

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

Toda comunidad o industria produce residuos que pudieran ser contaminantes, tanto sólidos como líquidos. La parte líquida, aguas residuales, procede esencialmente del agua limpia suministrada a la comunidad o a la industria, después de haber sido desechada por los diversos usos a que fue sometida.

Desde el punto de vista de las fuentes de generación, las aguas residuales pueden definirse como una combinación de líquidos o caudales portadores de residuos procedentes de residencias, centros comerciales, industrias e instituciones públicas.

En el agua residual estancada por cierto tiempo, se produce la descomposición de la materia orgánica que contiene y suele producir grandes cantidades de gases malolientes y atraer gran cantidad de insectos. El agua residual “sin tratar” suele contener frecuentemente, numerosos microorganismos patógenos o causantes de enfermedades si se alojan en el aparato intestinal humano. Por estas razones, la eliminación y evaluación inmediata, no solamente es deseable sino necesaria en cualquier sociedad.

Por estas razones se han diseñado plantas de tratamiento de aguas residuales y construido para reducir la cantidad de elementos y materias contaminantes presentes en el ambiente. Estas plantas ayudan a controlar la contaminación de las fuentes de agua, a controlar en parte ciertas enfermedades y a producir agua con una calidad que pudiera ser usada para el riego, para el aseo de edificios o de equipo en la industria, o en otros procesos.

Las aguas residuales de los pueblos y ciudades, deben ser conducidas finalmente a cuerpos receptores de agua o a la misma tierra. La compleja pregunta acerca de cómo los contaminantes de las aguas residuales deben ser removidos para proteger el entorno y en qué cantidades, precisa de una contestación específica en cada caso concreto. Ello requiere del análisis de las condiciones y necesidades locales, junto con la aplicación del conocimiento científico, de la experiencia previa de Ingeniería y de las Leyes y Reglamentos creados para el caso.

1.1 Propósito General, Objetivos y Metas

El propósito general de este trabajo de tesis, es el de diseñar una planta de tratamiento de aguas residuales para alguna comunidad del cañón del Huajuco (la región seleccionada es el Fraccionamiento San Andrés) con el fin de proteger la salud pública de los habitantes y reutilizar el agua tratada para fines de riego de jardines ornamentales (con base a la Norma Oficial Mexicana correspondiente), por lo que también se propondrá y calculará una red de drenaje con colectores que conduzcan el agua hacia la planta.

Objetivos:

1. Soportar altas sobrecargas orgánicas y picos de flujo.
2. Utilizar un mínimo de espacio para su construcción (tanques que conforman el proceso principal TF/SC).
3. Reducir al mínimo la producción de lodos.
4. Eliminar los olores desagradables.
5. Obtener efluentes 30 - 30, 10 - 10, según se requiera.

1.2 Políticas y Medios

La información necesaria para el diseño de la planta de tratamiento se obtuvo mediante planos de planimetría y altimetría de la región del Huajuco en las áreas aledañas a la carretera nacional, desde la salida del municipio de Monterrey hasta la presa Rodrigo Gómez (La Boca) situada en el municipio de Santiago, N.L.

Se obtuvo información de las instalaciones sanitarias en las casas habitación mediante encuestas a los vecinos del lugar. También se eligió el lugar donde se colocará la planta de tratamiento de aguas residuales; mediante diversos estudios del fraccionamiento.

La información para el estudio del proceso principal de este diseño se obtuvo de diversos artículos publicados, en revistas especializadas así como de varios libros de texto sobre el diseño y disposición de las aguas residuales, según se detalla en la bibliografía correspondiente a esta tesis.

Los datos de equipos y materiales requeridos en el diseño se obtuvieron gracias al apoyo de algunas empresas que proporcionaron catálogos de los equipos que utilizan o recomiendan.

1.3 Alcance y Limitaciones del Proyecto

El alcance de este trabajo de tesis será la propuesta y el diseño de la red de alcantarillado para este Fraccionamiento, así como el diseño de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales generadas en el mismo y la forma de que conducir el agua residual hasta la planta tratadora. El agua tratada se almacenará en un tanque final desde donde se podrá disponer de ella para regar la áreas verdes (jardines) que se requieran cumpliendo con las Normas Ecológicas respectivas.

La realización de este proyecto se propondrá a los fraccionadores para saber si juzgan conveniente o no el utilizar este tipo de planta de tratamiento.

