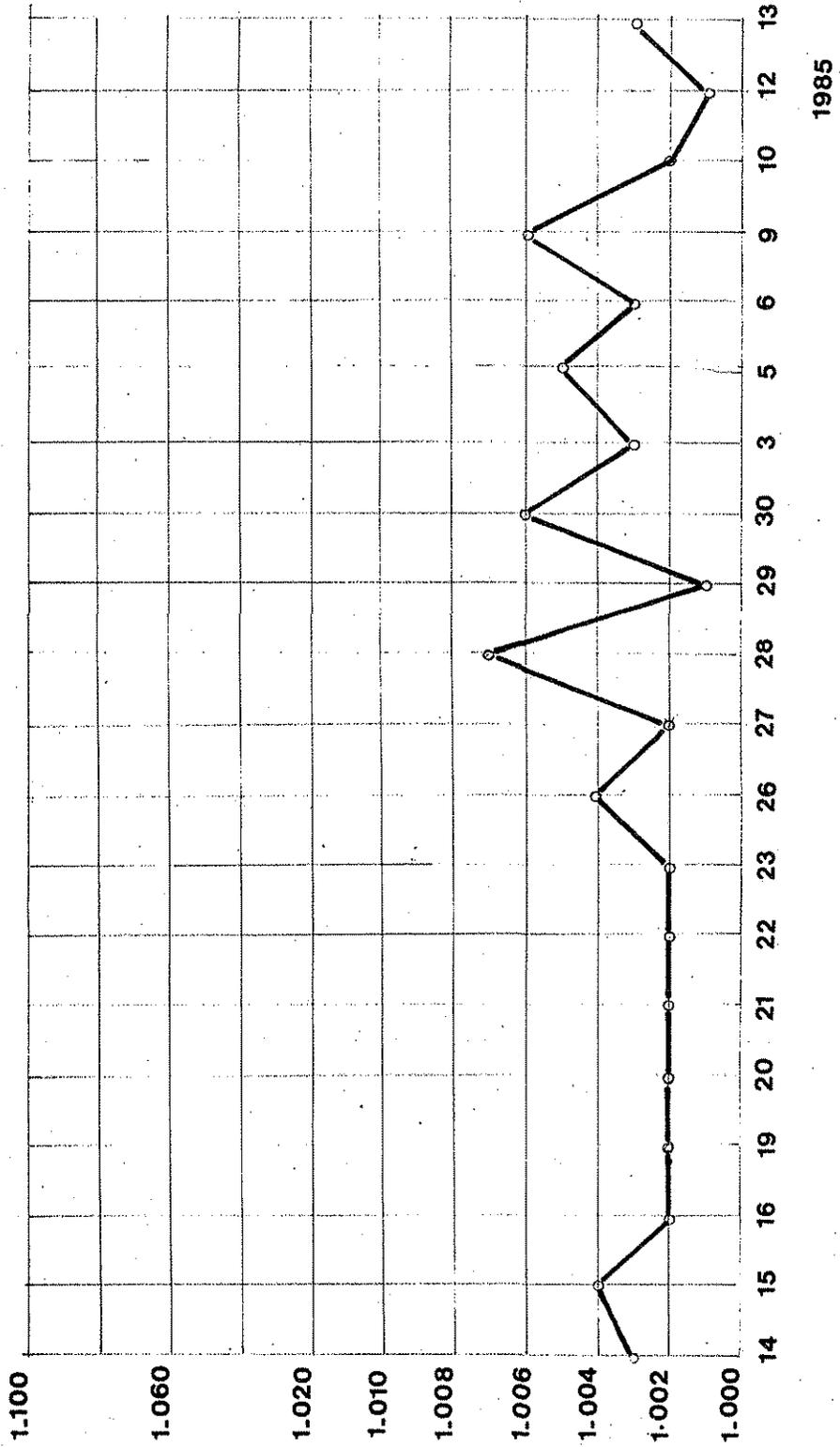


TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

1985

agosto ← → septiembre

GRAVEDAD ESPECIFICA EN L.A.E.



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

agosto ← → septiembre

ANEXO III: TIPOS Y CARACTERISTICAS DE LODOS
REGISTRADOS EN LA LITERATURA

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

TIPOS Y CARACTERISTICAS DE LODOS

Tipos de sólidos y lodos

En los sistemas de tratamiento de aguas residuales se pueden producir además de las aguas renovadas los siguientes tipos de sólidos y lodos:

- Sólidos retenidos en las cribas o rejillas del tratamiento preliminar. Incluyen todo tipo de materiales orgánicos e inorgánicos que son demasiado grandes para pasar a través de las rejillas cuyas aberturas máximas son del orden de los 25 mm. (6)
- Sólidos sedimentados en los desarenadores. Este material está compuesto por los sólidos inorgánicos e inertes que sedimentan a velocidades relativamente altas.
- Natas. Formadas por el material flotante en la superficie de los tanques de sedimentación primaria, digestión anaeróbica y otras unidades.
- Lodos primarios. Son los lodos extraídos de las tolvas de los sedimentadores primarios, generalmente son viscosos, de un color grisáceo y en la mayoría de los casos tienen olor desagradable, pueden ser rápidamente digeridos bajo condiciones adecuadas.
- Lodos de precipitación química. Son los lodos de los tanques de precipitación química y generalmente son de color oscuro, aunque este puede variar según sus componentes químicos. Su olor puede ser desagradable pero no tanto como el de los lodos primarios.
- Lodos activados. Los lodos activados generalmente tienen una apariencia floculante de color café. Los lodos activados en buenas condiciones tienen olor inofensivo, en cambio

si tienden a descomponerse presentan un olor desagradable de putrefacción.

- Lodos de filtros rociadores. Son los lodos producidos en los filtros rociadores y se les llama también "humus", son de color café, floculantes y relativamente inofensivos en olor cuando están frescos.
- Lodos digeridos aeróbicamente. Los lodos digeridos aeróbicamente, tiene apariencia floculante y un color café oscuro, su olor no es ofensivo y cuando están bien digeridos se deshidratan con cierta facilidad.
- Lodos digeridos anaeróbicamente. Los lodos digeridos anaeróbicamente tienen un color entre oscuro y negro. Cuando han sido digeridos completamente no tienen olor desagradable.
- Lodos sépticos. Son los lodos contenidos en los tanques sépticos. tiene un color casi negro y un olor desagradable debido al sulfuro de hidrógeno y otros gases, a menos que hayan sido digeridos correctamente mediante un largo almacenamiento.

Características

Para tratar y eliminar definitivamente los sólidos y lodos producidos en las plantas de tratamiento de aguas residuales de la manera más efectiva, es importante conocer sus características físicas, químicas y biológicas, estas varían dependiendo del origen de los sólidos y lodos y el tipo de tratamiento a que han estado sujetos.

En la Tabla III.1 se presentan datos típicos de la composición química de un lodo primario sin tratamiento y otro digerido⁽⁶⁾. En la Tabla III.2 también se presentan las características de un lodo primario⁽⁸⁾. Vesilind⁽⁷⁾ ha clasificado



TABLA III.1 COMPOSICION QUIMICA TIPICA DE UN LODO PRIMARIO SIN DIGERIR Y OTRO DIGERIDO⁽⁶⁾

Característica	Lodo primario sin tratamiento		Lodo digerido	
	Rango	Valor típico	Rango	Valor típico
Sólidos totales secos (ST)%	2.0 - 8.0	5.0	6 - 12.0	10.0
Sólidos volátiles (% de ST)	60 - 80	65	30- 60	40
Grasas y aceites (soluble en eter etílico, % de ST)	6.0 - 30.0	...	5.0- 20.0	...
Proteína (% de ST)	20 - 30	25	15 - 20	18
Nitrógeno (N, % de ST)	1.5 - 6.0	4.0	1.6 - 6.0	4.0
Fósforo (P ₂ O ₅ , % de ST)	0.8 - 3.0	2.0	1.5 - 4.0	2.5
Potasio (K ₂ O, % de ST)	0 - 1.0	0.4	0.0 - 3.0	1.0
Celulosa (% de ST)	8.0 - 15.0	10.0	8.0 - 15.0	10.0
Fierro (No como sulfato)	2.0 - 4.0	2.5	3.0 - 8.0	4.0
Sílice (SiO ₂ , % de ST)	15.0 - 20.0	...	10.0 - 20.0	...
pH	5.0 - 8.0	6.0	6.5 - 7.5	7.0
Alcalinidad (mg/l como CaCO ₃)	500 - 1500	600	2500 - 3500	3000
Acidos orgánicos (mg/l como HAc)	200 - 2000	500	100 - 600	200
Contenido Térmico BTU/lb	6019 - 9888	7094 ^a	2580 - 6019	3869 ^b
(cal/g)	3307 - 5433	3898	1417 - 3308	2126

a Basado en un 65% de materia volátil

b Basado en un 40% de materia volátil

NO EXISTE
FALTA DE ORIGEN
TESIS CON

TABLA III.2
CARACTERISTICAS DEL LODO PRIMARIO⁽⁸⁾

Características	Rango de valores	Valor típico	Comentarios
pH	5 - 8	6	-
Acidos volátiles, mg/l como ácido acético	200 - 2000	500	-
Valor calorífico, Btu/lb (cal/g)	6,800 - 10,000 3,736 - 5,495	-	Depende del contenido volátil y la composición del lodo, los valores reportados son en base a peso seco
		10,285	lodo con 74% de volátiles
		7,600	Lodo con 64% de volátiles
Gravedad específica de partículas sólidas individuales	-	1.4	Se incrementa con el uso de desmenuzadores
Gravedad específica del lodo	-	1.02	Se incrementa con el espesamiento de lodos y con la gravedad específica de los sólidos
		1.07	Agua negra concentrada de un sistema combinado de alcantarillado - pluvial y doméstico).
DBO ₅ /SSV	0.5 - 1.1	-	-
DQO/SSV	1.2 - 1.6	-	-
N Orgánico/SSV	0.05 - 0.06	-	-
Contenido volátil porcentaje en peso de sólidos secos	64 - 93	77	Valor obtenido con ningún reciclaje de lodos 42 muestras y desviación standar = 5
	60 - 80	65	Valor bajo por influencia de tormentas severas
	-	40	Valor bajo causado por residuos industriales
Celulosa, porcentaje en peso de sólidos secos	8 - 15	10	-
	-	3.8	-

FALTA DE ORIGEN
NO SISSEL

Hemicelulosa, porcentaje en peso de sólidos secos	-	3.2	-
Lignina, porcentaje en peso de sólidos secos	-	5.8	-
Grasas y aceites, porcentaje en peso de sólidos secos	6 - 30 7 - 35	- -	Fracción soluble en eter
Proteínas, porcentaje en peso de sólidos secos	20 - 30 22 - 28	25 -	- -
Nitrógeno, porcentaje en peso de sólidos secos	1.5 - 4	2.5	Expresado como nitrógeno
Fósforo, porcentaje en peso de sólidos secos	0.8 - 2.8	1.6	Expresado como P_2O_5 . Dividir los valores de P_2O_5 por 2.29 para obtener valores de P
Potasio, Porcentaje en peso seco de sólidos	0 - 1	0.4	Expresado como K_2O Dividir los valores de K_2O por 1.2 para obtener los valores de K

NEGRO ED VIVI
FALTA DE ORIGEN
TESIS CON

las características de los lodos de la siguiente manera:

Características Físicas

- Gravedad específica. La gravedad específica está definida como la relación del peso de un material en este caso de lodo a un volumen igual de agua. Casi todos los lodos tienen gravedad específica cercana a 1.0, es decir, es casi igual al peso del agua.
- Concentración de sólidos. La fracción relativa sólida - líquida de un lodo se describe comunmente como la concentración de sólidos expresada en %. Aunque algunos autores la expresan según el porcentaje de humedad; es decir:

$$\% \text{ sólidos} = 100 - \% \text{ humedad}$$

- Sedimentación. Los lodos con frecuencia pueden ser caracterizados por su rapidez de sedimentación. En el caso de lodos activados, el parámetro usado es el Índice Volumétrico de Lodos (IVL) que es específicamente el volumen en mililitros ocupado por 1 g de lodos, en peso seco, después de 30 min de sedimentación. Aunque fue desarrollado originalmente para el control operacional de las plantas de lodos activados⁽⁹⁾, se ha seguido usando hasta la fecha para medir la sedimentabilidad de ese tipo de lodos.

Los cálculos se basan en la siguiente relación:

$$\text{IVL} = \frac{\text{ml/l de lodo sedimentado en 30 min.} \times 1000}{\frac{\text{mg}}{\text{l}} \text{ de sólidos suspendidos}} = \frac{\text{ml}}{\text{g}}$$

El Índice Volumétrico de Lodos de los lodos activados con buenas características de sedimentación, se encuentra entre 50 y 100. En cambio, los lodos hinchados tienen un índice de 200, ó mayor⁽¹⁰⁾.

- Tamaño de partículas. Las partículas en los lodos varían no solamente en tamaño sino también en consistencia y forma, debido a la variación con el tiempo y las condiciones de prueba a que son sometidas. Aunque se han realizado un gran número de intentos, no ha sido posible la caracterización de los lodos mediante este parámetro.
- Distribución del agua. La forma en que se encuentra distribuida el agua contenida en el lodo, puede ser una característica de interés. Una hipótesis de las más aceptadas es la que considera que el agua de los lodos se encuentra en cuatro formas:
 - a) Agua libre. Es la que no está ligada a los sólidos de ninguna manera y se puede eliminar mediante sedimentación simple.
 - b) Agua de flóculo. Es el agua atrapada dentro de los flocs, la cual se mueve igual que ellos y cuya eliminación requiere deshidratación mecánica.
 - c) Agua capilar. Es la que se adhiere a las partículas individuales y cuya remoción sólo se logra si las partículas son comprimidas.
 - d) Agua enlazada. Es la que está químicamente ligada a las partículas individuales.

Para un lodo activado típico, el agua podría estar distribuida como se muestra en la Tabla III.3

Tabla III.3 Distribución del agua en un lodo activado⁽⁷⁾

Tipo	% Volumen
Agua libre	75
Agua de flóculo	20
Agua capilar	2
Agua enlazada	2.5
Sólidos	0.5
	100%

- Reología. Los fluídos pueden caracterizarse también mediante sus propiedades de flujo o reología. Una medida común es la viscosidad. Los fluídos generalmente se clasifican en Newtonianos (aquellos cuyo esfuerzo cortante producido es proporcional al gradiente de velocidad) y Plásticos (aquellos que necesitan un esfuerzo inicial antes de poder ser desplazados). Los lodos sin embargo, se comportan en un término intermedio por lo que se han denominado pseudoplásticos. Ver la Figura III.1. En realidad existe poca información bibliográfica referente a las propiedades reológicas y se espera que esta se incremente en el futuro.
- Límites de Atterberg. Estos límites son comunmente usados en la Mecánica de Suelos y según Vesilind⁽⁷⁾, no aportan gran información debido a su reducido alcance.

