

Revista de la
Universidad Politécnica
de Puerto Rico

Publicado semestralmente por la Universidad Politécnica de Puerto Rico para difundir los hallazgos de la investigación científica que en ella se hace.

VOL. 3

Junio 1993

NUM. 1

**Compendio sobre diseño de plantas de tratamiento
de aguas negras**

Pedro J. Tejada Ríos, MSE
Profesor Auxiliar

Sinopsis

Este escrito presenta los aspectos básicos y las consideraciones esenciales para diseñar plantas de tratamiento de aguas residuales primordialmente domésticas y que comúnmente llaman aguas negras. Se discute también un programa para diseñar plantas de tratamiento que desarrolló el autor de este artículo. El programa se basa en el lenguaje Basic y corre en computadoras personales IBM o compatibles.

Tejada/Diseño plantas tratamiento aguas negras

Abstract

This article presents the essential considerations for designing wastewater treatment plants. It also introduces a computer program to design wastewater treatment plants. The author used Basic to develop this program, which runs on IBM personal computers or compatibles.

Primera parte: Versión 1.0a del programa para diseño de plantas de tratamiento de aguas negras.

I. Introducción

Este escrito constituye un compendio de los factores básicos y las consideraciones esenciales necesarias para diseñar plantas de tratamiento de aguas residuales primordialmente domésticas y convencionalmente denominadas "aguas negras". El texto es, a su vez, un suplemento al programa computadorizado de diseño que se desarrolló para este propósito. El conjunto está dirigido a:

1. Ahorrarles tiempo a los ingenieros sanitarios y civiles que diseñan plantas de tratamiento de aguas residuales en los cálculos de procesamiento e hidráulica de la planta y beneficiarse de los parámetros y datos básicos en las tabulaciones del programa. Es suficiente cambiar el parámetro indicado en el ejemplo para automáticamente obtener los otros resultados al oprimir la tecla correspondiente.
2. Familiarizar a ingenieros especialistas en otros campos o técnicos de ingeniería con el diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales.
3. Educar a operarios de plantas que quieran aprender más sobre la tecnología y la terminología de su campo.

El texto se divide en seis partes principales, las cuales aparecen en la pantalla que despliega el programa como encasillados (menú principal) al principio del mismo. Los encasillados o ventanillas del menú principal se dividen en subtópicos que aparecen en la pantalla según se reclaman. Los profesionales y técnicos interesados en la materia, al familiarizarse con el programa, podrían estar de acuerdo en que el programa es muy conveniente, flexible y de gran ayuda para ahorrar tiempo al diseñar plantas de tratamiento.

Los modelos usados en los diseños funcionales, operacionales e hidráulicos de la planta corresponden a un modelo de tratamiento terciario para una planta con capacidad de 1.2 mgd., dividida en dos trenes que operan simultáneamente, cada uno con capacidad de 0.6 mgd. La unidad de tratamiento secundario de la planta que se usa como ejemplo en la versión 1.0a del programa consiste de biofiltros tipo torre. El tratamiento por el método de lodos activados se discute en la versión 1.0b de este programa. Igualmente se incorpora el uso de biofiltros anaerobios. Los programas de diseño correspondientes se han preparado para expresarse y obtener resultados en el sistema internacional o métrico. Puede usarse también el sistema inglés, a elección del computador, mediante sencillas conversiones.

Este escrito también incluye un glosario (anejo 1) de los términos más utilizados en esta tecnología para beneficio de quienes no estén familiarizados con los mismos. Además se incluyen los siguientes diseños programados:

1. Diseño funcional - Determinación de capacidades y dimensiones de las unidades de tratamiento.
2. Diseño del proceso de tratamiento - Para seleccionar el tipo de tratamiento más adecuado. Esto incluye el balance de las masas de los componentes de las aguas residuales que se consideran nocivos y se remueven en cada unidad de la planta.

Tejada/Diseño plantas tratamiento aguas negras

3. Procesamiento y disposición de los sólidos removidos.
4. Perfil hidráulico (rasante hidráulica) - Para establecer las elevaciones relativas entre las distintas unidades de la planta.

El programa se desarrolló en el lenguaje Basic. Las fórmulas incorporadas en los cálculos están en el sistema internacional. De la combinación y utilización de los cuatro diseños programados descritos anteriormente se obtienen rápida y precisamente los datos básicos esenciales para la preparar los planos de construcción para la planta.

II. Procesamiento de las aguas negras

A. Preámbulo

Este programa está enfocado hacia el tratamiento de aguas residuales procedentes de zonas residenciales, además de los desperdicios provenientes de las industrias y comercios que usualmente se encuentran en las zonas residenciales. En estas aguas también hay cantidades limitadas de aguas superficiales e infiltración de aguas freáticas a la tubería sanitaria que constituye el sistema de recolección de las aguas domésticas.

Los principales componentes de las aguas negras o residuales son líquidos, sólidos y microorganismos (bacterias). Estas aguas contienen los desperdicios producidos por el hombre en su ambiente, incluyendo materia fecal, sólidos orgánicos e inorgánicos, grasas, aceites y desperdicios industriales que tienen ácidos. Los sólidos pueden estar presentes en flotación, suspensión o dilución.

La interacción de los componentes de las aguas, principalmente la acción de las bacterias sobre la materia orgánica o degradable, crea un producto repulsivo y desagradable en cuanto a su color y olor que, además, es perjudicial a la salud. La descarga de dichas aguas a ríos, estanques, lagos y aguas costaneras deteriora dichos cuerpos, daña la fauna acuática y

resulta en peligros adicionales a la salud y la vida humana. Por lo tanto, para reducir a un mínimo estas condiciones nocivas al ser humano y su ambiente, se ha mejorado notablemente la tecnología para el tratamiento o depuración de las aguas negras de las comunidades urbanas. Todos los tratamientos consisten en remover de las aguas todas las sustancias perjudiciales, principalmente los sólidos orgánicos, antes de que las aguas lleguen a los cuerpos receptores o estuarios.

La calidad de las aguas residuales puede variar según la localización de la comunidad, los usos de los terrenos, el consumo de agua potable y otros factores. Las características principales de las aguas, según determinadas por análisis de laboratorio, se dividen en tres categorías:

- a. Físicas - esto incluye olor, color, sólidos (flotantes, decantables o disueltos) y temperatura.
- b. Químicas - incluye oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, dureza, acidez, grasas y aceites y nutrientes (nitrógeno y fosfatos)
- c. Bacteriológicas - incluye bacterias (principalmente coliformes), algas, virus, protozoarios y hongos.

La concentración de la mayor parte de los elementos que constituyen las categorías "física" y "química" se expresan en miligramos por litro (mg/l). Mientras más alta la concentración, más fuertes las aguas residuales. Las características de las aguas negras es uno de los factores determinantes para seleccionar el tipo de tratamiento y el diseño de las unidades o reactores de una planta de tratamiento.

El flujo medio diario a la planta de tratamiento constituye el segundo factor de gran importancia para seleccionar el tipo de tratamiento a aplicársele a las aguas negras. Este flujo se calcula a base de la población estimada para el período de diseño de la obra. Sin embargo, el flujo varía

Tejada/Diseño plantas tratamiento aguas negras

durante el día, desde un mínimo de 30% hasta un máximo de 300% (aproximadamente) del flujo medio de la semana.

El tipo de tratamiento a seleccionar para una comunidad depende de:

- a. Las características de las aguas afluentes a la planta
- b. El flujo o volumen a procesar
- c. La descarga máxima permisible de los contaminantes principales al cuerpo receptor de las aguas tratadas de acuerdo con las normas establecidas por las autoridades responsables por preservar la buena calidad del ambiente.

Los parámetros principales de la descarga (expresados en mg/l) son¹:

1. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)
2. Demanda química de oxígeno (DQO)
3. Fósforo (P)
4. Nitrógeno (N)
5. Sólidos suspendidos (SS)
6. Sólidos volátiles (SV)

La diferencia entre los parámetros contaminantes, limitados en la descarga, y sus correspondientes a la entrada (características de las aguas residuales) en su estado natural, debe reducirse o absorberse en la planta de tratamiento. Para este propósito, cada unidad ejerce su función física,

¹Para detalle de estos parámetros, vea el glosario.

química o bacteriológica según la tecnología y métodos más modernos en este campo. Por lo tanto, es imperativo preparar un esquema que indique el residual de dichos parámetros a la salida de cada unidad (balance de masas) para determinar el tipo de tratamiento requerido. El programa computadorizado permite calcular con gran rapidez dichos balances.