Se analizarán los resultados de este diseño para evaluar los pros y los contras de su utilización.

1.4 Marco Teórico - Metodológico

La metodología de investigación para el diseño de esta planta de Tratamiento esta basada en las Normas Oficiales Mexicanas siguientes:

NOM-001-ECOL-1996

NOM-003-ECOL-1996

CAPITULO II

ANTECEDENTES

CAPÍTULO II

ANTECEDENTES

Continuamente aumenta el problema de la escasez de agua de buena calidad, adecuado para el abastecimiento público, para el uso industrial o para el uso agrícola.

Lo anterior se debe al aumento de la demanda de agua, al desperdicio o mal manejo de ésta, a la redistribución de la disponibilidad de este recurso y a la degradación de su calidad en el medio ambiente.

Distribución aproximada del agua en el planeta Tierra se aprecia en la siguiente tabla.

Tabla No. 1.- Distribución del agua en el planeta Tierra

No.	RECURSO AGUA	% PORCIENTO
1	Océanos	94.2
2	Glaciares	1.65
3	Lagos	0.016
4	Humedad del suelo	0.006
5	Vapor Atmosférico	0.001
6	Ríos (Cauces)	0.0001
7	Subterránea (Total)	4.13
8	Subterránea en una profundidad menor que 880 m.	0.28

Se puede considerar agua dulce, esto es con bajos contenidos de sales disueltas y otros contaminantes, los recursos de los números 2, 3, 4, 5, 6 y parte del 8. Esto indica la necesidad de hacer un uso más racional del agua disponible y de las áreas de oportunidad en la desalación de agua.

Por otra parte, se estima que aproximadamente el 65 % de las lluvias que caen en la tierra emergente es originada por la transpiración de las plantas y sólo un 35 % es originado (en promedio) por el agua evaporada en los océanos , lo cual nos lleva a señalar la importancia de la conservación de las áreas verdes, bosques y selvas, ya que casi todo el vapor de agua que se genera en los océanos se precipita en ellos mismos.

En el nivel local, seguramente observamos que cada vez con mayor frecuencia e intensidad baja la disponibilidad de agua de buena calidad, haciéndose necesario el efectuar inversiones, gastos de operación y mantenimiento cada vez mayores, para poder obtenerla. Como se mencionó anteriormente, este problema se agrava cuando se degradan los escasos volúmenes de agua disponibles debido a las descargas en ellos, de sustancias contaminantes que destruyen la posibilidad de usos tales como potable, industrial, para riego y para usos recreativos.

Esto hace cada vez más necesario reutilizar y, en algunos casos, recircular el agua con mayor intensidad; así como el reducir y controlar las descargas de contaminantes a los cuerpos de agua y a las aguas subterráneas.

Hasta la fecha, se han desarrollado y empleado diversos sistemas para el tratamiento de las aguas residuales que son adecuados para distintos flujos, volúmenes, calidades del agua no tratada y sus variaciones, para lograr diversas calidades en el agua tratada.

El mejor sistema o planta para tratamiento, en cada caso, será el que produzca, con menor “costo anual total”, la calidad de agua requerida o suficiente, en el efluente, sin perder de vista el aspecto del tratamiento y la disposición final de los subproductos.

Continuamente aparecen en el mercado sistemas nuevos y modificaciones y mejoras a los tradicionalmente empleados, los que se deben evaluar, considerando también las condiciones socioeconómicas y tecnológicas de la región y del país.

En este aspecto, se debe considerar la factibilidad financiera de la reposición y del mantenimiento del equipo, así como los costos de operación, el grado de dificultad de la operación, su confiabilidad y las experiencias positivas (o negativas) de estos sistemas empleados para casos similares, en el país o en el extranjero.

Un sistema de tratamiento de aguas residuales representa una inversión substancial. Existe para prevenir contaminación, para eliminar condiciones desagradables, y para evitar riesgos en la salud a la comunidad. Pero esta inversión puede perderse rápidamente, o las capacidades del sistema no serán utilizadas si no se proporciona una adecuada operación y mantenimiento del sistema.

En los sistemas biológicos se busca la oxidación o la estabilización de la materia orgánica; generalmente son procesos de tratamiento biológicos aeróbicos (en presencia de suficientes concentraciones de oxígeno disuelto) ocasionalmente combinados, simultáneamente o precedidos por tratamientos biológicos (en ausencia de gas oxígeno disuelto en el agua).