Características Químicas

- Valor calorífico. Gran parte de los lodos (como sólidos secos) provenientes de las aguas residuales municipales tienen un valor calorífico. El lodo como sólidos secos tiene un valor calorífico de casi 5,500 cal/g (10,000 BTU/lb). Esto se puede comparar favorablemente con el carbón

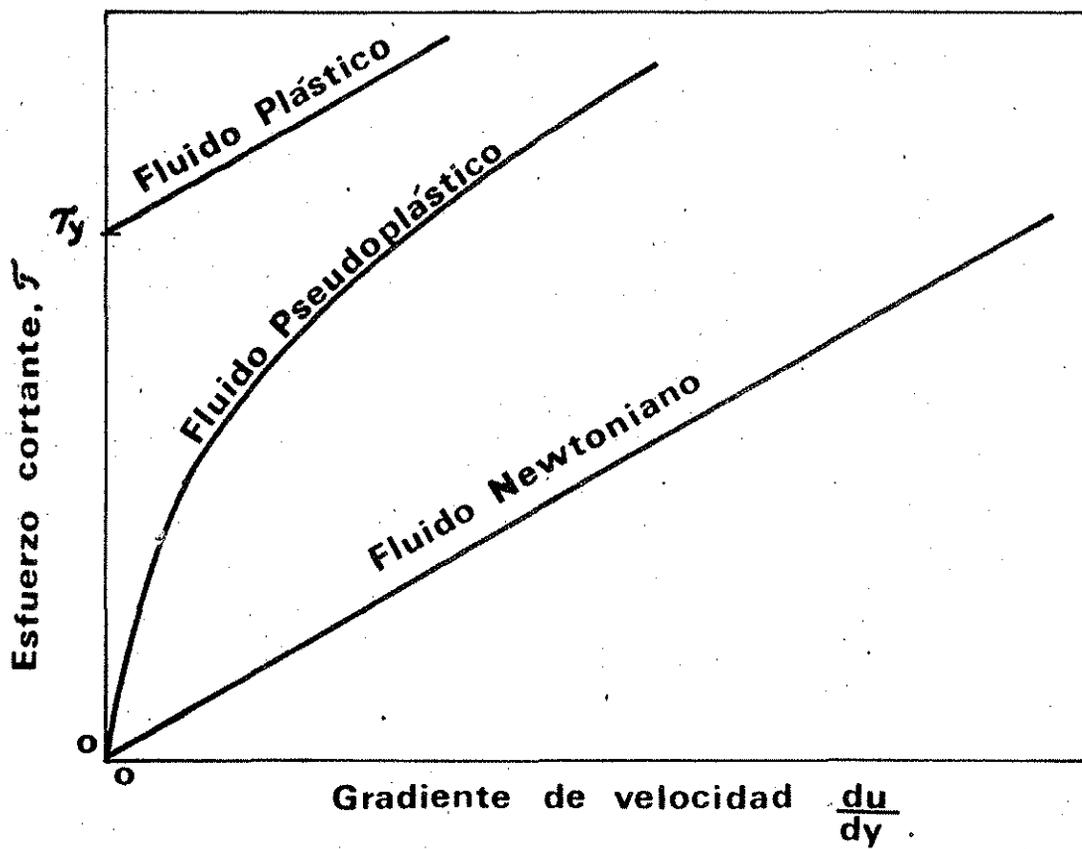


Figura III.1 Reogramas para varios fluidos

por ejemplo que tiene un valor de 7,700 cal/g (14,000 BTU/lb). Desafortunadamente los lodos son muy húmedos y parcialmente volátiles reduciendo su valor calorífico a casi sólo 550 cal/g (1000 BTU/lb).

- Valor fertilizante. La mayoría de los fertilizantes requiere el contenido de los siguientes nutrientes: Nitrógeno, Fósforo y Potasio. Un fertilizante común tiene: 8% de Nitrógeno, 8% de Fósforo y 8% de Potasio (como K_2O) y los lodos de las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales, rara vez tienen tan altos porcentajes. Por lo general casi todos son bajos en Potasio.
- Mejorador de forrajes. El lodo podría en un momento dado, ser usado como acondicionador o mejorador de forrajes para alimentar el ganado. Rudolfs⁽¹¹⁾ reportó que los lodos domésticos contienen altas concentraciones de proteína; sin embargo, la información al respecto es aún escasa.
- Carga eléctrica de las partículas sólidas. Los lodos pueden también ser caracterizados por su "Potencial Zeta", el cual da una indicación del tipo de reactivos que podrían usarse para el acondicionamiento de los lodos.

Características Biológicas

Las dos características biológicas de mayor interés son: la Taxonomía o clasificación de microorganismos y la presencia de microorganismos patógenos. Aunque se han realizado un gran número de estudios al respecto, esta caracterización es un tanto compleja.

Características Bioquímicas

Han sido tres las características bioquímicas estudiadas que han mostrado alguna correlación con el comportamiento de los lodos. Estas son: el ATP (Trifostato Adenosino, el DNA (Acido -

desoxiribunocleico) y las enzimas, específicamente las deshidrogenasas que según Randall y colaboradores (12), tienen relación con las características de drenabilidad de los lodos.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

ANEXO IV: DESCRIPCION DE LOS PROCESOS
EXISTENTES EN LA LITERATURA
PARA EL TRATAMIENTO Y ELIMI
NACION DE LOS LODOS

OPERACIONES Y PROCESOS UNITARIOS PARA EL MANEJO Y ELIMINACION FINAL DE LOS LODOS PRODUCIDOS EN EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES.

En la figura IV.1 se presentan las operaciones y procesos unitarios para el tratamiento y eliminación final de los lodos producidos en las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales.

A continuación se presenta una descripción de las operaciones y procesos más comunes:

ESPESAMIENTO

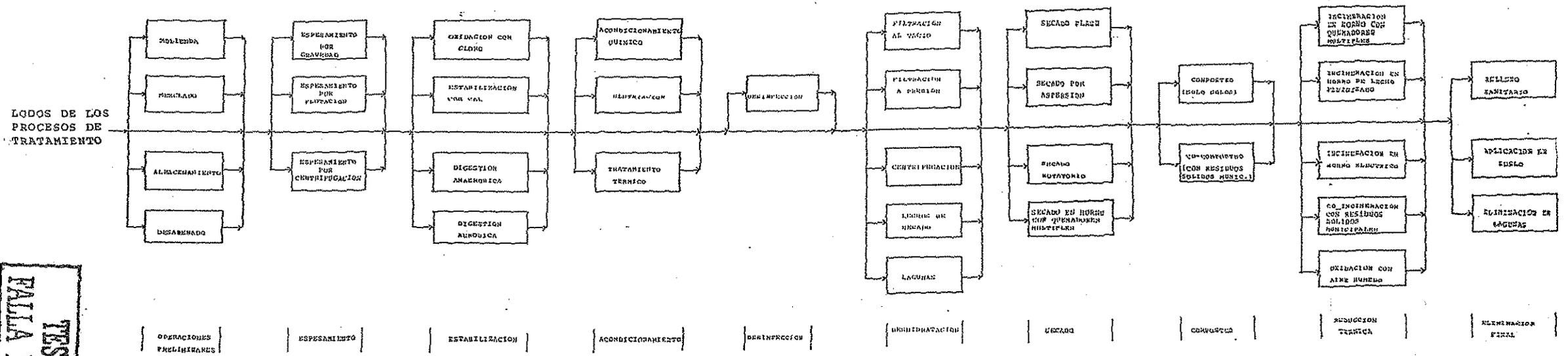
El espesamiento es un proceso que se emplea para incrementar el contenido de sólidos de los lodos eliminando una parte de su fracción líquida (agua). Los tipos principales de espesamiento se llevan a cabo generalmente por medios físicos; estos son: (a) espesamiento por gravedad; (b) espesamiento por flotación; y (c) espesamiento por centrifugación.

La reducción del volumen de lodos obtenida mediante el espesamiento es de gran beneficio para los procesos subsecuentes a este, tales como: la digestión, deshidratación, secado e incineración. A partir del espesamiento se puede obtener la optimización de: la capacidad de tanques y equipo, la cantidad de compuestos químicos requeridos para el acondicionamiento, la cantidad de calor requerido por los digestores y la cantidad de combustible auxiliar requerido para el secado e incineración de los lodos. (6)

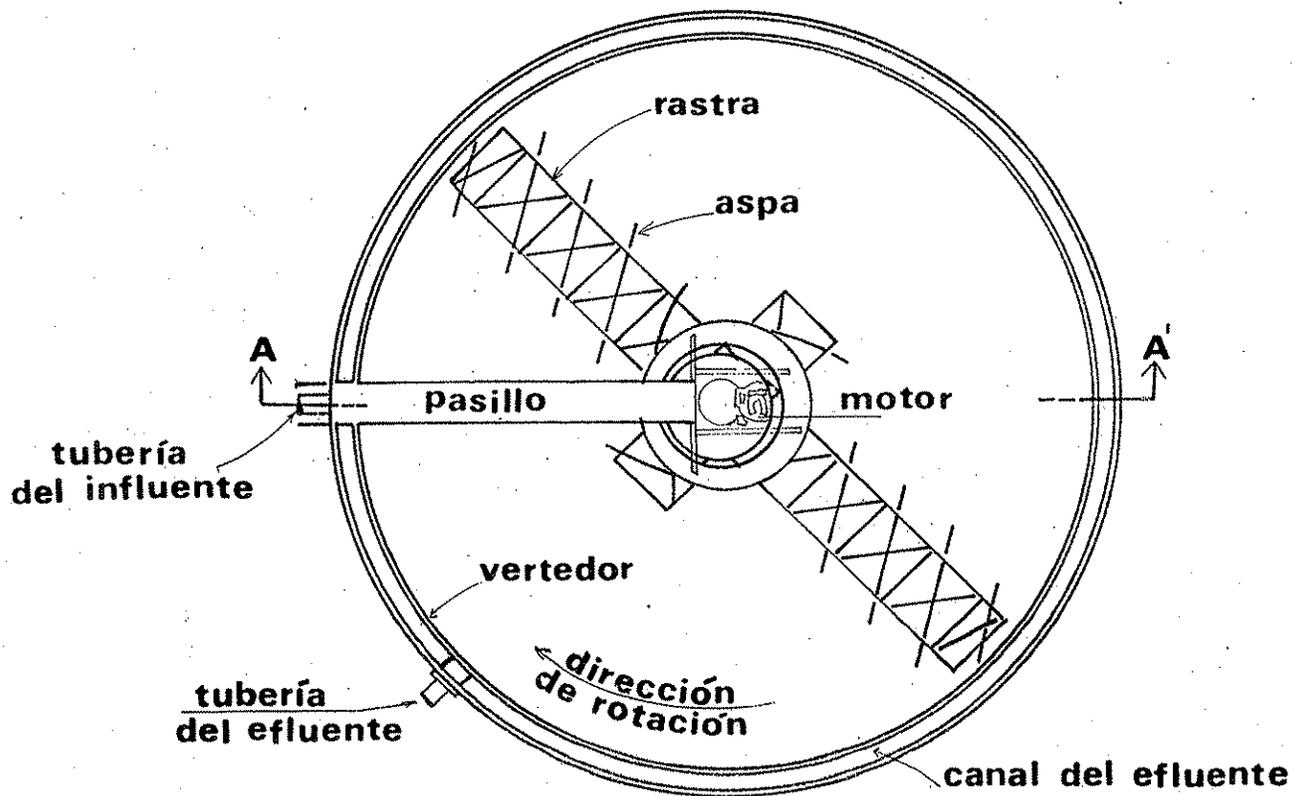
Espesamiento por gravedad. El espesamiento por gravedad se realiza en un tanque cuyo diseño es similar a los tanques convencionales de sedimentación. En la Figura IV.2 se presenta el esquema de un espesador de gravedad. Su mecanismo a base

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

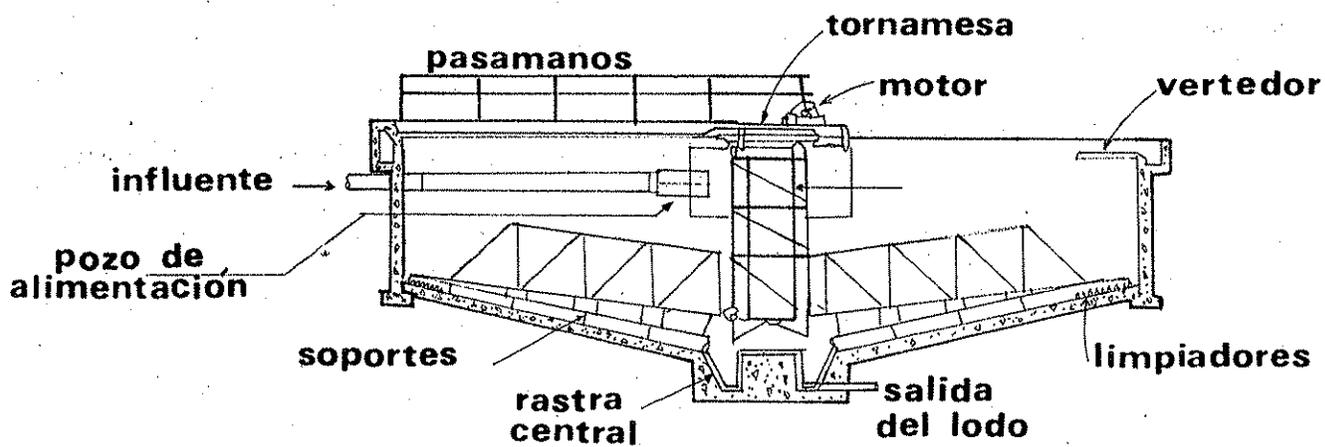
FIGURA IV.1 DIAGRAMA DE FLUJO GENERAL PARA EL TRATAMIENTO Y ELIMINACION DE LOS LODOS (ADAPTADO DE METCALF Y EDDY (6))



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



PLANTA



CORTE A-A'

Figura IV.2 Esquema de un espesador mecánico (Dorr-Oliver)

de soportes y armaduras permite que el lodo diluido que recibe se sedimente y compacte para poder extraerlo del fondo del tanque y enviarlo a los equipos de digestión o deshidratación según se requiera. Los espesadores de gravedad son generalmente diseñados en base a su carga hidráulica superficial y a su carga de sólidos con valores típicos de $16-36 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$ y $40 - 80 \text{ kg}/\text{m}^2.\text{d}$, respectivamente. Este último valor corresponde a mezclas de lodos primarios y activados de exceso. Esos tanques deberán diseñarse si es posible, como unidades de almacenamiento que permitan el amortiguamiento de las cargas pico de sólidos.