B. Sistemas de tratamiento

La planta de tratamiento constituye el mecanismo mediante el cual se reducen las condiciones nocivas de las aguas domésticas, industriales o combinadas para que la descarga a los cuerpos de agua receptores esté dentro de los parámetros establecidos por las agencias locales y centrales para el buen control de la salubridad y protección del ambiente. Los índices principales de contaminación son los sólidos contenidos, en sus distintos estados, y la materia orgánica contenida en dichos sólidos, además de los otros componentes antes discutidos. La práctica normal es establecer dichos parámetros en libras/día o kilogramos/día; o sea, cuantitativamente. El peso (masa) afluyente a la planta depende a su vez del caudal de aguas y de la concentración. Por consecuencia, la remoción en la planta es la diferencia entre la masa afluyente y la masa fijada para efluente. Esta relación, expresada en porcentaje, equivale a la eficiencia de la planta.

Por lo tanto, el tipo o sistema de tratamiento a seleccionar depende de la eficiencia requerida. Los sistemas de tratamiento se dividen en cuatro categorías: primario, secundario, terciario y avanzado. Todos los sistemas deben ser seguidos por la desinfección (cloración, ozono, etc) del efluente para eliminar las bacterias y otros microorganismos perjudiciales a la salud.

Dentro del conglomerado de estructuras o unidades que componen la planta se pueden llevar a efecto tres tipos de operaciones: físicas, químicas o biológicas, según se discute a continuación.

- a. Operaciones físicas - son aquellas en que la materia nociva se remueve por gravedad o por fuerzas físicas, tales como las de las cámaras de rejillas, los desarenadores, los clarificadores, los filtros

Tejada/Diseño plantas tratamiento aguas negras

y otros.

- b. Operaciones químicas - son aquellas en que se usan reactivos químicos para el tratamiento, tales como sedimentación con coagulantes (como alúmina y compuestos de hierro), remoción de nutrientes, desinfección y otros.
- c. Operaciones biológicas - son aquellas en que se recurre a la bacteria como aliado para descomponer o estabilizar la materia orgánica. Las bacterias se destruyen por desinfección una vez sirven los propósitos.

Cada tipo o sistema de tratamiento tiene su función y eficiencia, según se describe a continuación:

- a. Primario - se limita principalmente a remover los sólidos flotantes y suspendidos con efectividad de remoción del 50% de los sólidos suspendidos y el 35% de la demanda bioquímica de oxígeno.
- b. Secundario - el tipo primario suplementado, normalmente, por tratamiento biológico como filtros de goteo, con sus modificaciones, en que la bacteria adherida al medio filtrante actúa sobre la materia orgánica en las aguas fluyentes; o suplementado por lodos activados, con sus variaciones, en que las bacterias en suspensión en el líquido actúan por contacto directo con la suspensión al mezclarse. La efectividad de remoción de este tipo de tratamiento es del 85% de los sólidos suspendidos y el 85% de la demanda bioquímica de oxígeno.
- c. Terciario - el tipo secundario seguido por unidades de operación física para remover la mayor cantidad de sólidos, tales como los filtros finos de arena o mecánicos o la incorporación de reactores químicos para eliminar nutrientes y de sistemas para elevar el nivel de oxigenación del efluente de la planta y otros. Para este

tipo de tratamiento la eficiencia puede alcanzar un 95%.

- d. Avanzado - es la optimización del tratamiento terciario, en el cual se pueden alcanzar eficiencias de hasta un 95%.

La selección del tipo de tratamiento depende de las exigencias del uso designado del cuerpo de agua receptor.

El anejo 2 presenta los planos de esquemáticos de una planta de tratamiento diseñada por el autor del programa. Aunque la planta es del tipo terciario, el esquema se divide en tres partes para los fines de ejemplos de los primeros tres tipos antes discutidos. Los cómputos que se presentan también corresponden al diseño funcional de esta planta que sirve como ejemplo. No obstante, el programa computadorizado puede ajustarse al variar los parámetros principales y obtener automáticamente los restantes datos deseados. Los perfiles correspondientes de la planta y cómputos relacionados con el diseño se incluyen en otra sección del programa. Por conveniencia, la planta esquemática se presenta en forma monolineal. Se indican las unidades y reactores duplicados para proveer mayor flexibilidad en la operación.

C. Criterios de diseño

Una vez establecido el tipo de tratamiento requerido (primario, secundario, terciario, etc.), dependiendo de las características de las aguas a tratarse y los requisitos de la descarga, el diseñador establece sus criterios de diseño basados en experiencias y reglamentos vigentes o recomendados por otros expertos en la materia. Los criterios de diseño deben considerar, además del tipo y la eficiencia, otros factores como flexibilidad en la operación para casos de emergencia, costos vs. economía, inversión inicial de capital, expansiones futuras, etc. La tabla 1 presenta los criterios utilizados para la planta que sirve como ejemplo en este escrito. Se indica que en esta planta se utilizan las cámaras de cloración no solamente para desinfección, pero a la vez como tratamiento terciario para remover el

Tejada/Diseño plantas tratamiento aguas negras

nitrógeno excesivo a la entrada de la planta.

Queda establecido que el tipo de tratamiento a utilizarse lo determinan los parámetros fijados para el efluente de la planta y las características del influente a la misma. La tabla 2 contiene los parámetros de los componentes principales en las aguas para la planta usada como ejemplo en este programa. Se observa que esta planta requirió ser una del tipo terciario, seguido por otras aplicaciones para conseguir mayor eficiencia y la remoción de nitrógeno en exceso en las aguas a la entrada de la planta.

A continuación se presentan otros datos relacionados con la planta que se describe en la tabla 2.

A. Período de diseño hasta el 2000	
B. Población de 13,190	
C. Flujos (m ³ /día)	Carga
1. Pozos sépticos-----	227
2. Aguas domésticas	
a. Mínimo-----	1363
b. Promedio diario-----	4542
c. Máximo diario-----	9084
d. Hora máxima-----	12869
D. Características	
1. Pozos sépticos	
a. Sólidos suspendidos (15,000 ppm)-----	341 kg/día
b. Demanda bioquímica de oxígeno (7,000 ppm)--	159 kg/día
2. Aguas domésticas	
a. Sólidos suspendidos (325 ppm)-----	1182 kg/día
b. Demanda bioquímica oxígeno (300 ppm)-----	1226 kg/día
3. Compuesto	
a. Sólidos suspendidos-----	1523 kg/día
b. Demanda bioquímica de oxígeno-----	1385 kg/día

Tabla 1. Criterios de diseño

Unidad	Criterios por unidad		
	Recomendado	Referencia	A usar (Input)
a. Pre-tratamiento			
Triturador	?		?
Rejas	?		?
Desarenadores	?		?
b. Clarificador primario			
Retención (hr)	1.5 - 2.5	² 2	?
Area (m ²)			
Profundidad (m)	3.0 - 3.66	³	?
Desplazamiento (m ³ /D/m ²)	32 - 41		?
Descarga sobre vertedero (m ³ /m)	125 - 185	²	?
c. Biofiltro			
Carga orgánica (DBO-kg/ m ³ /día)	0.4 - 1.3	³	?
Carga hidráulica (m ³ / m ²)	0.01 - 0.05	³	?
D. Clarificador final			
Retención (hr)	?	²	?
Area (m ²)			
Profundidad (m)	3.00 - 3.66	²	?
Desplazamiento (m ³ /D/m ²)	16 - 25	³	?
Descarga sobre vertedero (m ³ / m)	125 - 185	³	?
E. Filtros de arena			
Tipo	?		
Carga hidráulica (m ³ /m ² / min)	0.08 - 0.33	³	?
F. Cámaras de cloración			
Retención (hr)	0.17 - 0.25	⁴	?
G. Tanque de aereación			
Retención (hr)	0.17 - 0.25	³	
Aplicación oxígeno Residual	5 mg/l	⁴	?

²Tejada, P.J y Flavia, D., 1992, *Programa Computadorizado*, San Juan, P.R.

³U.S. Dept. of the Army, Navy and the Air Force, 1982, *Operation and Maintenance of Domestic and Industrial Wastewater Systems*, Washington, DC.

⁴Brater, E. and King, H., 1976, *Handbook of Hydraulics*, Michigan, USA.

Tejada/Diseño plantas tratamiento aguas negras

Tabla 2. Planta de tratamiento de aguas negras, Lares, P.R
Parámetros

Componente	Características Influyente		Parámetro Descarga Media mensual		A Usar (Input)
	mg/l	kg/D	mg/l	kg	Q = ?
Q=4565 m ³ /D					
DBO	303.3	1385	30		?
Sólidos suspendidos	333.5	1523	30		?
Amoniaco (NH ₃)	29.4	134			?
Nitrato	0.0	0			?
Nitrógeno total	39.5	180	10		?
Fósforo (P)	18.0	82	1		?