Los sistemas de tratamiento sirven para remover carga orgánica (DBO_5 , DQO, COT) biodegradable y algo de nutrientes (N y P), por conversión a microorganismos o biomasa bacteriana y subproductos. Se requiere que existan cantidades suficientes de nutrientes y ausencia o baja concentración de inhibidores de crecimiento bacteriano. Se requiere proporcionar condiciones ambientales adecuadas incluyendo control de temperatura, pH, sales disueltas, y en algunos casos agitación para suspender la biomasa.

En el caso de tratamiento “biológico aeróbico” (en presencia de gas oxígeno disuelto) los subproductos son: biomasa o bacterias aeróbicas, agua, CO_2 , sales minerales, amoníaco, nitritos y sulfatos. Estos procesos biológicos son relativamente fáciles de controlar y generalmente no producen problemas de olores desagradables.

Entre ellos se pueden mencionar:

- Las lagunas aireadas
- Los sistemas de “lodos activados” en algunas de sus variantes como: completamente mezclado, aireación extendida, aireación modificada, aireación escalonada, estabilización por contacto y otros.
- Los percoladores biológicos
- Los discos rotatorios biológicos
- Las combinaciones de procesos de percoladores biológicos y lodos activados.

En los tratamientos biológicos se requiere implantar una fase posterior adicional para separar el agua ya tratada de la biomasa en que fue convertida parte de la carga orgánica. Los excesos de lodos biológicos deben recibir: tratamiento, manejo y disposición final, adicional distintos a los aplicados al agua residual.

Los aspectos teóricos del proceso, incluyendo la microbiología, la cinética de reacción y, hasta cierto punto, su funcionamiento, son la base de una aplicación práctica en el diseño, construcción y puesta en operación de un sistema completo para el tratamiento del agua.

Este diseño está enfocado hacia un sistema biológico aeróbico que combina los procesos de filtros percoladores biológicos y los lodos activados (TF/SC, Trickling Filter and Solid Contacts - Filtros Percoladores y Contacto de Sólidos)

CAPITULO III
EL MEDIO FÍSICO Y GEOGRÁFICO DEL
MUNICIPIO DE SANTIAGO,N.L

CAPÍTULO III

EL MEDIO FÍSICO Y GEOGRÁFICO DEL MUNICIPIO DE SANTIAGO, N.L.

3.1.- Localización.

Este municipio se localiza al sur del municipio de Monterrey y se ubica en las coordenadas 25°26' de latitud norte y 100°08' de longitud oeste; a 445 metros sobre el nivel del mar. Los poblados más importantes del municipio son las congregaciones de San Pedro, la de San Francisco, la de Piedra de Fierro y El Barrial.

Santiago limita al norte con Santa Catarina, San Pedro Garza García y Juárez, al sur con el estado de Coahuila, al este con Allende y Cadereyta y al oeste con el estado de Coahuila.

3.2.- Extensión Territorial.

El municipio de Santiago tiene una superficie total de 763.80 Km² la cual corresponde al 1.18 % de la superficie del estado de Nuevo León y a un 0.38 % de la superficie de la República Mexicana.

3.3.- Hidrografía.

En este municipio nace el río San Juan, que es el más importante de la cuenca central, cuyas aguas son permanentes y abundantes, pues riegan una extensa superficie.

3.4.- Clima.

El clima, en promedio es templado, con gran oscilación térmica y con régimen de lluvias durante todo el año. En invierno, la temperatura suele descender hasta 0°C y en verano la temperatura máxima suele ser de 38°C, con una temperatura media anual de 28 °C.

3.5 Orografía.

El municipio es atravesado en el sur por la Sierra Madre Oriental y sus diversas estribaciones, entre esas formaciones destacan el Cañón del Huajuco y el de San Cristóbal.

3.6.- Clasificación y Uso del Suelo.

El tipo de suelo de este municipio está constituido en su gran mayoría por litosol, regosol y luvisol, y en menor grado por rendzina, vertisol y fluvisol. En cuanto al uso potencial del suelo, están dedicadas a la ganadería unas 34.331 hectáreas, a la agricultura 10,747 hectáreas y al área urbana 1,100 hectáreas.

La tenencia de la tierra es mayormente por propiedad privada y en segundo lugar, por tenencia ejidal.

3.7.- Marco Social.