Aunque el espesamiento por gravedad se puede usar para cualquier tipo de lodos, su empleo ha sido de mayor efectividad en lodos primarios. ⁽⁶⁾

Espesamiento por flotación. La variación más conocida del espesamiento por flotación, es la que se lleva a cabo con aire disuelto y que consiste en suministrar aire a un volumen de lodo hasta alcanzar una presión elevada ($276 \text{ a } 522 \text{ kN}/\text{m}^2$), ⁽⁷⁾ cuando este volumen de despresuriza, se libera el aire en forma de pequeñas burbujas que suben el lodo hasta la superficie del recipiente en que se encuentra. Una vez que el lodo ha llegado a la superficie, podrá ser separado.

Para su diseño, se pueden usar cargas mayores ($100-200 \text{ kg}/\text{m}^2.\text{d}$ para mezclas de lodos primarios y activados de exceso), que las empleadas por los espesadores de gravedad debido a la separación rápida de los sólidos contenidos en el lodo. Este tipo de espesamiento ha sido más eficiente para lodos de exceso resultantes de los procesos biológicos con crecimiento suspendido como los lodos activados. ⁽⁶⁾

Espesamiento por centrifugación. El espesamiento por centrifugación consiste en la sedimentación de las partículas con-

tenidas en un lodo bajo la influencia de fuerzas centrífugas. La centrifugación se ha usado tanto en el espesamiento de los lodos como en su deshidratación.

ESTABILIZACION

La estabilización del lodo es un proceso cuyos objetivos son (a) reducir la masa de microorganismos patógenos presentes en el lodo; (b) eliminar los olores desagradables; y (c) inhibir, reducir ó eliminar su putrefacción. En realidad el éxito que tenga cada uno de estos objetivos está íntimamente relacionado con la reducción de la fracción orgánica ó volátil que se lleve a cabo en la operación de este proceso.

Los tipos de estabilización de lodos más comunmente usados son: la oxidación con cloro, la estabilización con cal, la digestión anaeróbica y la digestión aeróbica. Siendo los dos últimos los que mayor impulso han recibido en la práctica e investigación.

Oxidación con cloro. El proceso de oxidación con cloro consiste en la oxidación química del lodo con altas dosis de gas cloro. El laboratorio para Investigación Ambiental Municipal⁽⁸⁾, reporta dosis de 2.04 kg/l para lodos primarios con una concentración de 4% de SS. El gas cloro se aplica en forma directa a un reactor cerrado que contiene al lodo en períodos cortos de tiempo. La estabilización por este medio, permite la reducción de los organismos responsables de las condiciones molestas como olores desagradables. Se ha observado que los lodos resultantes de este proceso, deshidratan bien en lechos de secado (arena) y en filtros prensa de bandas horizontales previo acondicionamiento a base de polielectrolitos.

Estabilización con cal. El proceso de estabilización con cal

es simple y sus ventajas sobre otros procesos son su bajo costo y su simplicidad de operación. El proceso consiste en la adición de cal al lodo a tratar en cantidad suficiente para elevar el pH a un valor de 12 o más. Las dosis típicas en kg de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ /kg de sólidos suspendidos para lodos primarios y activados de exceso son de 0.10 - 0.15 y 0.30 - 0.50 respectivamente.⁽⁸⁾ El incremento del pH, crea un medio ambiente que no es apropiado para la sobrevivencia de los microorganismos presentes en el lodo, por lo tanto, éste no entrará a la etapa de putrefacción (fermentación anaeróbica), ni creará olores desagradables que puedan ser riesgosos a la salud pública. La principal desventaja de este proceso consiste en que para mantener un pH elevado se requerirán grandes dosis de cal, por lo que se recomienda eliminar el lodo antes que baje el pH para evitar problemas de putrefacción, además de aumentar el peso de lodos (al aumentar los sólidos suspendidos).

Digestión anaeróbica. La digestión anaeróbica es la degradación biológica de sustancias orgánicas complejas en ausencia de oxígeno libre. A lo largo de esas reacciones, se libera energía y gran parte de la materia orgánica se convierte en gases, como el metano, dióxido de carbono y agua, quedando disponibles muy poco carbón y energía, lo que evita una actividad biológica adicional, por lo que los sólidos remanentes se consideran estables.

Las principales ventajas de la digestión anaeróbica sobre otros procesos de estabilización son:

- a) Producción de metano, una fuente útil de energía que puede satisfacer la demanda de los digestores para su mezclado y calentamiento.
- b) Reducción del volumen total del lodo, lo cual se logra por medio de la conversión de la materia orgánica a metano,

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

dióxido de carbono y agua. Esto permite reducir el costo de las unidades subsecuentes de tratamiento.

- c) Reducción de organismos patógenos, los microorganismos presentes en el lodo pueden causar enfermedades al hombre. Estos se reducen notablemente durante los tiempos de retención grandes empleados en la digestión anaeróbica. Valores típicos de 30-60 días son reportados para la digestión anaeróbica convencional en las referencias (6) (8) (15) y (16).
- d) Reducción de sus costos de operación en relación a los de la digestión aeróbica.

Las principales desventajas de la digestión anaeróbica son las siguientes:

- a) Altos costos de capital; se requieren tanques de digestión de dimensiones considerables, cerrados y adaptados con sistemas de calentamiento y mezclado de lodos.
- b) Susceptibilidad; los microorganismos responsables de la digestión anaeróbica son altamente sensibles a cambios en su medio ambiente.
- c) Pobre calidad del efluente; el sobrenadante de los tanques de digestión anaeróbica con frecuencia tiene altas concentraciones de DBO, nitrógeno y sólidos suspendidos.

La digestión anaeróbica tiene tres variaciones principales: (1) la digestión convencional o de tasa normal; (2) la digestión rápida ó de alta tasa; y (3) la digestión en dos etapas.

Digestión convencional (tasa normal). El proceso de digestión anaeróbica convencional de los lodos, es el más antiguo y el más simple de los conocidos actualmente. Consiste en un gran tanque de almacenamiento con cubierta fija ó flotante en el que no es común acelerar las reacciones bioquímicas mediante

su mezclado mecánico o calentamiento. La única forma de mezclado es la que se lleva a cabo cuando las burbujas del gas producido suben a la superficie. A partir de lo anterior, el contenido del tanque se estratifica formando tres zonas principales: una capa de espuma y gas, un nivel medio sobrenadante y la zona inferior del tanque donde se realiza la digestión y sedimentación del lodo digerido. Los tiempos de retención típicos para este tipo de digestión son de 30 - 60 días, asimismo las cargas de sólidos típicas varían en un rango de 0.4 - 1.6 kg SSV/m³.d según (6) (8) (15) y (16). Ver la Figura IV.3.

Digestión rápida (alta tasa). El proceso de digestión anaeróbica rápida de lodos, difiere de la convencional en tres aspectos básicamente: (a) admite cargas de sólidos mayores, las cuales varían en el rango 1.6 - 8.0 kg de SSV/m³.d, (6) (8) (16); (b) está sometido a un calentamiento a temperatura entre 30 y 38°C⁽⁸⁾; y (c) el mezclado en el tanque es continuo por medio de algún mecanismo. Además este tipo de digestión se puede alimentar y descargar en forma continua. En la figura IV.4 se presenta un esquema de este tipo de digestión.

Digestión en dos etapas. Este proceso consta normalmente de dos tanques (Figura IV.5), el primer tanque se emplea para realizar la digestión y para ello debe estar equipado con instalaciones tanto de mezclado como de calentamiento. El segundo tanque se usa para almacenar y concentrar el lodo digerido y para la formación de un sobrenadante ó efluente relativamente claro. Esto reducirá el volumen del lodo que habrá de requerir un tratamiento adicional. Generalmente en el segundo tanque hay poca reducción de sólidos y la producción de gas será baja en gasto volumétrico y en concentración