III. Procesamiento de los sólidos

A. Preámbulo

La función principal del tratamiento de las aguas negras es la separación de los sólidos del líquido, principalmente los sólidos orgánicos, para evitar que éstos, durante su presencia en el líquido, al descomponerse, creen condiciones sépticas que den lugar a condiciones nocivas en cuanto a olores y colores displicentes al cuerpo de agua receptor y, por consecuencia, al ambiente de los humanos. La descomposición la realizan bacterias en el agua en presencia o ausencia de oxígeno disuelto en las aguas (aerobia o anaerobia). Por lo tanto, es imperativo remover la mayor cantidad de sólidos posible por métodos físicos o químicos para obtener un efluente que satisfaga los parámetros establecidos. Los sólidos, una vez separados del líquido conocido como cieno, deben tratarse y acondicionarse antes de disponer finalmente de ellos, sin crear problemas de otra índole.

B. Acondicionamiento y concentración

El cieno (sólidos decantados), una vez removido de las unidades de sedimentación, se transfiere a reactores para estabilizarlo finalmente. En su curso se puede tratar para concentrarlo lo más posible. Para ello se pueden

utilizar distintos medios, tales como:

1. Unidades de acción física - tanques espesadores con mecanismos rotativos de baja velocidad, que permitan mayor decantación o mecanismos de alta velocidad como la centrífuga.
2. Uso de polímeros u otros reactivos químicos que ayuden a la decantación.

Una vez concentrado en las formas mencionadas, el cieno se transfiere finalmente a digestores, donde se estabiliza (la materia orgánica totalmente destruida) o se conduce a incineradores donde todos los sólidos se queman y se reducen a cenizas. Se recomienda que los digestores se diseñen para un tiempo de retención de no menos de 15 días, cuando éstos son del tipo anaerobio.

C. Secado del cieno

El cieno, una vez concentrado a su máximo y estabilizado, se somete a fuerzas adicionales (físicas o mecánicas) para removerle el agua a un máximo antes de acarrearlo a su punto de disposición final con un volumen mínimo. Los métodos más comunes para estos fines son los siguientes:

1. Cámaras para secado por gravedad, donde el agua en la masa se percola a través de capas de piedra fina y arena reteniéndose los sólidos en la superficie.
2. Cámaras para secado por gravedad, auxiliadas por la creación de vacío en el fondo (succión) por métodos mecánicos.
3. Prensas mecánicas para secar por presión o succión.
4. Incineradores para evaporar la humedad totalmente y convertir el producto final a cenizas.

Tejada/Diseño plantas tratamiento aguas negras

El anejo 2 también incluye una ilustración de la cámara de secado por gravedad diseñada para la planta que se ha usado como base para el desarrollo del programa que presenta este escrito.

D. Disposición final

Los sólidos, una vez secados a su máximo, hasta un contenido de humedad aceptable, se acarrean fuera de las unidades de tratamiento para depositarlos en vertederos. En el caso de incineración se depositan en forma de cenizas. Los sólidos secos normalmente se entierran con el sistema de relleno sanitario, sea en vertederos municipales o privados. En los depósitos municipales es muy común utilizar el mismo vertedero usado para disponer de la basura. También estos sólidos se pueden usar como fertilizantes en terrenos agrícolas.

Otra alternativa para disponer de los sólidos es usarlos para rellenar terrenos bajos, tomándose las debidas precauciones para evitar la contaminación del subsuelo y acuíferos o crear otros problemas. En todo momento el relleno debe ser controlado, cubriéndose los sólidos con capas de arena de unos 30 centímetros de espesor para evitar criaderos de moscas y otros insectos dañinos.

E. Parámetros y criterios de diseño

Los parámetros a establecerse para el secado óptimo del cieno y el volumen total de sólidos secos a removerse de la planta depende de varios factores, según mencionado en la sección anterior. Entre éstos se encuentran la humedad en el cieno de por sí, la humedad en el ambiente; el sistema de secado seleccionado y, por consecuencia, los costos. Esto afecta, por lo tanto, los criterios de diseño que el ingeniero seleccione, que deben ser a base de las experiencias anteriores, el conocimiento de la localidad y los estudios de laboratorio o por comparaciones con referencias confiables. Un factor importante es el porcentaje de humedad en el cieno a la salida de los digestores. Dicha concentración de cieno, en el caso de un digestor

anaerobio, una vez terminado su periodo de retención, se acepta normalmente en un 5%. Esta concentración es la que se ha usado en la planta que sirve como ejemplo en este programa. La tabla 3 presenta los criterios de diseño.

Tabla 3. Criterios de diseño

Unidad	Criterios por unidad		
	Recomendado	Fuente	A usar (Input)
Remoción y disposición del cieno			
Volumen de cieno (m^3 / D)	?		?
Primario (4% conc.)			
Secundario (1.5 % conc.)			
Digestor (anaerobio)			
% Sólidos volátiles (SV)	0.65		
Carga SV (kg / día)			?
Carga SV (kg /D/ m^2)			?
Lechos secado cieno (cubiertos)			
Concentración de sólidos	4%		?
Intérvalo de aplicación	2 / mes		?
Volumen / aplicación (50% cap digestor- m^3)	?		
Dosificación (m^3/m^2)			?

El secado final, por lo regular, se obtiene en lechos de cieno, ya que la incineración está estrictamente regulada por normas y parámetros, lo cual resulta demasiado costoso para plantas de poca o mediana capacidad. Los lechos pueden ser cubiertos o descubiertos, en cuyo caso la aplicación del cieno (o dosificación) a ellas varía.

IV. Hidráulica de la planta

A. Preámbulo

De la misma forma que saber las cualidades químicas de las aguas negras es vital para que el diseñador de plantas determine el tipo de tratamiento que va a usar, también es importante saber sobre hidráulica o comportamiento mecánico del fluido a través de las unidades de la planta para controlar la buena operación de la planta. La aplicación correcta de los

Tejada/Diseño plantas tratamiento aguas negras

principios de hidráulica establece el llamado "perfil hidráulico" de la planta, o sea, la elevación relativa entre las distintas unidades de la planta de manera que no ocurran reflujos o desbordamientos en ninguna de las unidades o sus componentes. Los componentes principales a considerar y analizar son:

- a. Tubería o conductos que conecten las distintas unidades o reactores
- b. Canales de entrada y salida en las unidades
- c. Vertederos de entrada y salida
- d. Mecanismos hidráulicos que formen parte del equipo de la planta, como el distribuidor en los filtros percolantes
- e. Compuertas, válvulas y otros aditamentos que el diseñador considere conveniente para el buen funcionamiento del sistema
- f. Bombas, cuando se requieran

El perfil hidráulico o diferencia de elevación a través de la planta, desde su entrada hasta la descarga, depende de los flujos (máximos y mínimos), tamaños y pendientes de los conductos y otras consideraciones. La sección B, a continuación, presenta los datos técnicos relacionados con la planta.

B. Tubería y conductos

Las interconexiones entre las distintas unidades de la planta se hacen normalmente con tubos soterrados, cuyos diámetros dependen de los flujos de diseño, velocidades permisibles y desniveles requeridos para el libre movimiento de las aguas sin ocasionar excesivos movimientos de tierra.

Para conseguir un balance económico y eficiente es necesario determinar las pérdidas por fricción en las tuberías, incluyendo acopladuras y demás pertenencias tales como válvulas, vertederos y otras.

Para determinar dichas pérdidas las fórmulas más utilizadas son:

1. Darcy, para tubos
$$H_f = \frac{f \left(\frac{L}{D}\right) V^2}{2g} \quad (1)$$

2. Manning, para canales
$$V = \frac{1.486 S^{0.5} R^{0.667}}{n} \quad (2)$$

3. Francis, para vertederos rectangulares
$$-Q = C L H^{1.5} \quad (3)$$

En las fórmulas anteriores los símbolos representan:

H_f pérdida en carga por motivo de fricción

f coeficiente de fricción de la tubería

L largo total del conducto

D diámetro del tubo en pies

g aceleración de gravedad=32.2 pies/segundo

V velocidad en pies/segundo

S pendiente hidráulica

R radio hidráulico

Tejada/Diseño plantas tratamiento aguas negras

C coeficiente (3.33 aprox.)

H altura de agua sobre cresta del vertedero

C. Descargas y velocidades

La velocidad del agua en un tubo es directamente proporcional al flujo e inversamente proporcional a la raíz cuadrada del diámetro del tubo. Por lo tanto, no se puede separar una de la otra al analizar la hidráulica de la planta. La velocidad además depende de la pendiente de la tubería. Por esta razón, se incluyen nomografías relacionando pendientes y diámetros para determinar las descargas y velocidades en los conductos tubulares, gráficas para determinar descargas y velocidades proporcionadas al porcentaje de profundidad del fluido en un tubo de determinado diámetro, gráficas para determinar pérdidas por fricción en la tubería a través de acopladuras, válvulas y otros (anejo 3).