3.7.1.- Población.

La población total estimada del municipio en el año 1987 ascendió a 70,000 habitantes. La densidad de la población es de 41.56 habitantes por kilómetro cuadrado. En la cabecera municipal se concentra la tercera parte de la población con una densidad de 31 habitantes por hectárea. La mayor parte de la población es joven.

3.7.2.- Educación, Cultura, Recreación y Deporte.

El municipio cuenta con escuelas que imparten educación preescolar, y primaria, escuelas de capacitación para el trabajo, secundarias, una escuela técnica de nivel medio terminal, una escuela de educación media superior y una escuela preparatoria en turno matutino.

Existen balnearios en El Alamo y en San Francisco, así como con la fuente termal La boca. En la presa Rodrigo Gómez se practica la pesca; en el cercano pueblo del mismo poblado está la famosa cascada Cola de Caballo.

En las Principales localidades de Santiago existen canchas deportivas.

3.7.3.- Salud.

Para la atención a la salud en el municipio de Santiago, se cuenta con casas de salud, centros de salud, centros de salud rural dispersos y unidades auxiliares de salud, dependientes de la Secretaría Estatal de Salud (SES). Además funciona una unidad médico familiar con hospitalización, dependiente del Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS). El centro municipal del sistema para el Desarrollo Integral de la Familia (DIF) también proporciona servicios médicos a la población.

3.7.4.- Vivienda.

Generalmente, el tipo de construcción de las viviendas es de adobe y ladrillo en los muros y madera y concreto en el techo. La mayor parte de las viviendas cuentan con energía eléctrica, agua potable y drenaje. La tenencia de la vivienda es fundamentalmente privada.

3.7.5.- Comunicaciones y Transportes.

La carretera federal Núm. 85 comunica al municipio con Guadalupe, Monterrey, San Nicolás de los Garza, Sabinas Hidalgo y Nuevo Laredo, Tamaulipas hacia el norte; y con Allende, Montemorelos, Hualahuises, Linares y el estado de Tamaulipas hacia el sureste. Los transportes foráneos recorren la ruta Monterrey - Villa de Santiago - El Cercado - El Alamo. Cuenta con una sucursal de telégrafos, teléfonos, correos y, además, se reciben señales de radio y televisión.

3.7.6.- Servicios Públicos.

El municipio cuenta con los servicios de energía eléctrica, agua y alcantarillado, plazas, alumbrado público, pavimentación, centros deportivos, panteón, transportación colectiva y seguridad pública.

3.8.- Marco Económico.

3.8.1.- Población Económicamente activa.

La población económicamente activa estimada es de 11,145 habitantes, la cual en su mayoría, se dedica al sector primario (agricultura) y, en menor grado, al secundario (maquiladora).

3.8.2.- Actividades Económicas.-

Agricultura.- La agricultura de este municipio comprende una buena variedad de cultivos, entre los que destacan maíz, manzana, durazno, chabacano, ciruela y frutales cítricos.

Ganadería .- La ganadería en el municipio de Santiago se constituye por ganado de tipo vacuno y porcino. La producción de carne de este ganado es empleada para satisfacer la demanda local.

Industria.- Existe una maquiladora de camisas que genera un gran número de empleos para la población de Santiago.

Turismo.- Dentro de las zonas turísticas que más destacan se encuentran la cascada cola de caballo, la Laguna de Sánchez; pueblos típicos de la sierra como los siguientes: La Ciénega de San Juan Bautista, El tejocote, San José de las Boquillas, Bahía Escondida (desarrollo turístico), Cryco (lienzo charro), Bocapalma (desarrollo deportivo turístico), arroyo “La Chueca”, Presa “Rodrigo Gómez, (La Boca)”, Exhibición de artesanías en el poblado la Cieneguilla, albercas El Alamo (desarrollo acuático) Motel La Ciénega (enclavado en la sierra) y molindas típicas en Huajuquito.

Comercio.- Santiago esta íntimamente ligado con el comercio y los servicios turísticos. Anualmente se realiza una feria de la manzana con venta de artesanías locales, regionales y nacionales, un día por semana hay mercado sobre ruedas en el Cercado. Las molindas son otro giro concurrido en las orillas de la carretera nacional (carretera Federal # 85). Las panaderías típicas producen todo tipo de pan dulce, blanco, repostería, turcos, cemitas y empanadas.