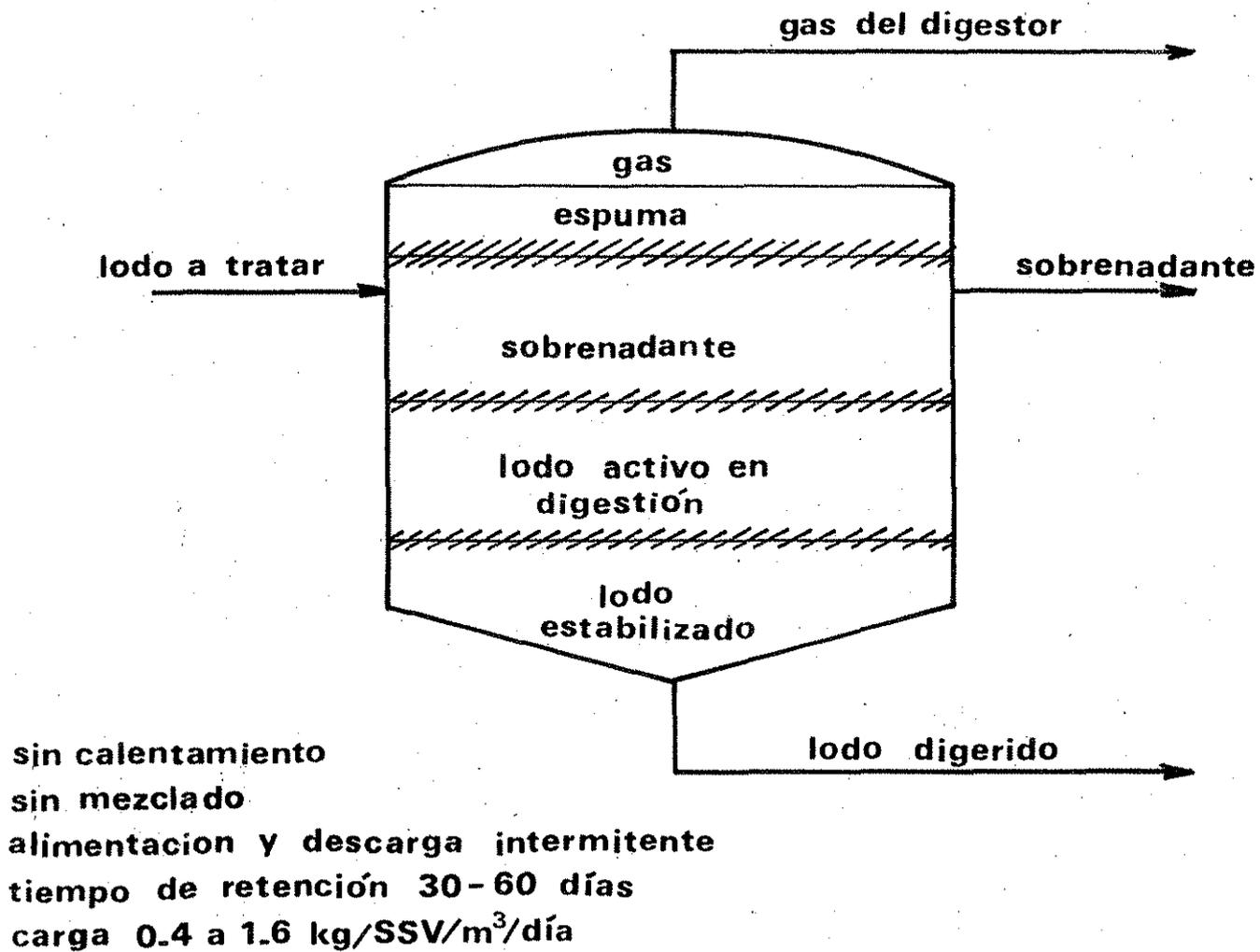


FIGURA IV.3 DIGESTION ANAEROBICA CONVENCIONAL

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

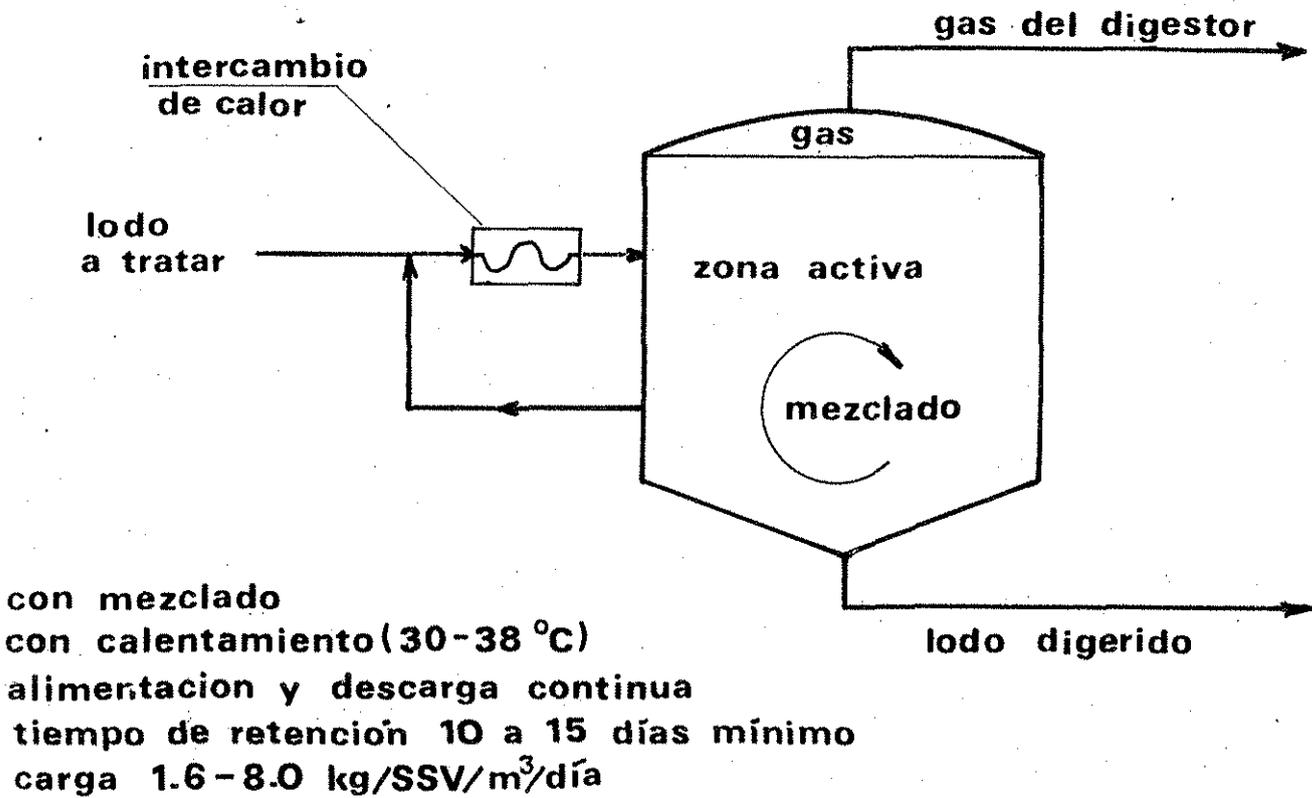


FIGURA IV.4 DIGESTION ANAEROBICA DE ALTA TASA

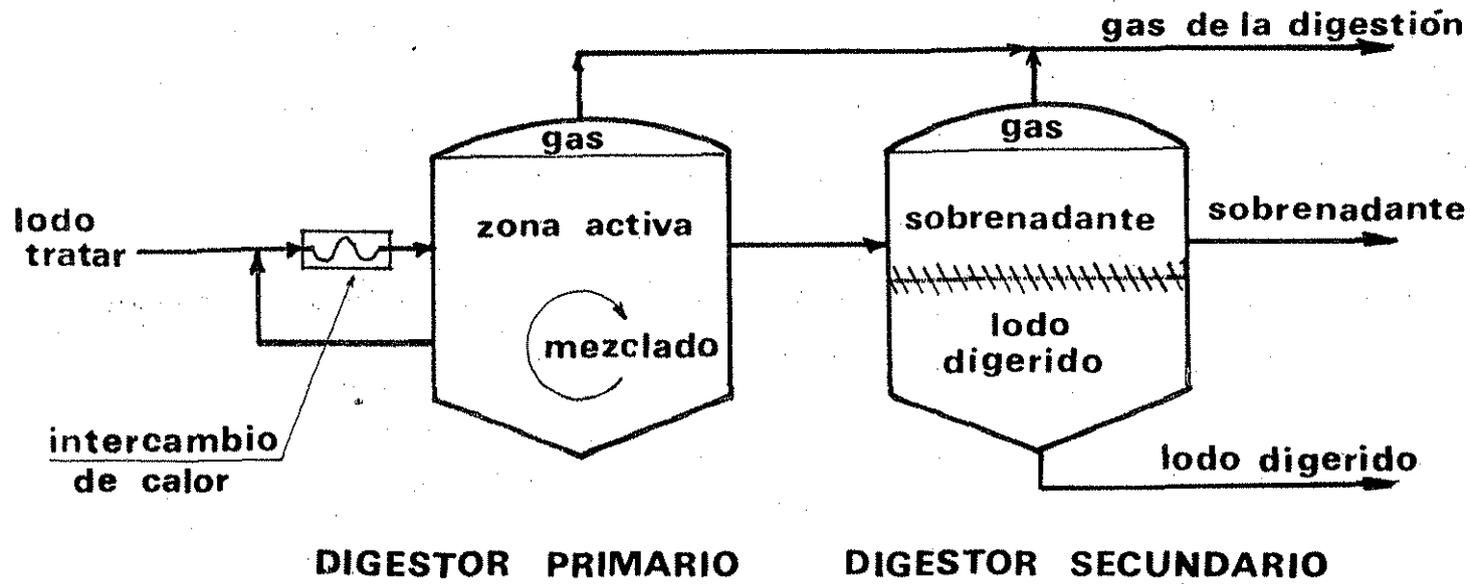


FIGURA IV.5 DIGESTION ANAEROBICA EN DOS ETAPAS

de hidrocarburos.

Digestión aeróbica. La digestión aeróbica es un proceso alternativo para estabilizar lodos orgánicos producidos en varias operaciones de tratamiento. Se puede emplear para tratar : (1) lodos activados de exceso; (2) mezclas de lodos activados de exceso o lodos de exceso de filtros percoladores con lodos primarios; y (3) lodos de exceso de plantas de tratamiento diseñadas sin sedimentación primaria.

Hasta ahora la digestión aeróbica ha sido empleada en Estados Unidos básicamente en plantas pequeñas que usan los procesos de aeración extendida y estabilización por contacto.

Las principales ventajas de la digestión aeróbica sobre otros procesos de estabilización, particularmente la digestión anaeróbica son:

- Menores costos de capital comparados con la digestión anaeróbica para plantas con capacidad menor a 220 l/s. ⁽⁸⁾
- Facilidad relativa de operación en relación a la digestión anaeróbica.
- No genera olores desagradables
- Producen un sobrenadante bajo en: DBO, sólidos suspendidos y nitrógeno amoniacal.

La principal desventaja de este proceso está representada por sus altos costos de operación, específicamente de potencia para el suministro de oxígeno aún en plantas pequeñas.

Los factores que deben ser considerados en el diseño de los digestores aeróbicos incluyen: el tiempo de residencia hidráulico, las cargas de sólidos, los requerimientos de oxígeno, los requerimientos de energía para el mezclado, las condiciones ambientales, y el proceso de operación. En la Tabla IV.1 se presentan los valores típicos de diseño. ⁽⁶⁾

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

TABLA IV.1 Criterios de diseño para digestores aeróbicos⁽⁶⁾

Parámetro	Valor
Tiempo de retención hidráulico, días a 20°C ^(a)	
Lodo activado de exceso solamente	10-15
Lodo activado de plantas operadas sin sedimentación primaria	12-18
Lodo primario más activado o de filtros percoladores ^(b)	15-20
Carga de sólidos, kg de sólidos volátiles/m ³ .d	1.6-4.8
Requerimientos de oxígeno, kg/kg destruido de:	
Tejido celular ^(c)	2.3
DBO ₅ en lodo primario	1.6-1.9
Requerimientos de energía para el mezclado	
Aeradores mecánicos. KW/10 ³ m ³	20-40
Aire para mezclado, m ³ /10 ³ m ³ .min	20-40
Nivel de oxígeno disuelto en el líquido, mg/l	1-2

(a) Los tiempos de retención deberán ser aumentados para temperaturas inferiores a 20°C. Si el lodo no puede ser extraído durante ciertos períodos (e.g., fines de semana o épocas de lluvias) deberá proporcionarse una capacidad de almacenamiento adicional

(b) Tiempos de retención similares son empleados para lodos primarios solos.

(c) El amoníaco producido durante la oxidación carbonosa es oxidado a nitratos.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

ACONDICIONAMIENTO

El acondicionamiento de los lodos es un pretratamiento de estos, que tiene como propósito ayudar a la remoción del agua en los procesos de espesamiento o deshidratación. Además el acondicionamiento puede tener un efecto esterilizante en el lodo y de esa manera controlar la emisión de olores desagradables.

Los métodos más comunmente usados en países desarrollados son: (a) el acondicionamiento químico; (b) el tratamiento térmico; y (c) la elutriación empleada en los Estados Unidos de Norteamérica.

Acondicionamiento químico. El acondicionamiento químico de los lodos es un proceso que consiste básicamente de dos etapas: (1) la desestabilización de las partículas; y (2) la floculación de las mismas.

En la desestabilización, las características superficiales de las partículas que componen el lodo se alteran de tal manera que pueden adherirse una a otra, lo cual se lleva a cabo mediante el empleo de acondicionadores químicos orgánicos e inorgánicos.

La floculación es el proceso que permite la unión de las partículas desestabilizadas mediante un mezclado suave, de tal manera que puedan formarse aglomerados. Los acondicionadores químicos más comunes son el cloruro férrico, el sulfato de aluminio y la cal (inorgánicos). Por lo que respecta a los acondicionadores químicos orgánicos se deben mencionar los polielectrolitos o polímeros que por su carga eléctrica se clasifican en: catiónicos (carga positiva), aniónicos (carga negativa) y noiónicos (neutros).

Las dosis de acondicionadores químicos requeridas para cualquier lodo, se determinan en el laboratorio mediante pruebas

como la de la hoja de filtración y la del embudo Büchner. Con la primera se determinan además de las dosis de acondicionadores, la producción de los filtros en cuanto a captura de sólidos y la adecuabilidad de varios medios filtrantes. En la tabla IV.2 se presentan las dosis de acondicionadores químicos para varios tipos de lodos cuando van a ser sometidos a filtración al vacío, asimismo en la Tabla IV.3 se presentan las dosis típicas de polielectrolitos para varios tipos de lodos que van a ser deshidratados mediante filtración al vacío.

Tratamiento térmico. El tratamiento térmico de los lodos es un proceso empleado tanto en el acondicionamiento como en la estabilización de los lodos que consiste en calentarlos aplicándoles determinadas presiones. Los dos procesos más conocidos de tratamiento térmico son: el Porteus y el Zimpro.

En el proceso Porteus, los lodos son calentados mediante vapor a temperaturas de 140 a 200°C bajo presiones de 1.0 a 1.4 MN/m² en un período aproximado de 30 minutos.

En el proceso Zimpro, el lodo es tratado en forma similar al Porteus, sólo que aquí el lodo a tratar es inyectado con aire a los reactores donde a su vez es calentado con vapor a temperaturas de operación de 180 a 315°C bajo presiones de 1.0 a 2.0 MN/m². (6)

Las principales ventajas de este proceso son las siguientes:

- producción de excelentes concentraciones de sólidos en la deshidratación de lodos (30 a 50% de sólidos).
- Esterilización del lodo
- Incremento del valor calorífico del lodo cuando va a ser incinerado
- Es apropiado para lodos que no pueden ser esterilizados biológicamente.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

TABLA IV.2 Dosis de acondicionadores químicos para varios tipos de lodos en la filtración al vacío⁽⁶⁾

Tipo de lodo	Sólidos frescos		Digeridos		Elutriados digeridos	
	FeCl ₃	CaO	FeCl ₃	CaO	FeCl ₃	CaO
Primario	1-2	6-8	1.5-3.5		6-10	2-4
Primario y de filtros rociadores	2-3	6-8	1.5-3.5		6-10	2-4
Primario y activado	1.5-2.5	7-9	1.5-4		6-12	2-4
Activado (solamente)	4-6					

Nota: La dosis de acondicionadores están expresadas en porcentaje de lodo seco.

TABLA IV.3 Dosis típicas de polielectrolitos para varios lodos que van a ser filtrados al vacío^(a)

Tipo de lodo	Kilogramos de polímeros secos añadidos por ton. de sólidos secos
Primario crudo	0.25 - 0.5
Activado de exceso	4 - 7.5
Primario digerido anaeróbicamente	0.75 - 2.0
Primario más lodo de filtros rociadores	1.25 - 2.5
Primario más activado de exceso (aire)	2 - 5
Primario más activado de exceso (oxígeno)	2 - 4
Primario más activado de exceso (aire) digeridos anaeróbicamente	2.5 - 6

a) Datos proporcionados por manufacturistas de equipo (E.E.U.U.)

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Entre sus desventajas se incluyen:

- Altos costos de capital
- El requerimiento de personal calificado en su operación

Elutriación. La elutriación es una operación unitaria en la cual un sólido o una mezcla sólida-líquida, en este caso el lodo, es lavada con un líquido (agua) con el propósito de transferir ciertos componentes a ese líquido. Un caso típico es el lavado del lodo digerido del tratamiento de las aguas residuales para remover ciertos componentes solubles orgánicos e inorgánicos. El costo del lavado ó elutriado generalmente se compensa con los ahorros obtenidos en la reducción de acondicionadores químicos.

En Estados Unidos esta práctica ha caído en desuso debido a que la EPA*, ha impuesto severas restricciones, declarando a la elutriación como indeseable debido a que los sólidos finalmente divididos que son lavados del lodo, no pueden ser capturados en forma eficiente en las unidades principales del tratamiento de las aguas residuales produciendo un efluente de baja calidad. (6)

DESHIDRATACION

La deshidratación es la operación unitaria física que se usa para eliminar el contenido de humedad del lodo y reducir su volumen a un grado en que los costos de capital y operación de los procesos subsecuentes disminuyen, tal es el caso de los costos de transporte y acarreo a los sitios de eliminación final. La deshidratación suele requerirse antes de enviar los lodos a un incinerador para incrementar su valor calorífico mediante la extracción de su humedad. También suele requerirse antes de enviar los lodos a rellenos sanitarios para evitar la producción de lixiviados en los sitios de eliminación final. Empero, la deshidratación es tan solo un compo--

* Environmental Protection Agency

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

nente del sistema de tratamiento de aguas residuales y deberá buscarse la optimización de su funcionamiento y la minimización de sus costos totales. Los procesos de deshidratación más importantes son: (1) los lechos de secado; (2) la filtración al vacío; (3) la filtración con presión; y (4) la centrifugación. La selección de alguno de estos procesos está determinada por el tipo de lodo, los recursos económicos, el espacio disponible y las etapas subsecuentes de procesamiento.

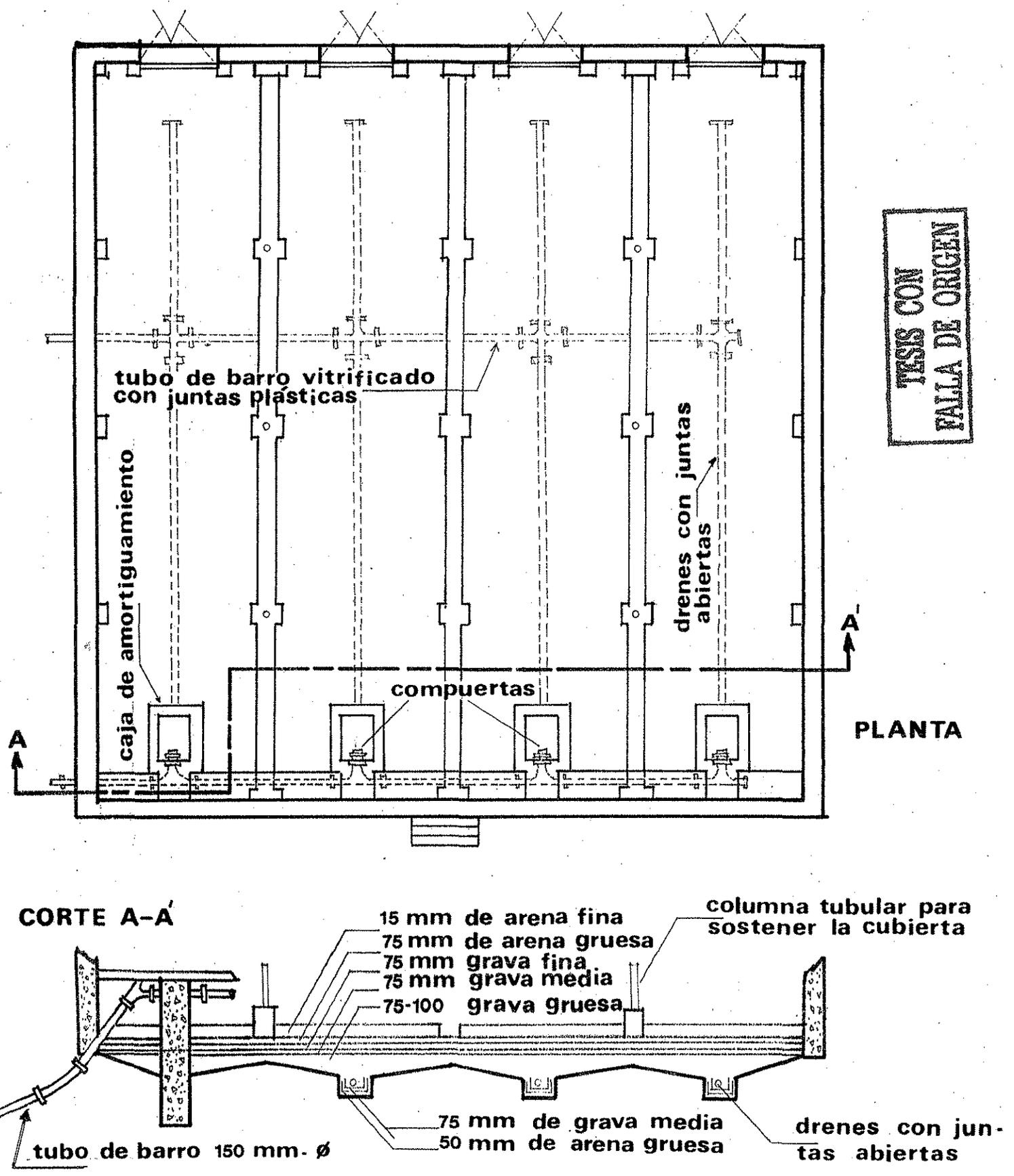
Lechos de secado. Los lechos de secado son estanques de poca profundidad cuyo fondo está compuesto a base de capas de material poroso (grava y arena) y tubos dren en la parte inferior para eliminar el agua extraída (Figura IV.6). Se emplean comúnmente para deshidratar lodos digeridos. El agua contenida en el lodo se elimina por dos fenómenos: el drenaje a través del medio poroso y la evaporación debida a la radiación y convección solar.