D. Cómputos

En esta sección del programa se procede directamente con los cómputos para establecer el perfil hidráulico de la planta. Las cifras indicadas en dicho ejemplo corresponden a las de la planta usada como ejemplo en la parte descrita en la sección "Procesamiento de las aguas". El diseñador puede substituir los parámetros básicos por los deseados y obtener los nuevos resultados para su caso específico.

Las tablas 4, 5 y 6 describen el perfil hidráulico de la planta en forma tabulada, información que se obtiene mediante el programa computadorizado de hidráulica. El programa de hidráulica, combinado con el de diseño funcional, facilita el diseño de la planta en un tiempo sorprendentemente corto.

Tabla 4. Información que se obtiene del programa
Perfil hidráulico - Tratamiento primario

Estructura	Flujo (pcs)		Conducto		Velocidad (p/n)		Pérdida en carga	Nivel de agua
	Máx.	Min.	Largo	Sec.	Máx.	Min.		
Caja divisoria								
I. Distancias								
Horizontal								
Vertical								
Piezas								
Subtotal								
b. Pérdida fricción								
c. Caída libre								
d. Otras								
e. Total								
II. Cámaras rejadas								
a. Distancias								
Horizontal								
Vertical								
Piezas								
Subtotal								
b. Pérdida fricción								
c. Caída libre								
d. Otras								
e. Total								
III. Clarificador primario								

Tejada/Diseño plantas tratamiento aguas negras

Tabla 5. (Continuación) Información que se obtiene del programa
Perfil hidráulico - Tratamiento secundario

Estructura	Flujo (pcs)		Conducto		Velocidad (p/n)		Pérdida en carga	Nivel de agua
	Máx.	Mín.	Largo	Sec.	Máx.	Mín.		
I. Clarificador								
primario								
a. Distancias								
Horizontal								
Vertical								
Piezas								
Subtotal								
b. Pérdida fricción								
c. Caída libre								
d. Otras								
e. Total								
II. Filtro de goteo								
a. Distancias								
Horizontal								
Vertical								
Piezas								
Subtotal								
b. Pérdida fricción								
c. Caída libre								
d. Otras								
e. Total								
III. Clarificador final								

Tabla 6. (Continuación) Información que se obtiene del programa
Perfil hidráulico - Tratamiento terciario

Estructura	Flujo (pcs)		Conducto		Velocidad (p/n)		Pérdida en carga	Nivel de agua
	Máx.	Mín.	Largo	Sec.	Máx.	Mín.		
I. Clarificador final								
II. Filtro de arena								
III. Cámaras de cloración								
IV. Tanques de aireación								
V. Troncal de descarga								

**Segunda parte: Versión 1.0b del programa para diseño de plantas para
tratamiento de aguas negras: Sistema de lodos activados**

I. Introducción

En la sección "Procesamiento de las aguas" se hizo un breve resumen de los sistemas o tipos de tratamiento para las aguas residuales con el fin de obtener descargas de las plantas a los cuerpos receptores que no resulten perjudiciales al ambiente. Se estipuló que el tratamiento secundario consiste de métodos biológicos, subsiguientes al tratamiento primario, para remover los sólidos orgánicos coloidales o disueltos. También se mencionó que los sistemas más comúnmente usados en este tipo de tratamiento son los biofiltros o el sistema de lodos activados, con sus variaciones, para tratar de lograr los objetivos perseguidos.

En los biofiltros, los crecimientos o colonias bacterianas se forman en superficies fijas, como las paredes del medio filtrante, para absorber los sólidos en el agua. En los lodos activados la agrupación de los microorganismos ocurre en el líquido mismo, manteniéndose en suspensión y contacto directo con el líquido para absorber los sólidos. Ambos sistemas son aerobios (con la presencia forzosa de oxígeno). El modelo anteriormente escogido como ejemplo para tratamiento secundario fue el

Tejada/Diseño plantas tratamiento aguas negras

de una planta con biofiltros aerobios como medio filtrante plástico.

A continuación se discute el sistema de tratamiento de lodos activados como tratamiento secundario; quizás el preferido, aunque el más complicado de todos, por su eficiencia para rendir un producto de alta calidad pero requiriendo alta tecnología.

II. Descripción del proceso

El sistema de lodos (cieno) activados es un tratamiento secundario, biológico, y en el cual la presencia de oxígeno disuelto es imperativo. El oxígeno se puede tomar directamente del aire u obtenerlo en forma comercial más pura, como el ozono. Las unidades de lodos activados pueden estar precedidas por clarificadores primarios o no, dependiendo de las características de las aguas a tratarse. No obstante, dichas unidades deben estar precedidas por las de pretratamiento, como rejillas y desmenuzadores y las que sean adecuadas para remover el máximo posible de arena y otros sólidos inertes.

Igualmente, las unidades de procesamiento deben estar seguidas por clarificadores finales donde se acumule el cieno por sedimentación y se airee para estimular el crecimiento de bacterias y otros microorganismos. Luego el cieno se devuelve a la entrada del sistema para entrar en contacto con las aguas crudas, con los sólidos orgánicos, incluyendo los no decantables o en estado coloidal. Las unidades principales del sistema son el tanque de aireación y el clarificador final.

Los microorganismos deben mantenerse activos continuamente en todo el sistema. Por lo tanto, la presencia de oxígeno disuelto, alimento y nutrientes (carbono, nitrógeno y fósforo) a un nivel adecuado es necesaria para tales fines. El alimento (materia orgánica) y los nutrientes por lo general se encuentran presentes en las aguas crudas.

El oxígeno se puede inyectar mediante difusores o aireadores

mecánicos. Las agrupaciones de bacterias, al absorber los sólidos, aumentan en tamaño y peso y, por consecuencia, aumenta la precipitación natural en el clarificador final. Desde cierto punto de vista, se puede comparar este sistema con uno de floculación química. En este caso el agente aglutinante lo constituyen las bacterias y los otros microorganismos.

En síntesis, se puede describir el proceso como sigue:

Los núcleos decantados en el clarificador final se remueven, se reairean y se devuelven a la entrada de la planta donde se ponen en contacto con el flujo de entrada, se activan conjuntamente, y se repite la operación creándose un ciclo de operación para procesar el afluente.

En este proceso el contacto de la bacteria aerobia con el líquido y, por consecuencia, con los sólidos en el mismo, es más directo y de mayor duración que en el sistema de biofiltros. Por dicha razón es de esperarse que la remoción de sólidos totales y orgánicos sea a su vez mayor.

Cuando en una planta con tratamiento secundario, bien operada, se puede conseguir una remoción de sólidos de un 85% usando biofiltros, con el sistema de lodos activados se puede alcanzar una remoción de 95%.

En la misma forma que se remueve mayor cantidad del total de sólidos suspendidos en las aguas se reduce la cantidad de sólidos de naturaleza orgánica en la descarga y disminuye el daño producido a los cuerpos receptores. Lo mismo se puede aplicar en cuanto a la reducción de nutrientes como el nitrógeno y el fósforo.

Como en toda reacción química o biológica, el sistema de lodos activados es bien susceptible al ambiente, principalmente a la temperatura. Se debe observar y controlar por métodos de laboratorio la formación y crecimiento de los conglomerados formados por los microorganismos (bacterias y otros) y los sólidos en el líquido para obtener una precipitación

Tejada/Diseño plantas tratamiento aguas negras

óptima y conseguir la proporción o dosificación más adecuada de la mezcla para la planta en particular.

No se deben establecer parámetros o criterios específicos sin estar debidamente respaldados por los resultados de los análisis de laboratorio. Naturalmente, no son iguales las reacciones en una zona templada que en una tropical.

III. Diseño funcional

Según se menciona en el tópico anterior, hay distintos tipos o modificaciones dentro del sistema de lodos activados. Los más usados son:

1. Método convencional (conventional)
2. Aireación escalonada (step aeration)
3. Estabilización por contacto (contact stabilization)
4. Aireación extendida (extended aeration)

Aunque el principio del sistema de tratamiento es el mismo, sin embargo los métodos de operación difieren. Por consecuencia, los criterios de diseño varían, no solamente por las razones antes expuestas, sino a la vez por los distintos tipos. Los criterios recomendados para un tipo no rigen necesariamente para otro.