CAPITULO IV

DESCRIPCION Y CALCULO DE UN

SISTEMA DE ALCANTARILLADO PARA

EL FRACCIONAMIENTO

“SAN ANDRES”.

CAPÍTULO IV

DESCRIPCIÓN Y CÁLCULO DE UN SISTEMA DE ALCANTARILLADO PARA EL FRACCIONAMIENTO SAN ANDRÉS

4. 1.- Descripción del Sistema de Alcantarillado.

4.1.1.- ¿Qué es un sistema de alcantarillado?

Toda comunidad genera residuos, tanto líquidos como sólidos. La fracción líquida - agua residual - está constituida esencialmente, por el agua de abastecimiento, después de haber sido contaminada por los diversos usos a que ha sido sometida. Desde el punto de vista de su origen, las aguas residuales pueden definirse como un combinación de los desechos líquidos procedentes de las viviendas, de las instituciones y/o de los establecimientos comerciales e industriales, junto con las aguas subterráneas, superficiales y de lluvia que pueden agregarse a las anteriores.

Si se dejan estancar las aguas residuales sin tratar, la descomposición de la materia orgánica que contienen puede dar lugar a la producción de grandes cantidades de gases pestilentes. Además, las aguas residuales no tratadas contienen usualmente numerosos organismos patógenos o causantes de enfermedades, los cuales pueden habitar en el aparato intestinal humano, o bien encontrarse en ciertos vertedores industriales. También suelen contener nutrientes que estimulan el crecimiento de plantas acuáticas, e incluso contener compuestos tóxicos. Por estas razones, en una sociedad industrializada no es sólo deseable, sino necesario, el tratamiento inmediato y sin molestias de las aguas residuales cerca de sus lugares de generación, seguido de su evacuación o reuso.

Para la eliminación de estas aguas residuales es necesaria la planificación y diseño de instalaciones de recogida (sistema de alcantarillado) y bombeo de las mismas. Ello implica normalmente la determinación de caudales de aguas residuales, el diseño hidráulico de las alcantarillas y la selección de las instalaciones complementarias apropiadas. La rehabilitación de las redes de saneamiento existentes y el proyecto de nuevos sistemas exigen también el análisis de la infiltración y afluencia de los caudales incontrolados a las redes de saneamiento y de los medios para limitar su presencia, así como el estudio de los posibles olores y la corrosión que pudiesen producirse en las alcantarillas y la influencia de estos factores en el proyecto. La etapa final consiste en la selección de bombas y el diseño de estaciones de bombeo para conducir las aguas residuales a las instalaciones de tratamiento.

4.1.2.- Tipos de redes de alcantarillado.

Las redes de alcantarillado pueden ser de dos tipos básicos: **separativas o unitarias**. Las **redes separativas** se utilizan para recoger y transportar exclusivamente las aguas residuales (los términos separativo y sanitario se utilizan a menudo indistintamente con referencia a las alcantarillas y a las redes de saneamiento). Las **redes unitarias** se proyectan para recoger y transportar tanto las aguas residuales como las pluviales. La existencia de un porcentaje relativamente pequeño de alcantarillas unitarias dentro de la red de saneamiento municipal es suficiente para clasificar al sistema como unitario.

4.2. Cálculo de la red de alcantarillado.

4.2.1.- Proyecto de la red de alcantarillado.

Los objetivos principales de una red de alcantarillado son:

- a) Proteger la salud pública.
- b) Contar con un buen saneamiento.
- c) Permitir el tratamiento de las aguas negras en forma segura y económica, llevándolas hasta la planta de tratamiento.

Se muestran a continuación las especificaciones a seguir, de acuerdo al sistema a utilizar.

Tabla No. 2.- Especificaciones para una red de alcantarillado, de acuerdo a los sistemas público y privado.