Los lodos que van a ser deshidratados se colocan en capas que van de 200 a 300 mm. de espesor y se les deja un tiempo para que deshidraten, este puede ser desde unos días hasta varias semanas lo cual está en función principalmente del clima, tipo de lecho que puede ser con cubierta o a cielo abierto, etc. Desde el punto de vista económico, el empleo de los lechos de secado está limitado a comunidades pequeñas y medianas donde es factible conseguir terrenos a precios no muy elevados. Las principales ventajas de este proceso son: bajos consumos de energía y costos de operación.

Entre sus desventajas se deben mencionar el requerimiento de grandes superficies de terreno y el rústico diseño ingenieril empleado.

Los lechos de secado son diseñados en base a el área requerida per cápita o bien en base a la carga de sólidos secos en -

FIG. IV.6 PLANTA Y CORTE DE UN LECHO DE SECADO⁶



kilogramos por metro cuadrado por año. En la Tabla IV.4 se presentan los datos típicos para varios tipos de lodos. ⁽⁶⁾

Tabla IV.4 Requerimientos típicos de área para lechos de secado a cielo abierto ⁽⁶⁾

Tipo de lodo	Area $m^2/10^3$ personas (a)	Carga de lodo en kg de sólidos se- cos/ m^2 . año
Primario digerido	90-140	120-200
Primario y humus digeridos	110-160	100-160
Primario y activado digeridos	160-275	60-100
Primario y precipitado químico digeridos	185-230	100-160

(a) Los requerimientos de área correspondientes a lechos cubiertos varían de un 70 a un 75% de los lechos a cielo abierto.

Filtración al vacío. La filtración al vacío es la operación unitaria que consiste en reducir el contenido de agua del lodo ya sea crudo, digerido o elutriado, de tal manera que su concentración de sólidos se incremente hasta un rango de 20 a 30%. ⁽⁶⁾

Con este gran porcentaje de sólidos, el lodo de las aguas residuales se convierte en una pasta húmeda de fácil manejo.

Los filtros de vacío son dispositivos que tienen la forma de un tambor rotatorio el cual está suspendido en un recipiente que contiene a los lodos. A medida que el tambor gira lentamente dentro de ese recipiente, parte de su circunferencia se somete a un vacío interno que extrae el lodo hacia el medio filtrante donde se forma una pasta. El medio poroso o filtrante que cubre el tambor puede ser de algodón, lana,

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

nylon u otros materiales sintéticos que se encuentran disponibles en una variedad de tejidos con diferentes porosidades, inclusive se han usado telas de alambre tejidas con acero inoxidable.

El funcionamiento de los filtros al vacío está afectado por el tipo y edad del lodo, el tratamiento previo, el medio filtrante seleccionado y la temperatura del lodo a filtrar. El funcionamiento de los filtros al vacío se mide en términos de los sólidos producidos (ó filtrados) en base al peso seco expresado en kilogramos por metro cuadrado por hora. En la Tabla IV.5 se presentan los valores esperados en filtros al vacío para lodos propiamente acondicionados.

Uno de los parámetros más importantes para el diseño de este tipo de deshidratación es la resistencia específica del lodo el cual puede ser determinado a partir de datos de laboratorio obtenidos usando la prueba del embudo Büchner. En la Tabla IV.6 se presentan los valores típicos de resistencia para varios lodos biológicos. En las Figuras IV.7 y IV.8 se muestra una vista en corte y las zonas de operación de un filtro rotatorio de vacío. La filtración al vacío produce un líquido con baja concentración de sólidos y además no requiere personal especializado para su operación. Algunas de sus desventajas son: los altos consumos de energía y el hecho de requerir atención continua por parte de los operadores.

Filtración a presión. La filtración a presión como su nombre lo indica, es el proceso de deshidratación mediante el cual el lodo es forzado a presión para eliminar gran parte de su contenido de agua. Los filtros a presión o filtros prensa más empleados en Norteamérica y algunos países europeos son: los filtros prensa de placas suspendidas y los filtros prensa horizontales de bandas.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

TABLA IV.5 Funcionamiento esperado de filtros de vacío para lodos acondicionados apropiadamente (a)

Tipo de lodo	Producción, kg/m ² .h	Sólidos en la pasta, %
Sólidos frescos		
• Primario	20-60	20-40
• Primario y lodo de filtros rociadores	20-40	20-30
• Primario y activado (aire)	20-25	16-25
• Primario y activado (oxígeno)	25-30	20-30
• Sólo activado (aire)	12.5-17.5	15-25
• Sólo lodo activado (oxígeno puro)	15-20	15-25
Sólidos digeridos (con o sin elutriación)		
• Primario	20-40	20-30
• Primario y lodo de filtros rociadores	20-25	15-28
• Primario y activado (aire)	20-25	12-25
• Primario y activado (oxígeno)	25-30	15-25

(a) Adaptada en parte de las referencias (17) y (18)

TABLA IV.6 Valores típicos de resistencia específica para varios tipos de lodos (6)

Lodo	Resistencia específica r, m/kg
Primario	1.5-5.0 x 10 ¹⁴
Activado	1-10 x 10 ¹³
Digerido	1-6 x 10 ¹⁴
Digerido y coagulado	3-40 x 10 ¹¹

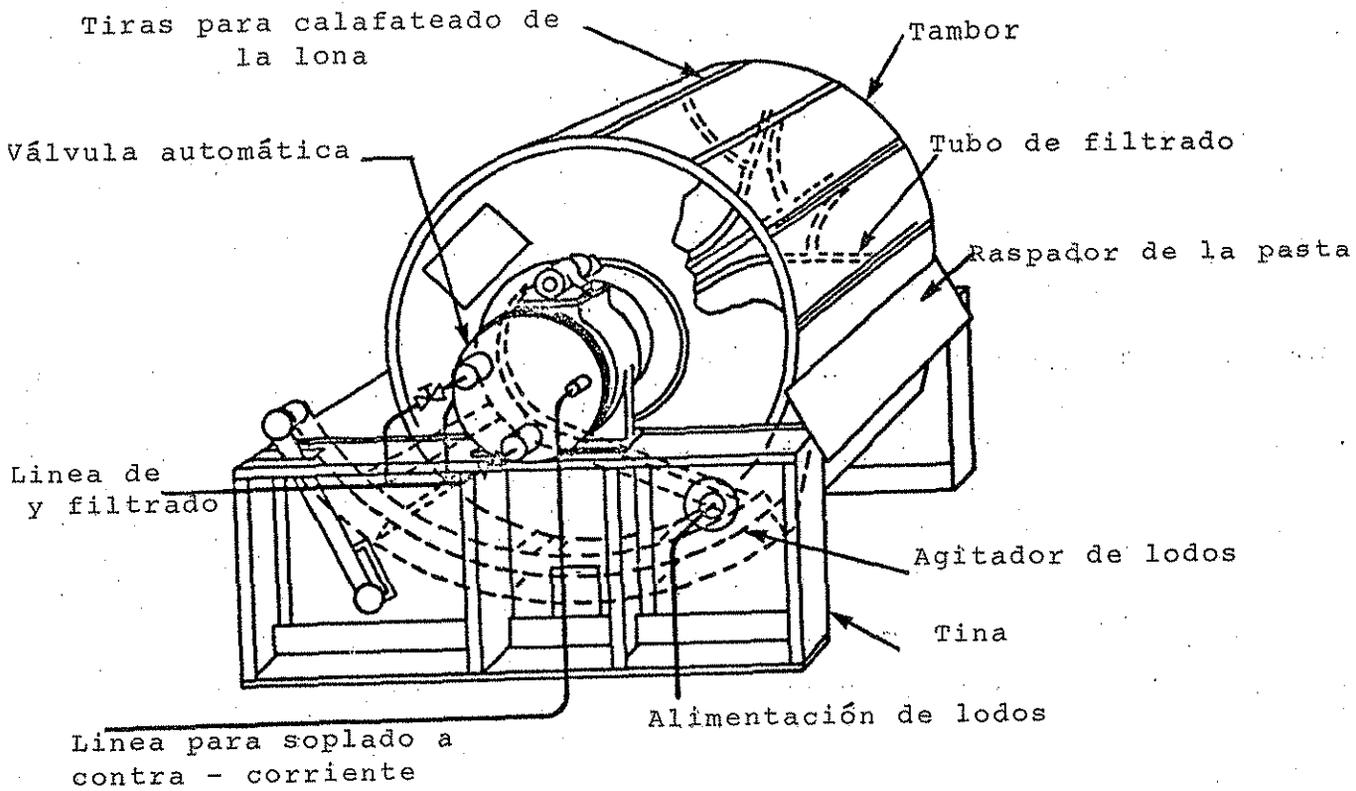
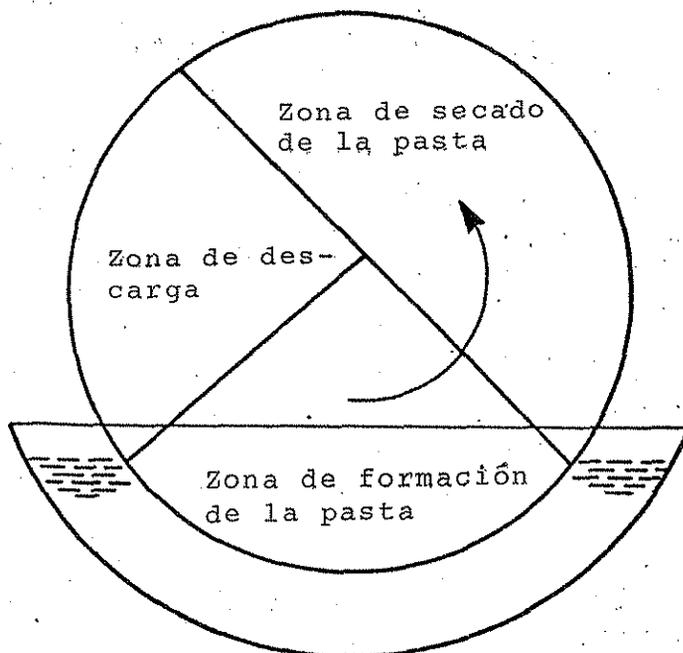


FIGURA IV.7 VISTA EN CORTE DE UN FILTRO ROTATORIO AL VACIO



TESIS CON FALLA DE ORIGEN

FIGURA IVV8 ZONAS DE OPERACION DE UN FILTRO ROTATORIO AL VACIO

Filtros prensa de placas suspendidas. En la Figura IV.9 se muestra la vista lateral de este tipo de filtros y su funcionamiento está basado en el bombeo del lodo a través de las placas, las cuales están suspendidas de un eje metálico horizontal y cubiertas en ambos lados por una tela filtrante. A medida que las placas se van cerrando y la pasta del lodo se va formando entre las cámaras, se va disminuyendo gradualmente la presión. Generalmente el lodo a filtrar es acondicionado químicamente, bombeado a los espacios entre las placas y sometido a presiones de 40 a 150 N/cm² en tiempos de 1 a 3 horas, obteniéndose una pasta de lodo con contenido de humedad de 55 a 70 por ciento⁽⁶⁾. La principal ventaja de este proceso es la alta concentración de sólidos de la pasta. Entre sus desventajas se pueden mencionar: los altos costos de inversión, de mano de obra y el tipo de operación batch ó intermitente.

Filtros prensa horizontales de bandas. El filtro prensa horizontal de bandas consiste de dos bandas continuas colocadas una sobre otra (Ver la Figura IV.10). El lodo preferentemente acondicionado, es alimentado en medio de estas bandas. El proceso incluye tres etapas básicas de operación; en la primera se hace pasar el lodo a través de la zona llamada de drenaje donde se efectúa la deshidratación por gravedad, después el lodo pasa a la zona de presión que es aplicada al lodo mediante rodillos en contacto con la banda superior, por último, el lodo pasa a la zona de cortante donde se lleva a cabo la deshidratación final. Es difícil generalizar acerca del funcionamiento operativo de este tipo de filtros debido a que los resultados dependen de muchos factores: método de acondicionamiento, máxima presión, número de rodillos, etc.