Los parámetros principales a considerar para el diseño de las unidades del sistema son:

1. Flujo entrada a la planta (Q)
2. Porcentaje de cieno regresado a unidad de entrada (Q_r/Q)

3. Tiempo de retención en tanque de aireación (hr)
4. Tiempo de contacto en cámara de mezcla (hr)
5. Carga orgánica unitaria (masa DBO/unidad de volumen de aireación)
6. Factor "F/M" (masa DBO/masa de sólidos volátiles suspendidos en la mezcla) (por día).
7. Oxígeno requerido (masa O_2 /masa DBO) (por unidad tiempo).
8. Tiempo retención en clarificador final (hr)
9. Tiempo retención en digestor (días)

En este documento se usa como ejemplo una planta de lodos activados del tipo "estabilización por contacto". Dicha planta se encuentra ya en operación en un sector de municipio de Río Grande, P.R. La planta tiene capacidad total para 0.50 mgd, pero los cálculos presentados en el programa son para una ampliación de 0.25 mgd.

Este tipo de modificación del sistema general de lodos activados se recomienda para el diseño de plantas relativamente pequeñas. Los criterios de diseño aquí presentados y discutidos son los usados para esta planta en particular, pero los presentados en el programa computadorizado son aplicables a cualquier sistema, si se saben aplicar debidamente.

Tejada/Diseño plantas tratamiento aguas negras

Ejemplo: Datos para diseño de la planta tratamiento de aguas negras de Río Grande Estates, P.R., para un período de diseño hasta el año 2000.

A. Flujos (m ³ /día)	carga
1. Pozos sépticos	n/a
2. Aguas domésticas	
a. Mínimo	284
b. Promedio diario	946
c. Hora máxima	3028
B. Características	
1. Pozos sépticos	n/a
a. Sólidos suspendidos	
b. Demanda bioquímica de oxígeno	
2. Aguas domésticas	
a. Sólidos suspendidos (159 ppm)	174 kg/d
b. Demanda bioquímica oxígeno (221 ppm)	217 kg/d
3. Compuesto	
a. Sólidos suspendidos	174 kg/d
b. Demanda bioquímica de oxígeno	217 kg/d

La planta de lodos activados de "Río Grande Estates" consiste de dos trenes, para operar paralelamente, con capacidad de cerca de 950 metros cúbicos por día. Las unidades de la planta estaban ya construidas en hormigón a la fecha en que se establecieron los criterios de diseño. Por tal razón, los criterios de diseño utilizados no están dentro de los parámetros recomendados para este tipo de planta para el flujo predeterminado, en algunos casos (tabla 7).

Tabla 7. Criterios diseño, estabilización por contacto, Río Grande Estates⁵

Unidad	Recomendado	Ref.	Usar (input)
I. Pre-tratamiento			
Triturador	?		?
Rejas	?		?
Desarenadores	?	⁵	vórtice
II. Clarificador primario			
Retención (hr)	1.5 - 2.5	⁶	?
Area (m ²)	3.0 - 3.66	⁶	?
Profundidad (m)	32 - 41	⁷	?
Desplazamiento (m ³ / D / m ²)	125 - 185	⁶	?
Descarga sobre vertedero (m ³ /m)			
III. Lodos activados			
Flujo entrada (Q)	?	N/A	946
Recirculación de lodo (%)	0.50 - 1.50	⁸	0.75
Tiempo de retención tanque aireación (hr)	4 - 8	⁸	7
Tiempo contacto mezcla (hr)	0.5 - 1	⁸	1.5
Carga orgánica unitaria (kg DBO / m ³)	0.6 - 1.0	⁸	1.0
Factor "F/M"	0.15 - 0.50	⁶	0.10
Oxígeno requerido [kg / (kg DBO)]	1.1	⁶	1.1
Tiempo retención clarificador final (hr)	1 - 2	⁸	2.5
Tiempo retención digestor (días)	15 - 20	⁷	20 (medio)
IV. Clarificador final			
Retención (hr)	1 - 2	⁸	2.5
Profundidad (m)	3.35	⁷	2.59
Desplazamiento superficial (m ³ /D/ m ²)	12 - 41	⁷	14.0
Descarga media sobre vertedero (m ³ / m)	125 - 250	⁷	64

⁵ Tejada, P., 1988, *Engineering Report on the Expansion to the Rio Grande Wastewater Treatment Plant*, San Juan, P.R.

⁶ Metcalf & Eddy, 1979, *Wastewater Engineering-Treatment, Disposal, Reuse*, McGraw Hill, Inc.

⁷ Water Pollution Control Federation, 1982, *WPCF Manual of Practice No. 8*, U.S.A.

⁸ U.S. Department of the Army, the Navy and the Air Force, 1982, *Operation and Maintenance of Domestic and Industrial Wastewater Systems*, Washington, DC.

Tejada/Diseño plantas tratamiento aguas negras

IV. Procesamiento de los sólidos

La separación o remoción de los sólidos en el proceso de lodos activados es mayor que en el de biofiltros, cuando la planta opera bien. Pero la mayor parte de estos sólidos se mantienen en circulación dentro de las unidades de procesamiento. La cantidad de sólidos a mantenerse dentro del sistema depende del factor "F/M" establecido, según el criterio, o ajustado de acuerdo a los resultados de laboratorio, para alcanzar el objetivo perseguido. Dicho factor a su vez depende de la concentración de sólidos volátiles en las aguas. Este factor varía también con el tipo o modificación seleccionado dentro del sistema de lodos activados, tal como se describió anteriormente.

Los criterios limitantes recomendados (parámetros) para cada tipo mencionado se incluyen en la parte II de este documento, "programación". Basado en la concentración de los sólidos suspendidos (SS) en las aguas afluentes, el tipo de tratamiento dentro del sistema y el factor "F/M" se puede estimar el volumen de cieno a recircular y, por consecuencia, aquel a remover diariamente del sistema (QW). El cieno a removerse del sistema se retiene en el digester hasta conseguir una estabilización adecuada y luego se remueve para su disposición final. Este cieno (QW) tiene una concentración de sólidos relativamente baja. Por su alto contenido de agua se recomienda, en caso de plantas grandes, desecar los cienos antes de disponer de éstos, sea mediante centrifugas, filtros de presión (o succión), o incineración. De no usarse incineración, el cieno se deseca finalmente en lechos, antes de acarrearlo fuera de la planta, en cuyo caso el diseñador puede usar el mismo programa utilizado anteriormente para los cálculos correspondientes.

V. Hidráulica de la planta

Además de rendir un efluente con menores concentraciones de "DBO" y "SS", la planta de tratamiento de lodos activados ofrece la ventaja de requerir mucho menos pendiente en la rasante hidráulica para el procesamiento de las aguas que el sistema de biofiltros. Se puede observar de los dos ejemplos discutidos en este documento que mientras el desnivel requerido desde la cámara de entrada a la planta hasta el clarificador final es de 11.4 metros en la de biofiltros, el requerido en la de lodos activados es de solamente 0.4 metros. Esto se debe, principalmente, a la presión o carga estática requerida en la columna de entrada al filtro para lograr que el distribuidor del líquido sobre la superficie del mismo gire a la velocidad adecuada. También se debe considerar el espesor o profundidad del medio filtrante, si el sistema funciona por gravedad. El desnivel de la rasante hidráulica en la planta de biofiltros se puede reducir mediante la incorporación de una estación de bombeo precediendo los filtros, pero esto equivale a otra unidad adicional dentro del sistema.

El sistema de lodos activados, al requerir tan baja pérdida en la carga hidráulica, permite agrupar las unidades de tratamiento hasta hacer posible la instalación de las mismas en forma compacta, irrespectivamente del caudal en la planta. La instalación de paredes comunes entre las unidades de tratamiento es común y corriente. Por lo tanto, el tamaño de la parcela de ubicación para una planta de lodos activados es menor que la requerida para la de una de biofiltros de igual capacidad. Igualmente, los rasgos topográficos de la parcela pueden ser más llanos y los niveles del flujo a través de la planta prácticamente iguales al de los terrenos adyacentes, si éstos no son inundables. Por consiguiente, estando las unidades de la planta adyacentes unas a las otras, se puede conseguir la transferencia del líquido de una a la otra mediante vertederos, rectangulares o triangulares, u otros medios hidráulicos sencillos que no justifican la preparación de un programa especial para los cálculos.

Tejada/Diseño plantas tratamiento aguas negras

Anejo 1. Glosario

acre pie (acre-foot)

volumen de agua requerido para cubrir una superficie de un acre con una profundidad de 1 pie; 43,560 pies cúbicos (1233.5 metros cúbicos)

aireación(aeration)

poner el líquido en contacto con aire, ya sea por difusión o por agitación del líquido para exponer la superficie.

aireación, tiempo de (aeration time)

tiempo estimado de contacto entre el líquido y el aire para conseguir la absorción de oxígeno calculada.

aerobia, bacteria (aerobic bacteria)

bacteria que vive y se reproduce en ambiente que contenga oxígeno (libre o aire) disuelto en agua, para su respiración.

aeróbica, descomposición (aerobic decomposition)

descomposición o destrucción de la materia orgánica con la presencia de aire u oxígeno.

aeróbico (aerobic)

condición bajo la cual el aire u oxígeno libre se encuentra en contacto.

aeróbico, proceso (aerobic process)

sistema de tratamiento de las aguas negras que se conduce bajo condiciones aeróbicas (en presencia de aire u oxígeno)

aguas domésticas (domestic wastewater)

aguas negras de procedencia residencial principalmente.