CONCEPTO	SISTEMA PUBLICO		SISTEMA PRIVADO
	SADM	SARH	IIC-FIC-UANL
1.- Clase de tubería	Concreto	Concreto y PVC	Concreto, barro, PVC, AC, FoVo, Polietileno, acero
2.- Diámetro mínimo	Ø 8" atarjea (20 cm)	Ø 6" (15 cm)	Ø 6" (15 cm)
3.- Profundidad de atarjea	1.50 m lomo de tubo	0.80 m lomo de tubo	0.40 m
4.- Localización	Centro de calle	Centro de calle	andador
5.- Ramal sanitario domiciliario.	Barro y concreto	Barro, concreto, PVC	Concreto, PVC, polietileno, FoVo, asb-cem
6.- Registros	Cónicos, ladrillos prensado. D= 1.20m, hmin=1.75m Centro de calle	Cónico ladrillo D=1.20m hmin.=1.0m Centro de calle	Rectangular 40 x 60, 60 x 80, y cónico en ocasiones andador, pisos
7.- Pendiente mínima en la tubería.	Para tubo Ø 8" S= 4 milésimas	para tubo Ø 6" S= 5 milésimas	Ø 4" ⇒ S=1.5% Ø 6" ⇒ S=1.0 % S=4 miles

El sistema que se especifica para este proyecto, es el sistema público, de acuerdo a las especificaciones para SADM

Un detalle típico de localización de una tubería de la red de alcantarillado es la siguiente.

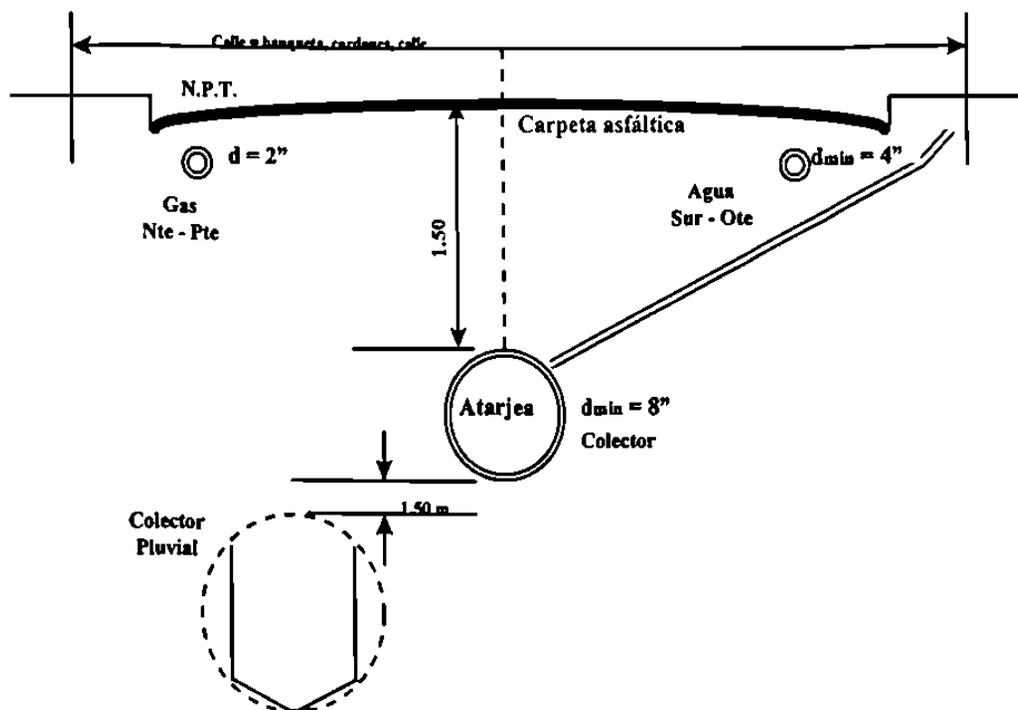


Fig. No. 1.- Corte típico de localización de una tubería de la red de alcantarillado

Atarjeas .- Tuberías de concreto con un $d_{\min} = 20$ cm ($8''$) se instalan a una profundidad de 1.50 m a lomo.

Las tuberías que se utilizan en un red de alcantarillado son las siguientes:

- $\emptyset 4''$ (10 cm)
- $\emptyset 6''$ (15 cm)
- $\emptyset 8''$ (20 cm)
- $\emptyset 10''$ (25 cm)
- $\emptyset 12''$ (30 cm)

- f) Ø 15"(38 cm)
- g) Ø 18"(46 cm)
- h) Ø 21"(54 cm)
- i) Ø 24"(61 cm)
- j) Ø 30"(76 cm)
- K) Ø 36"(91 cm)
- l) Ø 42"(108 cm)
- m) Ø 48"(122 cm)
- n) Ø 60"(153 cm)