Centrifugación. La centrifugación es un proceso ampliamente usado en la industria para separar líquidos de diferente den

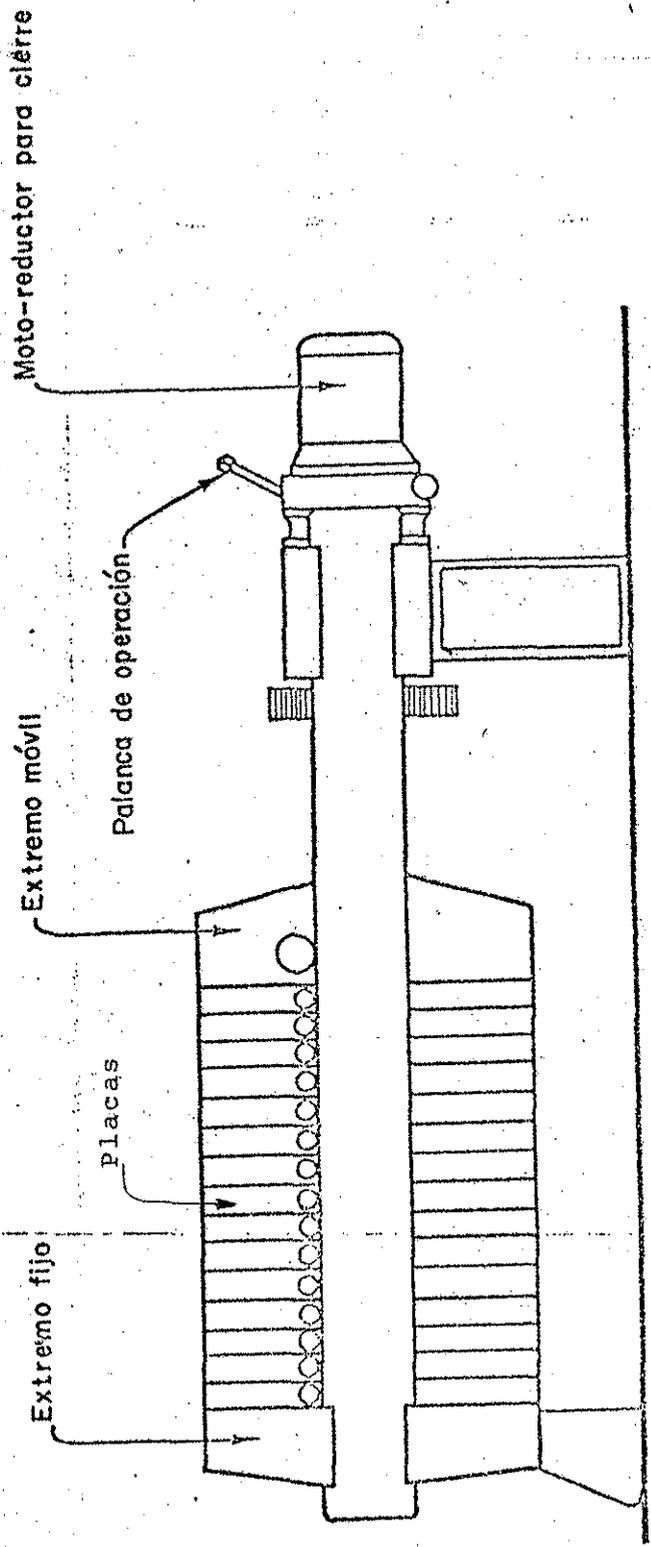


FIGURA IV.9 VISTA LATERAL DE UN FILTRO PRENSA DE PLACAS SUSPENDIDAS.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

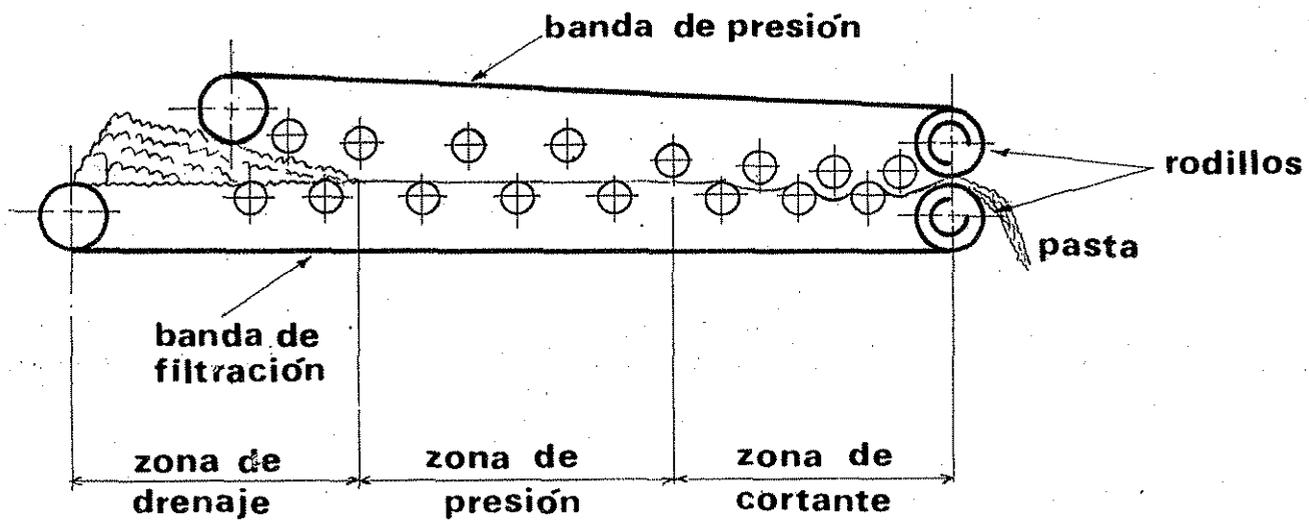


FIG. IV.10 FILTRO PRENSA HORIZONTAL DE BANDAS⁶

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

sidad, espesamiento de fluídos o remoción de sólidos. En el tratamiento de las aguas residuales también se emplea para la deshidratación de los lodos con objetivos similares a otros mecanismos de deshidratación, esto es: la producción de una pasta con alta concentración de sólidos y la obtención de un efluente claro. Los tipos de centrífugas más comunes para la deshidratación son: la centrífuga perforada tipo canasta y la centrífuga convencional en forma de tazón.

Centrífugas perforadas tipo canasta, han sido empleadas para la deshidratación parcial de los lodos en plantas pequeñas y también para el espesamiento de lodos. Con ese tipo de centrífugas pueden obtenerse eficiencias hasta del 90% en la captura de sólidos.⁽⁶⁾ Sus ventajas principales son: el hecho de no requerir de un acondicionamiento químico previo, los bajos costos de operación y el no ser afectadas por el material que no fue removido en los canales de desarenación.

Centrífugas convencionales en forma de tazón. En la Figura IV.11 se muestra el esquema de una centrífuga de este tipo. Su funcionamiento está gobernado por los mismos factores que afectan a los filtros de vacío: tipo y edad del lodo, tratamiento previo, etc. Las unidades pueden ser usadas para deshidratar lodos sin acondicionamiento químico previo, pero la captura de sólidos y la calidad del centrado mejoran considerablemente cuando se acondicionan los sólidos con polielectrolitos. Estas dosis varían de 1.0 a 7.5 kg/10³ kg de lodo (sólidos secos).⁽⁶⁾

La operación de este tipo de centrífuga consiste en alimentar el lodo a flujo constante hacia la parte media del cilindro ó centrífuga donde es sometido a la acción de una fuerza centrífuga que va a formar una pasta densa de sólidos los cuales se adhieren a las paredes internas de la centrífuga, estos -

sólidos se eliminan por uno de los extremos a través de un transportador rotatorio. La fracción líquida resultante llamada centrado, se elimina por el otro extremo de la centrífuga. La pasta del lodo generalmente contiene de un 75 a un 80 por ciento de humedad. Entre sus ventajas destacan: la alta concentración de sólidos obtenida en la pasta, poca generación de olores desagradables y bajos cocientes costo de capital/capacidad. No obstante también presentan algunas desventajas como el constante mantenimiento requerido por el transportador rotatorio y los daños causados por el material que no se elimina en el tratamiento preliminar de las aguas residuales.

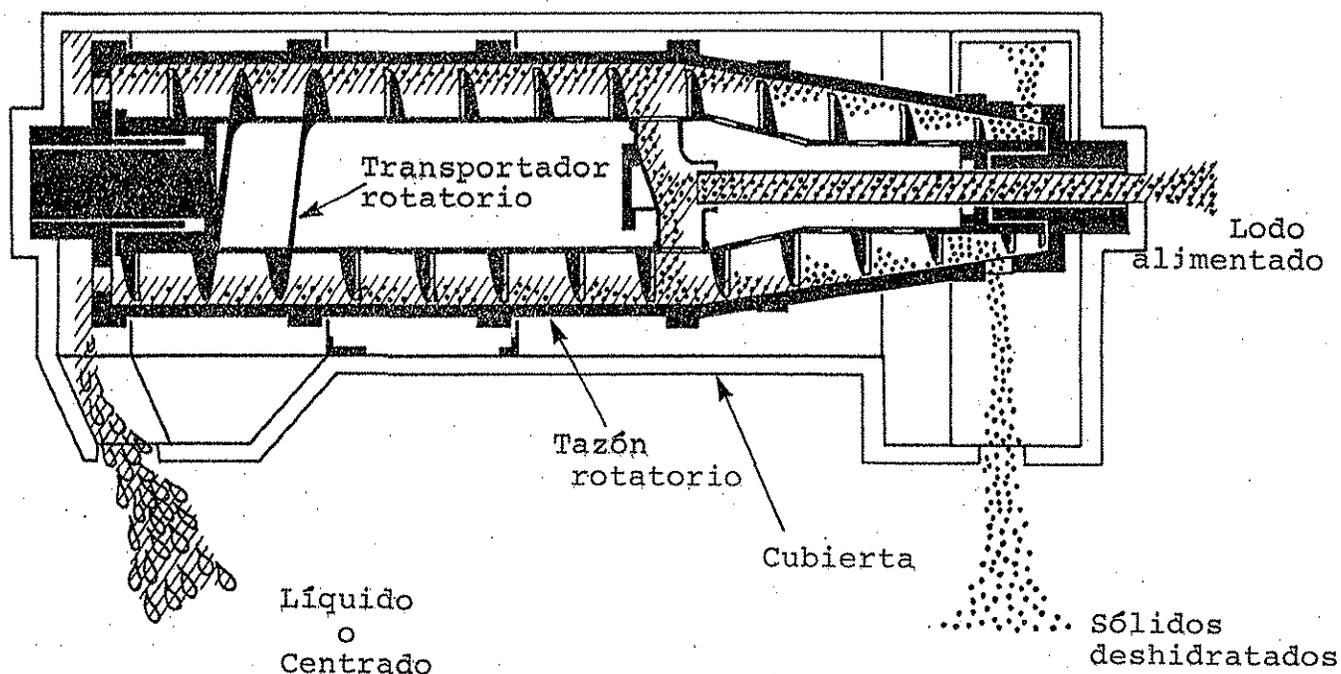


FIGURA IV.11 ESQUEMA DE UNA CENTRIFUGA CONVENCIONAL EN FORMA DE TAZON

REDUCCION TERMICA

Este método de tratamiento se basa en el empleo de procesos térmicos a altas temperaturas y su principal objetivo es la reducción de los volúmenes de lodos generalmente deshidratados para su eliminación. La reducción de los sólidos orgánicos presentes en el lodo puede ser de dos maneras: (a) mediante la conversión del material orgánico a productos finales de oxidación como el dióxido de carbono y agua mediante la incineración y oxidación con aire húmedo; y (b) la conversión u oxidación parcial de ese material a productos útiles con cierto poder calorífico mediante la pirólisis. Es importante mencionar que cuando los lodos se van a someter a procesos a altas temperaturas, requerirán de algún combustible auxiliar que permita su combustión autógena. Los lodos que se someten a los procesos de reducción térmica pueden estar libres o combinados con residuos sólidos municipales.

Las principales ventajas al emplear los procesos térmicos en relación a otros métodos de tratamiento son:

- Máxima reducción del volumen. Se reduce el volumen y peso de la pasta húmeda del lodo en aproximadamente 95%, con lo que se reducen los costos para su eliminación final.
- Recuperación de energía. Se recupera energía a través de la combustión del producto final del proceso (residuos), reduciendo el gasto global de energía.

Entre las desventajas de los procesos térmicos se incluyen:

- Altos costos. Los costos de capital, operación y mantenimiento incluyendo los costos del combustible auxiliar son altos.

- Requerimiento de personal capacitado. Para la operación de estos procesos se requerirá de personal capacitado.
- Impacto ambiental. Se requieren dispositivos para controlar la contaminación ambiental originada por la emisión de gases y partículas suspendidas (cenizas de combustión).

Antes de mencionar los procesos térmicos de alta temperatura más comunes se presentan algunas definiciones:

Combustión. Es la oxidación rápida exotérmica de elementos combustibles con la ayuda de otro combustible auxiliar.

Incineración. Es un proceso de oxidación que consta de dos etapas que implican: primero el secado y luego la combustión. Tanto el secado como la combustión se pueden realizar en la misma unidad o bien en unidades separadas.

Pirólisis. La pirólisis clásica es la destilación destructiva, reducción o rompimiento térmico y condensación de la materia orgánica cuando se somete a calor y presión en ausencia de oxígeno. (8)

Los procesos más comunes de alta temperatura (o reducción térmica) son: la incineración en horno con quemadores múltiples, la incineración en lecho fluidizado, el horno eléctrico, la co-incineración y la oxidación con aire húmedo.

Incineración en horno con quemadores múltiples. Este proceso puede operarse en forma continua y puede manejar amplias variaciones en cuanto a la calidad del lodo a tratar. Consiste en una estructura vertical de forma cilíndrica (Figura IV.12) forrada con acero refractario y que contiene una serie de quemadores o parrillas horizontales colocadas una sobre otra. La operación consiste en términos generales en alimentar el lodo

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

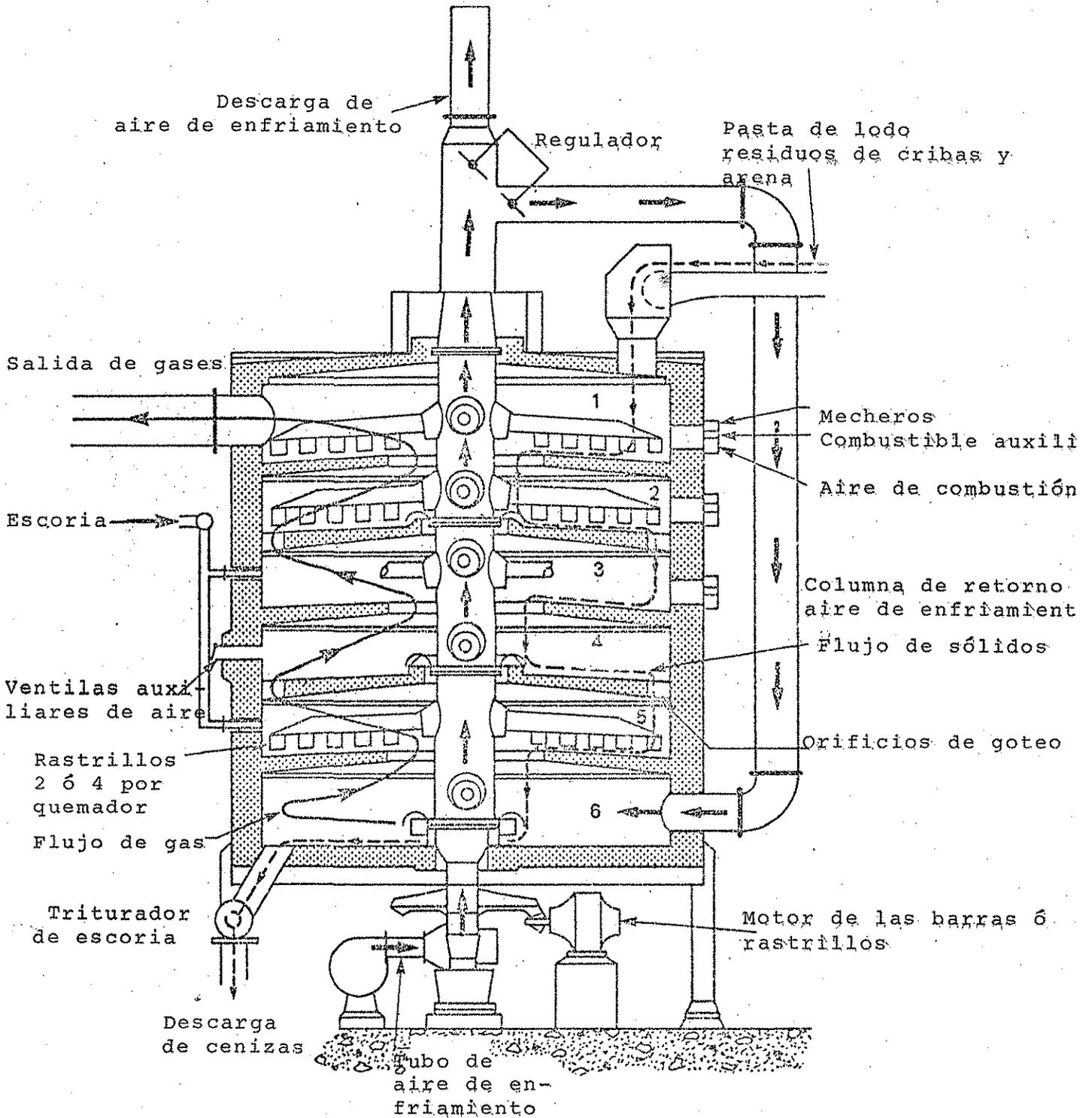


FIGURA IV.12 SECCION EN CORTE DE UN HORNO CON QUEMADORES MULTIPLES

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

en el quemador más alto e ir descendiendo lentamente para su combustión; las temperaturas más altas se encuentran en los quemadores de la parte media. Se necesitará un combustible auxiliar cuando el lodo a incinerar contenga entre 15 y 30% de sólidos; las tasas promedio de carga de la pasta húmeda del lodo son del orden de $40 \text{ Kg/m}^2 \cdot \text{h}$ de área efectiva de quemador pero puede variar de 25 a $75 \text{ Kg/m}^2 \cdot \text{h}$. En este proceso como en los demás, se requerirán dispositivos para el manejo de las cenizas para controlar la contaminación ambiental del aire. (6)