Tejada/Diseño plantas tratamiento aguas negras

aguas industriales (industrial wastewater)
aguas residuales procedentes de las industrias y la manufactura.

alcalinidad (alkalinity)
el contenido alcalino de una sustancia (agua o líquido).

amoníaco (ammonia)
la combinación química de nitrógeno (N) e hidrógeno (H).

anaerobia, bacteria (anaerobic bacteria)
bacteria que vive y se reproduce en ambiente libre de oxígeno (libre o aire).

anaeróbica, descomposición (anaerobic decomposition)
descomposición o destrucción de la materia orgánica en ausencia de aire y oxígeno libre.

anaeróbica, digestión (anaerobic digestion)
descomposición de la materia orgánica en los sólidos del cieno (agua y líquido) en tanque cerrado, bajo condiciones anaeróbicas.

anaeróbico (anaerobic)
condición bajo la cual no están presentes ni aire ni oxígeno libres.

asperidad, coeficiente de (roughness coefficient)
número representativo de la pérdida de energía en un conducto debido a la aspereza de sus paredes, utilizado en las fórmulas de Kutter y Manning. (f,n)

borda libre (freeboard)
la distancia vertical entre el nivel del agua y el borde superior de un tanque.

cámara de remoción de arena (grit chamber)

pequeña estructura, por lo regular a la entrada de la planta de tratamiento, que permite la reducción en velocidad para lograr la separación de los sólidos inertes de los orgánicos a base de gravedad.

canal Parshall (Parshall flume)

canal abierto, medidor de flujo, contraído en una sección o garganta de su largo y en proporción. Lleva el nombre de su inventor.

carbón activado (activated carbon)

partículas obtenidas al quemar materia celulosa en la ausencia de aire y que tiene alta capacidad de absorción.

carbohidratos (carbohydrates)

compuestos orgánicos que contienen carbón, hidrógeno y oxígeno.

carga hidráulica (head)

altura o nivel libre de las aguas en un sistema hidráulico, como la planta de tratamiento, expresado en pies o metros. La carga total es consecuencia de las cargas dinámicas y estáticas y la pérdida por fricción.

carga (load)

masa cuantitativa aplicada a cualquier unidad o reactor de la planta de tratamiento en determinado momento. Puede ser hidráulica o contaminante y constituye un factor determinante en el diseño de la planta.

carga, pérdida de (head loss)

diferencia o pérdida en nivel de agua entre dos puntos, ocasionada por la fricción u obstrucciones en el curso del flujo.

Tejada/Diseño plantas tratamiento aguas negras

carga contaminante (pollutional load)

la carga contaminante, generalmente de carácter orgánico, impuesta a la planta de tratamiento y sus unidades o al cuerpo receptor del efluente.

cieno (sludge)

la mezcla de sólidos decantados o sedimentados en tanques o cuerpos de agua, con el líquido.

cieno, lechos de secado de (sludge beds)

capas naturales o artificiales de material poroso para separar el líquido en el cieno por filtración y evaporación.

cieno digerido (digested sludge)

cieno descompuesto hasta la reducción máxima de los sólidos volátiles, bajo condiciones anaeróbicas.

clarificador (clarifier)

tanque para la sedimentación de los sólidos contenidos en las aguas.

cloración (chlorination)

la aplicación de cloro a las aguas negras o residuales para desinfectar u obtener otros resultados biológicos o químicos.

cloro (chlorine)

desinfectante utilizado ampliamente en la desinfección de aguas negras y agua potable, sea en forma líquida o gaseosa.

cloro, cámara de contacto de (chlorine contact chamber)

tanque para retener y permitir el contacto directo del cloro con el agua por un tiempo variable de 15 a 30 minutos.

cloro, demanda de (chlorine demand)

cantidad de cloro consumida por el líquido, o sea, la diferencia entre la dosis aplicada y el cloro remanente, transcurrido el tiempo de contacto.

cloro, dosificación (chlorine dose)

cantidad de cloro aplicada a un volumen específico de agua, expresada en mg/l o lb/gal.

cloro, residual de (chlorine residual)

la porción del cloro aplicado remanente en las aguas a la salida después del tiempo de contacto.

coliformes (coliforms)

grupo de organismos bacterianos que indican contaminación fecal.

demanda bioquímica de oxígeno-DBO (biochemical oxygen demand)

la cantidad de oxígeno utilizado en la oxidación bioquímica de la materia orgánica, a una temperatura específica y un tiempo específico, generalmente 5 días, para fines de laboratorio.

demanda química de oxígeno-DBQ (chemical oxygen demand)

cantidad de oxígeno total requerida por la materia orgánica y la inorgánica presentes en el agua.

denitrificación (denitrification)

remoción del nitrógeno o sus compuestos de las aguas negras.

densidad (density)

el peso por unidad de volumen de una sustancia.

descarga (discharge)

flujo de agua a través de la planta o cada una de sus unidades, incluyendo la salida

Tejada/Diseño plantas tratamiento aguas negras

descarga, conducto de (outfall)

punto de descarga del efluente de la planta.

descarga, superficial (overflow rate)

desplazamiento de las aguas en la superficie de un tanque expresado en volumen por unidad de tiempo.

descomposición (degradation)

desintegración de una sustancia en otras más sencillas

digestión (digestion)

proceso mediante el cual la materia orgánica y la volátil se descomponen y convierten en gases, líquidos o materia orgánica más simple por la acción de los microorganismos presentes en el líquido.

digestor (digester)

tanque en el cual se almacena el cieno para permitir su digestión. Puede ser aeróbico o anaeróbico.

distribuidor (distributor)

mecanismo rotativo que distribuye uniformemente las aguas sobre la superficie del filtro de goteo u otra unidad de la planta.

F/M, factor (F/M ratio)

índice utilizado en el sistema de lodos activados para establecer la relación de materia orgánica (DBO) aplicada y los sólidos volátiles suspendidos en los tanques de aireación.

filtración biológica (biological filtration)

proceso de filtrar el líquido a través de material que desarrolla una capa viscosa en la superficie, con microorganismos adheridos, que absorbe los sólidos en el agua al entrar en contacto a su paso.

filtro (filter)

unidad para remover sólidos del líquido, donde las capas filtrantes pueden ser de arena, piedra, material plástico o combinación.

filtro de goteo (trickling filter)

filtro de oxidación biológica. (Vea filtración biológica)

filtros de goteo, cargas (trickling filters dosage)

dosificación aplicada al filtro: hidráulica y orgánica. La hidráulica se expresa en volumen por unidad de superficie; la orgánica en libras de DBO por volumen unitario del filtro por día.

flujo (flow)

volumen de agua que fluye a través de la planta y sus unidades. Se expresa normalmente en millones de galones por día (mgd).

flujo mínimo (minimun flow)

flujo más bajo en la planta durante el día.

flujo medio (average flow)

el flujo medio a través de la planta durante 24 horas consecutivas, estimado o medido.

flujo máximo (maximun flow)

flujo máximo, estimado o medido, durante 24 horas consecutivas.

flujo extremo (peak flow)

flujo máximo estimado para el día máximo del año. De importancia para el diseño de vertederos, canales, medidores de flujo, etc.

gravedad, sistema por (gravity system)

sistema que opera por gravedad, bajo condiciones atmosféricas, sin presiones externas de indole alguna.