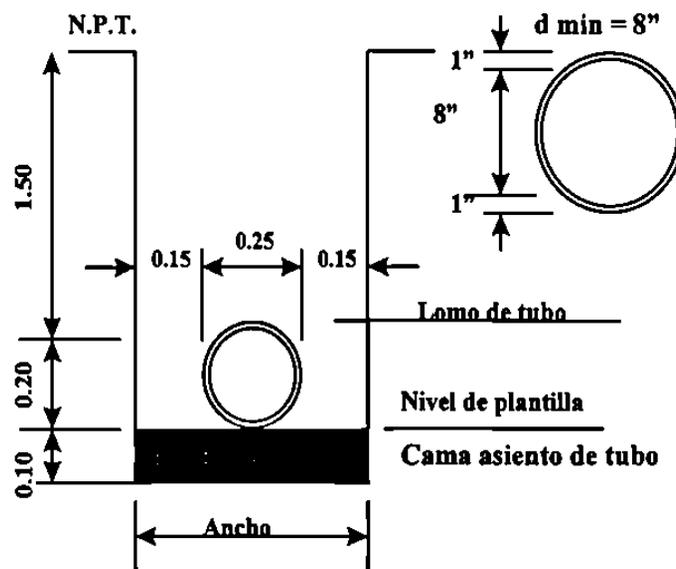


Fig. No. 2.- Detalle de una zanja para tubería de red de alcantarillado

Ancho de la zanja.- Depende del diámetro de la atarjea, si se hace con retroexcavadora, los anchos a utilizar pueden ser: 6" (15cm), 12" (30cms)(1'), (1½')(45cm), 2'(60cm).

El procedimiento para llevar a cabo el proyecto de una red de alcantarillado es el siguiente:

Definir.

1.- El tipo de proyecto:

- a) Público.- Normas de los Sistemas Operativos (SADM)
- b) Privado.- Locales.

2.- El tipo de instalación de los elementos:

- a) Público.- Vía pública, profundidades.
- b) Privado.- Andadores, áreas definidas.

3.- El Plano de urbanización

- a) Las Calles.- Cotas de NPT (Proyecto)
- b) La Nomenclatura.
- c) Las Cotas de cruce.
- d) La Localización de las edificaciones más importantes.

4.- La Identificación de las edificaciones y facilidades sanitarias.

- a) Los Sistemas sanitarios.- Tipo de tanque bajo, Tipo de fluxómetro, al utilizar el sistema UD (unidades de descarga).

5.- La Clasificación de la estratigrafía del suelo.

- a) Material Tipo I.- Material que se puede excavar con pala.
- b) Material Tipo II.- Material que se excava con pico y pala (o retro)
- c) Material Tipo III.- Material rocoso.

6.- La localización del entronque de descarga al sistema de alcantarillado sanitario existente o de la planta de tratamiento y el lugar de vertido.

7.- Trazo de la red.

a) Público.- Vialidad y derechos de paso.

b) Privados

8.- Localización de registros (Pozos de visita) máximo a cada 100 m.

Tipos: Común, Caída, Adosado.

Materiales: De ladrillo - Brocal y tapa de F.V. y concreto.

Privado.- Rectangular o cónico de ladrillo con tapa de concreto, F.V., plástico.

9.- Cálculo de aportaciones.

a) Población

b) Dotación

c) Coeficiente de variación diaria (Cvd).- 1.35 en Monterrey

d) Coeficiente de aportación (F).- Porcentaje del agua potable que ingresa a la red de alcantarillado como agua negra o residual. Varía su valor dependiendo de la clase social de la población:

F clase alta $\Rightarrow F= 0.50$

F clase media $\Rightarrow F= 0.70$

F clase baja $\Rightarrow F= 0.90$

Ciudades < 5000 habitantes $\Rightarrow F= 0.85$

e) Coeficiente de Harmon. (M)

$$M = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{P'}} \quad \text{donde } P' = \text{población en miles de habitantes}$$

Por lo tanto, la aportación se calcula de la siguiente manera:

$$Q_{AN} = \frac{Pob \times Dot}{86400} \times Cvd \times F \times M$$

Q_{AN} = Aportación de agua negra en L/s (litros por segundo)

Pob = Población

Dot = Dotación en L/hab/d (litros por habitante por día)

Cvd = Coeficiente de variación diaria = 1.35

F = Coeficiente de aportación.

M = Coeficiente de Harmon.

10.- Cálculo del Gasto de proyecto acumulado, iniciando en el tramo más alto.