Horno de lecho fluidizado. El horno de lecho fluidizado es una estructura vertical de forma cilíndrica forrada con algún material refractario que contiene un lecho de arena y difusores fluidizantes de aire. Ver la Figura IV.13. En este tipo de reactores de lechos fluidizados, la combustión del lodo se lleva a cabo en un lecho de arena caliente que se encuentra suspendido en la parte inferior del mecanismo y con un espesor de aproximadamente 0.8 m, y a temperaturas entre 760 y 816°C . El aire se debe inyectar por la parte más baja del incinerador a presiones de 21 a 34 KN/m^2 para provocar la expansión y fluidización del lecho, la que puede ser hasta del 100% de su volumen original; el lodo a su vez se inyecta directamente al lecho de arena. En la combustión se pierde algo de arena al eliminar las cenizas, la cual debe ser reemplazada. (8)

Horno eléctrico. El horno eléctrico o infrarrojo es una estructura de acero, rectangular orientada horizontalmente con una banda movable y forrada con un material aislante de cerámica. El horno eléctrico está dividido en tres zonas principalmente: la zona de alimentación, la de combustión y secado y la zona de descarga de las cenizas de la combustión.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

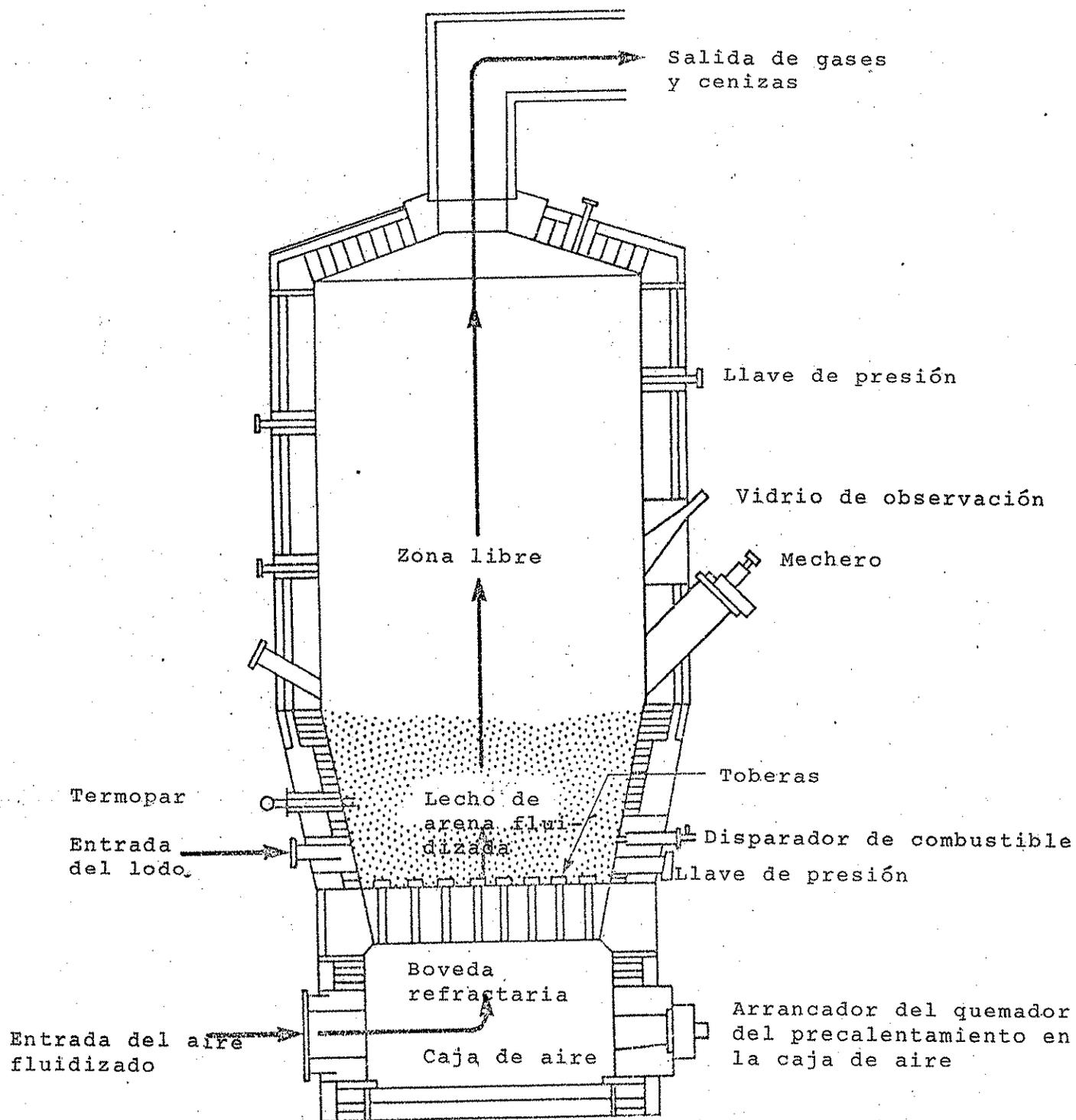


FIGURA IV.13 SECCION EN CORTE DE UN HORNO CON LECHO FLUIDIZADO

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

El proceso consiste en pasar por medio de una banda, una capa de lodo previamente triturado con un espesor de 2.5 cm a través de los elementos de calor infrarojo.

Conincineración. El valor calorífico neto de un lodo depende de su fracción total de sólidos combustibles, del valor calorífico de estos sólidos y de la cantidad de agua contenida en él. Los lodos producidos en las plantas de tratamiento de aguas residuales generalmente tienen altos contenidos de agua y por lo tanto su valor calorífico es bajo. La combustión con sostenimiento propio de ese tipo de lodos sólo será posible cuando su contenido de sólidos sea del 30 - 35 por ciento o mayor. Como este porcentaje es difícil de alcanzar con las técnicas convencionales de deshidratación, se requerirá consecuentemente el empleo de un combustible auxi--liar para poder llevar a cabo la combustión. No obstante, existen alternativas para mejorar el poder calorífico del lodo y lograr su combustión con soporte propio y estas son: su combinación con otros materiales en un esquema de co-combustión, entre estos materiales se encuentran: el carbón, los residuos sólidos municipales, los residuos de madera, los residuos textiles, etc.⁽⁸⁾

La co-incineración o co-combustión con residuos sólidos municipales como su nombre lo indica, consiste en incinerar la mezcla del lodo y residuos sólidos municipales con el propó-sito de reducir el costo del proceso, este tiene la ventaja de producir la energía calorífica necesaria para evaporar el agua de los lodos, sosteniendo la combustión de la mezcla y suministrando un exceso de calor para la generación de vapor si se requiere, para no hacer uso de los combustibles auxi-liares.⁽⁶⁾

En la operación de algunos procesos sin recuperación de calor, se ha obtenido una relación de 0.5 Kg. de sólidos secos de lodo por 2.25 Kg. de residuos sólidos incinerados en una operación normal.

Oxidación con aire húmedo. Este proceso también llamado Zimmerman implica la oxidación húmeda del lodo crudo a temperaturas y presiones elevadas. El lodo crudo (a tratar) se esparce y mezcla con una cantidad específica de aire comprimido, la mezcla se bombea a través de una serie de intercambiadores de calor y luego entra a un reactor presurizado para mantener el agua en la fase líquida a una temperatura de operación en el reactor de 175 a 315°C y presiones mayores de 20 KN/m²; el resultado es una mezcla de gases, líquidos y cenizas. La mayor desventaja de este proceso son las altas concentraciones de DBO y DQO del líquido reciclado producido. Las concentraciones de DBO de ese licor pueden ser hasta un 40 ó 50 por ciento de la del lodo crudo, asimismo los valores de DQO se encuentran en el rango típico de 7,000 a 10,000 mg/l.⁽⁶⁾

COMPOSTEO

El composteo del lodo es el proceso de descomposición termofílica aeróbica de la materia orgánica que da como resultado un producto relativamente estable, libre de molestias y similar al humus. Sin embargo, un proceso de composteo se considera completo sólo cuando el producto se puede almacenar sin causar molestias por olores desagradables y cuando los organismos patógenos han sido reducidos a un nivel en que el material se pueda manejar sin riesgo. El lodo que resulta del proceso de composteo puede emplearse como acondicionador de suelos pero su problema principal en otros países ha sido la

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

escasez de un mercado para el producto final estabilizado.

En términos generales, la composta representa el producto final de la actividad combinada de poblaciones de bacterias, actinomicetos y otros hongos que se encuentran asociados a diversos factores ambientales como la humedad, temperatura, pH concentración de nutrientes y disponibilidad en el suministro de oxígeno. La mayoría de las operaciones de composteo consisten en tres etapas básicas: (1) la preparación de los residuos que van a ser composteados; (2) la degradación de los residuos y (3) el empaque y puesta en el mercado del producto.

La primera etapa implica la recepción, clasificación, separación y reducción del tamaño y contenido de humedad de los residuos; con frecuencia y para que la mezcla sea apropiada para el composteo, es decir porosa, estructuralmente estable y además capaz de sostener la reacción de degradación, se deben añadir agentes que también reducen el contenido de humedad y aumentan el volumen de los lodos como: el aserrín, la cáscara de maíz, la composta reciclada, etc. Se debe procurar mantener temperaturas entre 55 y 65°C para asegurar la destrucción de los organismos patógenos; el contenido óptimo de humedad está en el rango de 50 a 60%. En realidad este rango es bajo comparado con el contenido de humedad en los lodos, el cual puede ser reducido por medio de la ayuda de agentes que absorben la humedad como los mencionados anteriormente; el pH óptimo para el crecimiento de la mayoría de bacterias está entre 6 y 7.5 y para los hongos de 5.5 a 8. Con respecto al suministro de oxígeno, las concentraciones óptimas en una masa de composteo son de 5 a 15 por ciento de su volumen. Por último se debe mencionar que la relación deseada de nutrientes, específicamente carbón/nitrógeno es de 30 para un composteo eficiente.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Para llevar a cabo el composteo se han desarrollado dos técnicas que se clasifican como sigue:

- a) Procesos a cielo abierto
 - Hileras
 - Pilas estáticas aeradas
- b) Procesos cerrados

Procesos a cielo abierto. Aunque el proceso de hileras y el de pilas estáticas aeradas siguen las etapas básicas del composteo tienen una gran diferencia: en el método de hileras, el oxígeno se suministra por convección y volteado natural del material con la ayuda de maquinaria o equipo mecánico movible, mientras que en el método de pilas, el oxígeno se induce mediante la circulación forzada de aire en ductos.

Hileras. El proceso de composteo en hileras se conduce a cielo abierto en hileras largas colocadas paralelamente de sección transversal triangular o trapezoidal con anchos típicos de 4.5 m por 1 a 2 m de altura, en donde se realiza el mezclado y se voltean las pilas mediante equipo mecánico una o dos veces a la semana durante períodos de casi 5 semanas. El material puede permanecer allí por un período adicional de 2 a 4 semanas para asegurar su estabilización patológica y biodegradable. Una vez que la composta ha sido estabilizada podrá prepararse y ponerse en venta.

Pilas estáticas aeradas. A diferencia de las hileras, las pilas estáticas no son volteadas sino que su mezclado y aereación se suministra mediante la inyección de aire, esto da una operación más flexible y un control más preciso de las condiciones de oxígeno requeridas en las pilas, además los tiempos requeridos para el composteo tienden a ser ligeramente más cortos y pueden prevenirse las condiciones

anaeróbicas. El lodo a tratar puede ser crudo o digerido. Aunque la degradación de este último es más lenta no tiene el inconveniente de los lodos crudos de producir olores desagradables.

Procesos cerrados. Este tipo de composteo se realiza en contenedores o en tanques cerrados. Los sistemas cerrados también llamados mecánicos se diseñan para minimizar los olores desagradables y los tiempos del proceso, mediante el control de factores ambientales como: el flujo de aire, la temperatura y la concentración de oxígeno. Su gran desventaja está representada por sus altos costo de capital, su uso no ha tenido gran auge en Estados Unidos.

Otras opciones. El lodo puede ser composteado ya sea sólo o en combinación con otros materiales como los fragmentos de madera o los residuos sólidos municipales.

El co-composteo del lodo y los residuos sólidos municipales generalmente no requiere de la deshidratación previa del lodo. Este puede contener de 5 a 12 por ciento de sólidos y la mezcla recomendada se hará en una proporción de dos partes de lodo por una de residuos sólidos. En realidad cualquier cantidad de lodo puede ser mezclada con residuos sólidos aún cuando los lodos se hayan deshidratado, siempre y cuando, los residuos sólidos se clasifiquen y triturén antes de mezclarse.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

TRANSPORTE, ALMACENAMIENTO Y ÉLIMINACION DEFINITIVA DE LODOS

Los lodos tanto crudos como estabilizados resultantes del tratamiento de las aguas residuales, tienen que ser eliminados definitivamente al medio ambiente y se debe procurar que ello, no represente un peligro a la salud pública y al mismo medio ambiente.

En países desarrollados como Estados Unidos y algunos europeos, esa eliminación se ha llevado a cabo tradicionalmente en el suelo y en el oceano.