Tejada/Diseño plantas tratamiento aguas negras

hidráulica (hydraulics)

rama de la ciencia o la ingeniería que trata sobre el comportamiento de las aguas u otros líquidos en movimiento.

hidráulica de la planta (plant hydraulics)

todo lo relacionado con el diseño y comportamiento del líquido o el cieno durante su flujo a través de sus distintas unidades

hidráulica, rasante (hydraulic gradient)

relación de la pérdida en carga total y la distancia entre dos puntos en un conducto, o sea, la pendiente de una línea imaginaria.

hidráulico, radio (hydraulic radius)

relación del área de la masa del líquido al perímetro mojado o en contacto con las paredes del conducto.

indicador (recorder)

aparato para mantener en forma gráfica información sobre volúmenes de flujo, velocidades, etc. en un conducto.

infiltración (infiltration)

introducción de aguas freáticas a las alcantarillas sanitarias a través de juntas, grietas o roturas.

influjo (influent)

el flujo o masa de líquido que se introduce en la planta o cualquiera de sus unidades.

inorgánico, desperdicio (inorganic waste)

materia mineral, no orgánica, presente en las aguas tales como arena, sales, calcio etc., sobre las cuales los organismos presentes no actúan.

lodo (vea "cieno") (sludge)

lodos activados (activated sludge)

partículas de cieno (sólidos sedimentados) producidas por el crecimiento de organismos, principalmente bacterias, en los tanques de aireación con la presencia de oxígeno.

lodo activado, excedente de (excess activated sludge)

el exceso de lodo activado del sistema o procesamiento requerido, para su disposición final.

lodos activados, proceso de (activated sludge process)

proceso biológico mediante el cual las aguas se ponen en contacto con el lodo (cieno) activado, siendo agitado y aireado.

materia inorgánica (inorganic waste)

desperdicios, tales como la arena, sal, hierro y otros minerales que los organismos en el ambiente no descomponen.

materia orgánica (organic waste)

desperdicios que provienen de materia animal o vegetal y sobre los cuales actúan las bacterias y otros organismos.

medio filtrante (media)

material en el filtro de goteo o percolante a través del cual fluyen las aguas negras.

metano (methane)

gas combustible producido en los procesos anaeróbicos de aguas negras.

minerales, sólidos (grit)

materia pesada e inorgánica, presente en las aguas negras, tales como arena, cenizas, gravilla, etc.

Tejada/Diseño plantas tratamiento aguas negras

nitrificación (nitrification)

la conversión de materia nitrogenada (amonía o nitrógeno orgánico) a nitrógeno oxigenado, como nitritos y nitratos, por método bioquímico.

nutrimentos (nutrients)

sustancias o compuestos que ayudan a la vida de plantas y organismos, tales como carbono, oxígeno, nitrógeno, fósforo, azufre, etc.

orgánica, carga (organic load)

término usado para expresar la cantidad de materia orgánica aplicada a la planta de tratamiento o sus unidades por separado, expresado, normalmente, en lb-DBO/día.

orgánica, materia (organic matter)

(vea "materia orgánica")

oxidación (oxidation)

la adición de oxígeno o remoción de electrones de un elemento o compuesto. En el tratamiento de las aguas negras se usa para convertir la materia orgánica a sustancias estables.

oxidación biológica (biological oxidation)

la oxidación de sustancias en las aguas negras por las bacterias y otros organismos.

oxidación, proceso de (oxidation process)

cualquier método de tratamiento de las aguas negras utilizado para oxidar la materia orgánica putrefactiva, como son los filtros de goteo o lodos activados.

oxígeno disponible (available oxygen)

oxígeno presente en una de las formas que lo puedan usar los organismos en el proceso de tratamiento.

oxígeno disuelto (dissolved oxygen)

oxígeno disuelto en el agua o líquido. Normalmente se expresa en mg/l o porcentaje de saturación.

partes por millón-ppm (parts per million)

medida de concentración expresada en peso, o sea, 1 lb.en 1,000,000 de libras.

porcentaje de remoción (percentage of removal)

término usado para expresar eficiencia del tratamiento, principalmente en lo que se refiere a DBO y SS.

postcloración (postchlorination)

cloración del efluente de la planta después del tratamiento.

precipitación química (chemical precipitation)

sedimentación acelerada con el uso de reactivos químicos.

presión hidrostática (hydrostatic pressure)

presión del agua desarrollada por condición de su elevación o profundidad.

proceso biológico (biological process)

proceso por el cual las bacterias y otros organismos vivientes se alimentan de la materia orgánica compleja y la descomponen convirtiéndola en formas más sencillas y estables.

purificación, grado de (degree of purification)

medida de la eficiencia de tratamiento para remover todas las sustancias nocivas y perjudiciales en las aguas, incluyendo sólidos, materia orgánica, bacterias, etc.

recirculación (recirculation)

retorno del efluente de un filtro a uno de los puntos de influjo con el

Tejada/Diseño plantas tratamiento aguas negras

fin de reducir la concentración o mantener una dosificación controlada.

recirculación, razón de (rate of recirculation)
porción del efluente de regreso al punto de origen.

rejas separadoras (bar screen)
parrilla de barras de hierro o aluminio, con separación de 2.5 a 3.0 pulgadas, colocadas a la entrada de la planta para remover los sólidos gruesos flotantes.

retención, período de (detention time or period)
tiempo requerido por un flujo dado para pasar por un tanque.

sedimentación (sedimentation)
acción de los sólidos al depositarse por gravedad o con la ayuda de coagulantes en el fondo de un tanque.

sedimentación final (final sedimentation)
sedimentación ocurrida en el tanque final de un tratamiento secundario.

septicidad (septicity)
condición desarrollada por la destrucción de la materia orgánica por los organismos presentes en la ausencia de aire u oxígeno. Se caracteriza por los olores y colores desagradables.

sólidos (solids)
partículas inertes u orgánicas contenidas en las aguas o líquidos, expresada su concentración, por lo regular, en mg/l.

sólidos decantables (settleable solids)
sólidos en suspensión que se depositan en aguas quietas durante un tiempo específico.

sólidos volátiles (volatile solids)

parte de los sólidos que se queman o destruyen por acción de la temperatura, química o combinada. Se determinan por medio de métodos de laboratorio.

tratamiento avanzado (advanced treatment)

tipo de tratamiento más allá de los convencionales, que produce un efluente de características tal que, al satisfacer ciertos parámetros mínimos, las aguas se pueden reutilizar para ciertos fines específicos.

tratamiento convencional (conventional treatment)

tipos de tratamiento que incluyen desde el primario hasta el secundario, sea este último filtros de goteo o lodos activados.

tratamiento primario (primary treatment)

tipo de tratamiento consistente de un tanque para la remoción de sólidos decantables y flotantes del líquido. Incluye también las rejillas, trituradores y removedores de arena como parte del tratamiento.

tratamiento secundario (secondary treatment)

tipo de tratamiento utilizado para remover sólidos suspendidos y materia orgánica más allá del primario. El filtro de goteo y el de lodos activados son los más usados.

tratamiento terciario (tertiary treatment)

vea "tratamiento avanzado".

vegetación acuática (aquatic vegetation)

vegetación que crece dentro de aguas regularmente estancadas o sus cercanías.

velocidad mínima de arrastre (self-cleaning velocity)

velocidad mínima requerida en un tubo para evitar la deposición de sólidos suspendidos en su fondo y la descomposición subsiguiente.

Tejada/Diseño plantas tratamiento aguas negras

vertedero (weir)

obstrucción vertical, colocada en el curso de una corriente de agua sobre la cual el agua pasará y su altura sobre dicha obstrucción, pared o placa, se convierte en volumen de flujo o caudal.

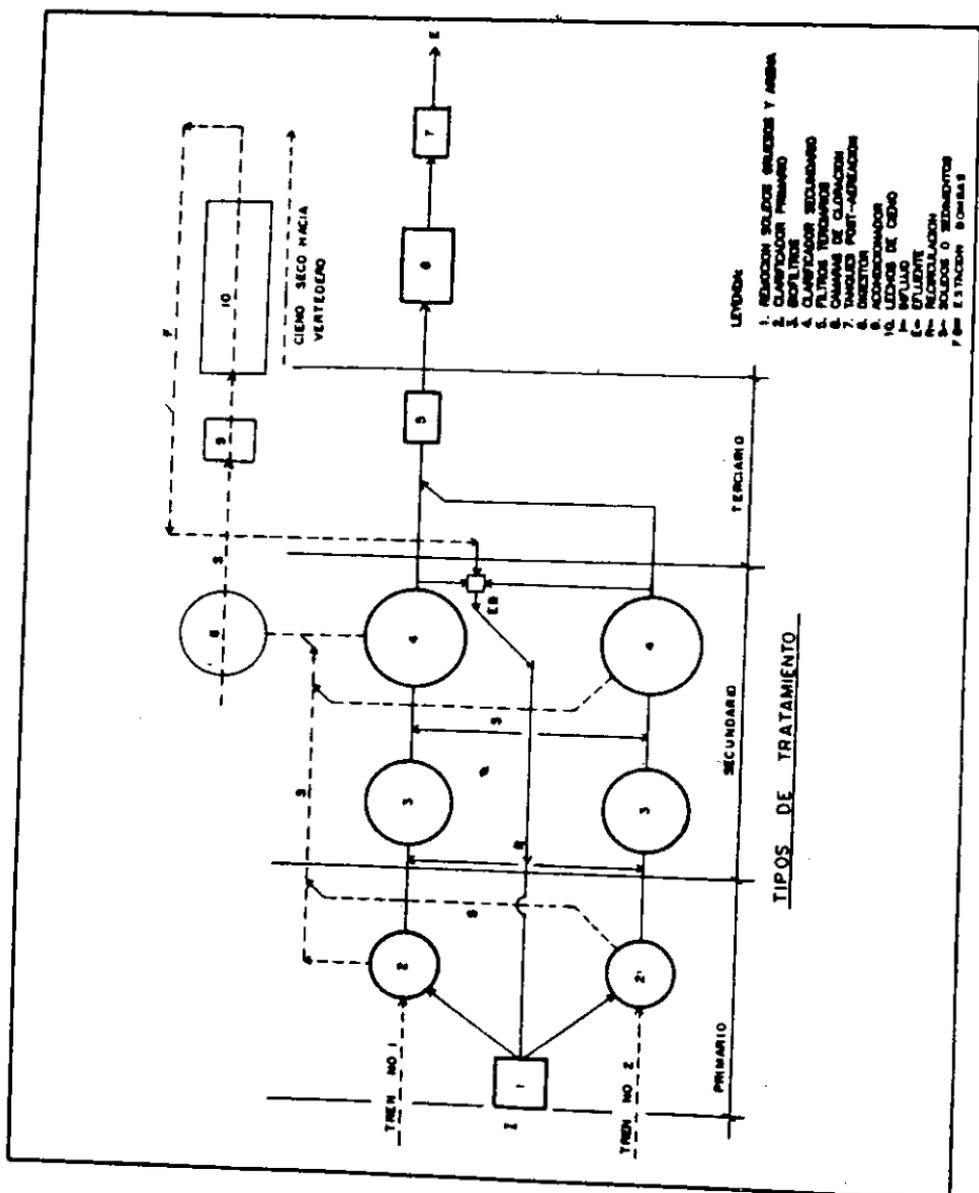
vertedero periferal (peripheral weir)