METODOS DE TRANSPORTE

Los lodos pueden transportarse a los sitios de eliminación mediante cuatro métodos: (1) Bombeo; (2) transporte automotriz; (3) transporte marítimo; y (4) transporte ferroviario.

Bombeo. Este método en general, tiene altos costos de inversión así como de requerimientos de energía, por lo tanto, su uso en el transporte de lodos a grandes distancias, se debe justificar económicamente mediante el bombeo de un volumen constante de lodos y un sitio de eliminación definitiva amplio y de gran vida útil. Normalmente es más económico el bombeo de lodos diluidos que el de lodos espesos ya que disminuye el problema de obstrucción de las tuberías.

Transporte automotriz. El transporte mediante trailers o pipas es el más ampliamente usado por su flexibilidad y economía en unidades de tratamiento de aguas residuales pequeñas que van a eliminar sus lodos en rellenos sanitarios. Este método no requiere de altos costos de inversión inicial y además su operación no es tan compleja.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Transporte marítimo. Para llevar a cabo este método de transporte se han usado barcos o barcazas que son remolcadas. Este método de transporte ha mostrado cierta economía para unidades de tratamiento de aguas residuales con gastos mayores a $4.38 \text{ m}^3/\text{s}$.⁽⁶⁾

Transporte ferroviario. El transporte en tren, se puede emplear para lodos con cualquier consistencia y ha sido económico para aquellos que tienen alto contenido de sólidos, sin embargo, no se justifica económicamente para transportar volúmenes pequeños ni a distancias cortas.

La elección del método de transporte así como sus costos, depende primordialmente de los siguientes factores: (1) la naturaleza, consistencia y cantidad del lodo a transportar; (2) la distancia existente entre el origen y el destino; y (3) la vida útil estimada del sitio donde se va a realizar la eliminación definitiva.

Con objeto de evitar molestias como olores desagradables y diseminación de organismos patógenos, los medios de transporte de los lodos líquidos deberán ser cerrados a excepción de aquellos que transporten lodos estabilizados que pueden ser vehículos abiertos.

ALMACENAMIENTO

En las plantas de tratamiento de aguas residuales se requiere con frecuencia de unidades para el almacenamiento, principalmente de lodos que han sido digeridos anaeróbicamente, para ello se deben construir tanques que además de servir como almacenadores puedan concentrar los lodos y estabilizarlos adicionalmente mediante la continuación de la actividad biológica anaeróbica.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

La profundidad de esos tanques puede variar de 3 a 5 m, y las tasas de carga de 0.1 a 0.25 Kg de SSV/d . m² de área superficial. (6)

ELIMINACION FINAL DE LOS LODOS

La eliminación final tanto de los lodos como de otros sólidos producidos en el tratamiento de las aguas residuales, como ya se mencionó, se puede realizar en el suelo o bien en el oceano, este último método ha perdido popularidad en los países en que se realiza debido a las altas restricciones impuestas por la legislación ambiental.

La aplicación de los lodos en el suelo tiene dos objetivos: (1) la eliminación definitiva de los lodos; y (2) el uso de los nutrientes y la materia orgánica para fertilizar los cultivos y recuperación de suelos. Para el primer caso se pueden emplear los rellenos sanitarios, la aspersion en el suelo y el vertido en lagunas. En el segundo caso, el lodo se considera como un acondicionador, un fertilizante o bien como un elemento de irrigación. A continuación se describirán brevemente los métodos empleados en el primer caso:

a) Rellenos sanitarios. Cuando se disponga de sitios apropiados, se pueden construir rellenos sanitarios para depositar los lodos, grasas, arenas y otros sólidos producidos en el tratamiento de las aguas residuales. El costo del transporte del lodo, indicará si se justifica o no la reducción de su volumen mediante la deshidratación, además el relleno sanitario será más adecuado si se emplea para eliminar conjuntamente con los lodos, los residuos sólidos municipales.

El método consiste en depositar en capas los residuos sólidos y el lodo en un área previamente diseñada e impermeabilizada, compactarlos con algún tipo de maquinaria y

y cubrirlos definitivamente con algún material arcilloso con un espesor mínimo de 30 cm. Si el método se desarrolla correctamente, los problemas de olores desagradables o vectores biológicos serán mínimos. En el diseño, se deberá tomar en cuenta el drenaje del lugar donde se va a ubicar el relleno sanitario ya que los lixiviados producidos podrían causar la contaminación de los mantos acuíferos o los cuerpos superficiales de aguas.

b) Aspersión en suelo. El lodo resultante del composteo o la deshidratación puede eliminarse en el suelo mediante su aspersión en tierras de cultivo. El humus del lodo acondiciona el suelo y mejora la retención de su humedad.

c) Vertido en lagunas. Este método consiste en depositar los lodos ya sea crudos o estabilizados en lagunas. Cuando se depositan lodos crudos, sus sólidos orgánicos se estabilizan por descomposición aeróbica y anaeróbica lo que puede dar origen a situaciones molestas de olores, por ello, las lagunas deben construirse lejanas de los asentamientos humanos. Los lodos pueden almacenarse indefinidamente en las lagunas.

Por otro lado, cuando los lodos van a ser utilizados como fertilizantes o acondicionadores de suelos, el mayor problema lo representa la existencia de un mercado económico del producto.

Cuando se van a aplicar los lodos en el suelo, se deberán tomar en cuenta, además de los objetivos del diseño que ya fueron mencionados, los siguientes factores: las características del lodo, la selección del sitio, las consideraciones del mercado para el producto, los métodos de operación y las tasas de aplicación.

a) Características del lodo. En el diseño de los sistemas de aplicación del lodo en el suelo, los constituyentes más importantes del lodo son los nutrientes (nitrógeno, fósforo y potasio), los metales pesados, las trazas de ciertos elementos, la concentración de organismos patógenos y naturalmente la humedad.

b) Selección del sitio. Una de las etapas más críticas en la aplicación del lodo en el suelo, es encontrar un lugar apropiado, las características del lugar determinarán el diseño y la efectividad de ese método de eliminación.

- Proximidad a áreas críticas. Las áreas críticas son aquellas donde la aplicación de lodo está restringida por mecanismos legales o políticos. Por lo tanto, una característica de los sitios propuestos es su aislamiento a zonas habitadas y cuerpos de agua, ya sea subterráneos o superficiales.
- Accesibilidad del lugar no deberá estar tan aislado de las vías de acceso como el ferrocarril o carreteras, pues la construcción de estas resulta altamente costosa.
- Inclinação. Las pendientes recomendadas en dichos suelos, varían del 5 al 8%, ya que pendientes mayores podrían causar problemas de erosión.
- Recuperación de suelos. En términos de recuperación de suelos o adición del lodo como fertilizante, casi cualquier tipo de suelo, particularmente agrícola puede emplearse para este proceso. El grado en que el lodo puede emplearse depende de sus propiedades físico-químicas.
- Geología. Es de particular importancia llevar a cabo una investigación geológica del suelo donde se va a aplicar el lodo, para definir la naturaleza de los recursos acuíferos

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

así como la presencia de fallas y otros accidentes del sub suelo que podrían ser de interés.

c) Consideraciones del mercado. Se puede decir que son los agricultores los que representan el mercado más próximo de los lodos estabilizados, sin embargo, se debe procurar que el precio del lodo no sea mayor que el de los fertilizantes comerciales en términos de los costos unitarios disponibles (transporte, colocación, tiempo entre aplicación y cosechas).

d) Métodos de operación. Los métodos de operación más comunes son los siguientes:

- Aspersión mediante pipas. Este método es común para la aplicación de lodos líquidos y para ello se usan pipas con ca pacidades de 4 a 8 m³. Las ventajas principales de este método son su bajo costo de inversión y su facilidad de operación.

- Aspersión por bombeo. El lodo puede aplicarse en el suelo mediante sistemas rociadores o aspersores ya sea fijos o por tátiles. Este método presenta las desventajas del alto costo del bombeo y el contacto directo del lodo con los cultivos aunque podría interrumpirse su aplicación antes de la cosecha.

- Canales. Este método tiene básicamente la misma operación que la irrigación de cultivos mediante el uso de canales. Tiene la ventaja de ser simple desde el punto de vista ingenieril y además flexible, sin embargo, su principal desventa ja es que puede producir encharcamiento lo que podría resultar en la generación de condiciones ambientales molestas.

e) Tasas de aplicación. La tasa a la que el lodo puede ser aplicado en suelos agrícolas depende de las características del lodo, tipos de suelo, clima y tipos de cultivos. El contenido de nutrientes particularmente el nitrógeno y el

contenido de trazas de elementos son también factores limitantes en la aplicación del lodo en suelos.⁽⁶⁾

En la tabla IV.7 se presentan las ventajas y desventajas de los procesos más comunes empleados en el tratamiento y eliminación de los lodos.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

TABLA IV.7

VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS PROCESOS MAS COMUNES EMPLEADOS EN EL TRATAMIENTO Y ELIMINACION DE LOS LODOS PRODUCIDOS EN EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES.

OPERACION O PROCESO

PRELIMINAR

Molienda

Desarenado

Mezclado

Almacenamiento

ESPESAMIENTO

Espesamiento por gravedad

Espesamiento por flotación

VENTAJAS

Reducción de tamaño y Protección de equipos

Remoción de arena y Protección de equipos

Homogeneización

Amortiguamiento en la variación de calidad del lodo

Reducción del volumen del lodo

Reducción del volumen del lodo

DESVENTAJAS

Requerimiento de equipo mecánico

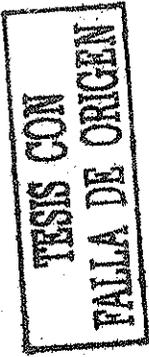
Requerimiento de equipo mecánico

Requerimiento de equipo mecánico

Disponibilidad de área

Requerimiento de equipo mecánico

Mayores costos en comparación al espesamiento por gravedad



OPERACION O PROCESO

Espesamiento por centrifugación

VENTAJAS

Reducción del volumen de lodo

DESVENTAJAS

Altos costos de energía y mantenimiento.
Requerimiento de personal calificado en su operación.

ESTABILIZACION

Estabilización con cal

Menores costos en relación a los demás procesos de estabilización
Simplicidad de operación

Altas dosis de cal
Generación de molestias en caso de mala estabilización

Digestión anaeróbica

Reducción de volumen del lodo. Bajos costos de operación
Reducción de organismos patógenos
Producción de gas metano

Altos costos del capital
Sensibilidad del proceso a cambios ambientales
Requerimiento de personal capacitado en su operación

Digestión aeróbica

Menores costos de capital en relación a la digestión anaeróbica
Producción de un efluente bajo en DBO, sólidos suspendidos y $N-NH_3$
Producción de un lodo con buenas características de deshidratación

Mayores costos de operación en relación a la digestión anaeróbica

Oxidación con cloro

Estabilización de cualquier tipo de lodo

Alto riesgo en su manejo

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

OPERACION O PROCESO

VENTAJAS

DESVENTAJAS

ACONDICIONAMIENTO

Acondicionamiento químico

Producción de un lodo con buenas características de deshidratación mecánica

Requerimiento en ocasiones de altas dosis de coagulantes químicos

Menores consumos de energía en la deshidratación

Elutriación

Menor consumo de coagulantes químicos en la deshidratación del lodo

Producción de efluentes de baja calidad

Tratamiento térmico

Eliminación de organismos patógenos

Producción de un lodo con buenas características de deshidratación mecánica

Altos costos de capital y mantenimiento.

Requerimiento de personal calificado para su operación.

DESHIDRATACION

Filtración al vacío

Reducción de la fracción de agua contenida en el lodo

Altos consumos de energía

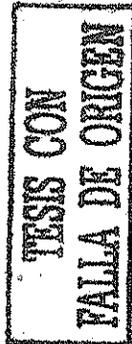
Filtración a presión

Obtención de una pasta con alta concentración de sólidos

Reemplazo constante de telas de filtración

Baja concentración de sólidos en el líquido resultante de la filtración

Mayor requerimiento de mano de obra en relación a otros procesos de deshidratación



OPERACION O PROCESO

VENTAJAS

DESVENTAJAS

DESHIDRATACION

Centrifugación

Alta captura de sólidos. Operación sin acondicionamiento químico previo
Requerimiento de áreas pequeñas para su instalación

Altos costos de capital
Mantenimiento constante del transportador interno del lodo

Lechos de secado

Bajos costos de operación,
Bajos consumos de energía
Simplicidad en su operación

Requerimiento de áreas grandes de terreno
Requerimiento de la digestión previa del lodo

DESECADO CON CALOR

Secado flash

Obtención de lodos con bajo contenido de humedad
Obtención de lodos con buenas características de incineración

Altos costos de capital y mantenimiento

Secado rotatorio

Obtención de lodos con bajo contenido de humedad

Altos costos de capital y mantenimiento

Evaporación de múltiple efecto (proceso de Carver-Greenfield)

Requerimiento de personal capacitado en su operación

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

OPERACION O PROCESO

VENTAJAS

DESVENTAJAS

DESECADO CON CALOR

Secado en horno con quemadores múltiples

Obtención de lodos con bajo contenido de humedad
Capacidad de incineración del lodo

Altos costos de energía y mantenimiento
Alto consumo de energía
Requerimiento de un combustible auxiliar

COMPOSTEO

Composteo de lodos

Reducción del volumen
Recuperación del producto

Disponibilidad de suficientes áreas de terreno

Co-composteo de lodos con residuos sólidos municipales

Reducción del volumen
Recuperación del producto

Disponibilidad de suficientes áreas de terreno
Clasificación previa de los residuos sólidos municipales

REDUCCION TERMICA O PROCESOS DE ALTA TEMPERATURA

Incineración en horno con quemadores múltiples

Reducción máxima del volumen
Recuperación de energía

Altos costos de capital, energía y mantenimiento
Requerimiento de personal capacitado para su operación
Requerimiento de equipo para controlar la contaminación atmosférica

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

OPERACION O PROCESO

VENTAJAS

DESVENTAJAS

REDUCCION TERMICA O PROCESO DE ALTA TEMPERATURA

Horno de lecho fluidizado

Reducción máxima del volumen

Altos costos de capital, energía y mantenimiento
Requerimiento de personal capacitado para su operación

Horno eléctrico

Reducción del volumen

Altos costos de capital y mantenimiento

Co-incineración con residuos sólidos municipales

Menores consumos de energía en relación a otros procesos de incineración

Requerimiento de la clasificación previa de los residuos sólidos municipales

Oxidación con aire húmedo

Reducción del volumen

Altos consumos de energía
Producción de un líquido altamente contaminado

ELIMINACION FINAL

Relleno sanitario

Eliminación final

Disponibilidad de áreas apropiadas
Requerimiento de la estabilización previa del lodo

Aplicación en suelos

Eliminación final
Acondicionamiento y rehabilitación de suelos

Requerimiento de áreas grandes de terreno

Eliminación en lagunas

Eliminación final

Requerimiento de áreas grandes de terreno
Generación de condiciones ambientales desagradables