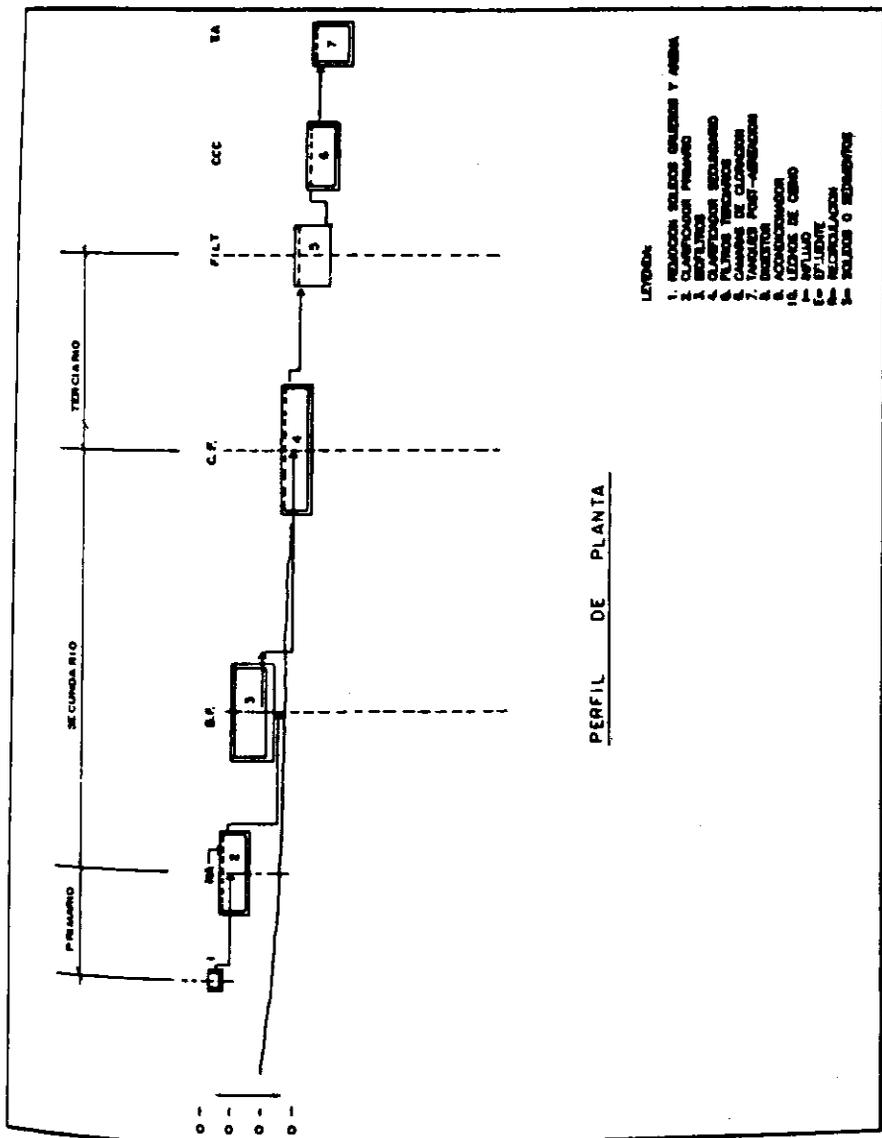
vertedero colocado en la periferia de un tanque para medir y controlar su flujo o desplazamiento.

Anejo 2.

**Planos esquemáticos de la planta
Cámara de secado por gravedad**

Tejada/Diseño plantas tratamiento aguas negras





Tejada/Diseño plantas tratamiento aguas negras

Anejo 3.

Nomografía: Pérdidas por fricción en piezas y acopladoras

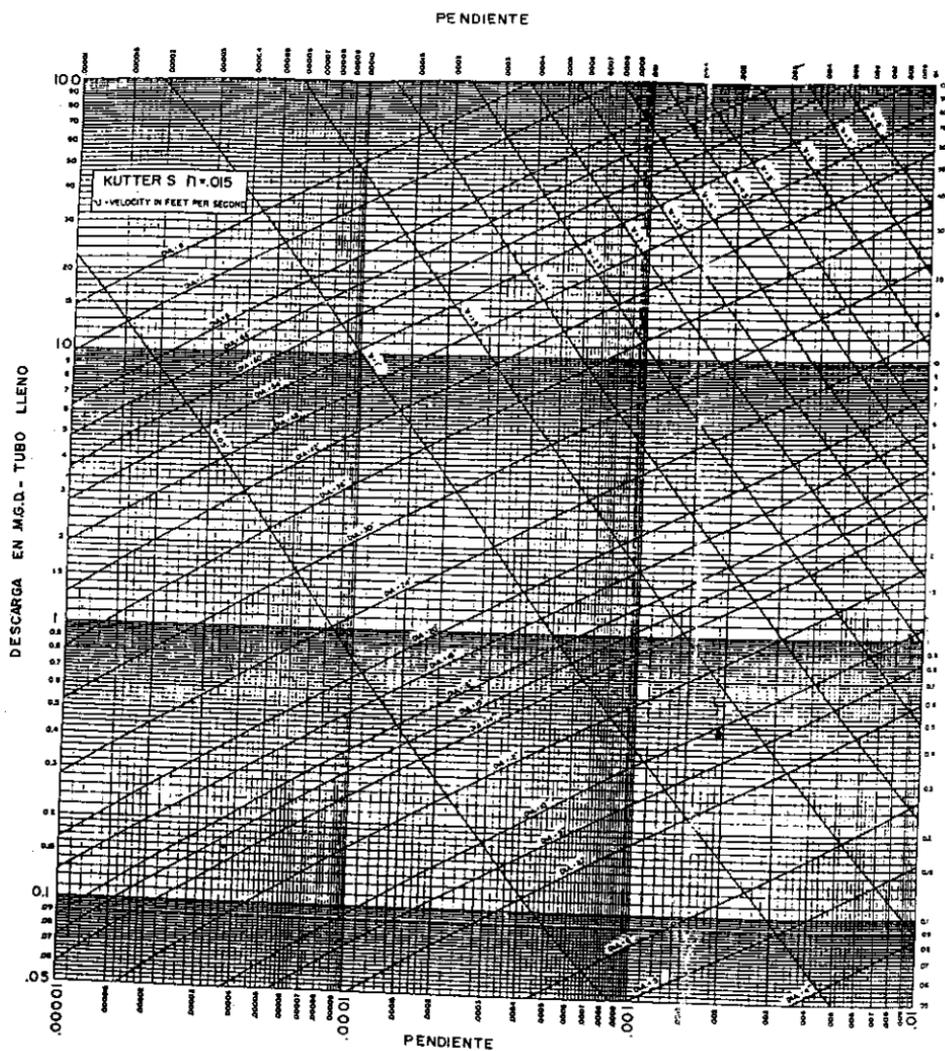
Gráficas:

Descarga de tubería (llena), Kutter's $N=0.013$

Descarga de tubería (llena), Kutter's $N=0.015$

Velocidad y descarga proporcional en tubería fluyendo parcialmente llena

Tejada/Diseño plantas tratamiento aguas negras



DESCARGA DE TUBERIA (LLENA)
KUTTER'S N = .015