- a) Cuando se trata de una población se toma el acumulado de la población conectada.
- b) Se agrega la aportación de las edificaciones en el cálculo directo, según el uso probable de aparatos sanitarios.

11.- Definir la clase de tubería a utilizar.-

- a) Público.- concreto
- b) Privado.- concreto, FoVo, barro, PVC

12.- Definir la formula hidráulica (funcionan como canales) Presión = 0

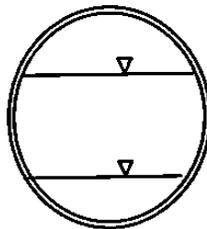


Fig. No. 3.- Atarjea con presión cero.

Manning: $V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$ $S = \frac{h_f}{L}$

4.2 $n = 0.013$ para concreto (se usa también para fierro galvanizado) , si el concreto es hecho en obra y es un poco más rugoso se considera $n = 0.015$

El proyecto de alcantarillado en esta zona (Fracc. San Andrés) se realizara de acuerdo

a) Para mayor facilidad en el cálculo, usar el nomograma hidráulico para $n = 0.013$ o el correspondiente.

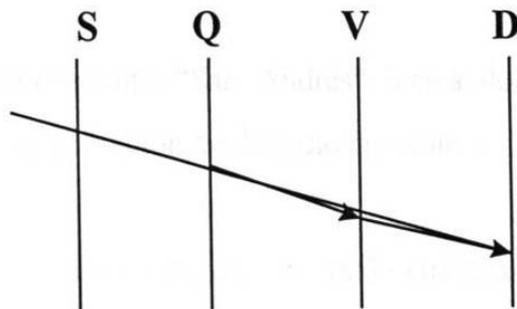


Fig. No. 4.- Esquema del Nomograma de Manning

a) Se conoce generalmente el gasto y se propone la pendiente (comúnmente el perfil de la calle - no siempre -).

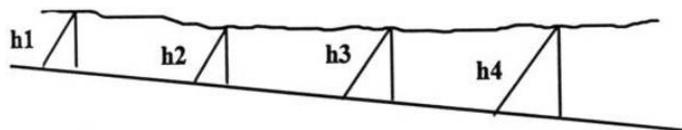


Fig. No. 5.- Perfil de la tubería de drenaje y el terreno

b) La velocidad recomendada varía de 0.65 a 1.00 m/s

4.2.2.- Cálculo de la red de alcantarillado.-

El proyecto de alcantarillado en esta zona (Fracc. San Andrés) se realizara de acuerdo al nivel social, el cual es de clase alta.

- 1) Tipo de proyecto.- Público.
- 2) Localización.- Fraccionamiento “San Andrés” (cerca del Barrial) en la zona del Huajuco - Ver plano de Ubicación del Fraccionamiento. -
- 3) Tipo de red de alcantarillado .- Separativa (sólo encausará agua residual doméstica sanitaria).
- 4) Material de tubería .- De concreto con un diámetro mínimo de 8” (20 cm).
- 5) Trazo de la red.- Se realizará un plano con la información requerida acerca de
 - Las Calles
 - La Nomenclatura
 - La Cotas de crucero
 - La Localización de los lotes del fraccionamiento
 - La Localización de entronque al sistema de alcantarillado sanitario existente y Planta de tratamiento (lugar de vertido)
 - La Vialidad
 - Los Derechos de paso
 - La localización de los registros (pozos de visita) : común, caída, adosado.
 - Los diversos detalles de zanjas, colocación de tubería, registros(material), etc.

6) Cálculo de aportaciones

- a) No. de lotes de Fraccionamiento .- 188 lotes
- b) No. de habitantes / lote = 8 personas /lote
- c) Dotación = 1000 L/hab/d (**Anexo A.1**)
- d) Coeficiente de variación diaria (Cvd) = 1.35 (Monterrey)
- e) Coeficiente de aportación (F) = 0.50 (clase alta)
- f) Coeficiente Harmon (M) = Para cada tramo de tubería, varía de acuerdo a la población acumulada

Formula 1.-
$$M = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{P}}$$

- g) Cálculo de aportación, para cada tramo de tubería, usando la formula ya definida anteriormente

Formula 2.-
$$Q_{AV} = \frac{Pob \times Dot}{86400} \times Cvd \times F \times M$$

- h) Formula hidráulica a utilizar en el cálculo:

Formula de Manning

Formula 3 .-
$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \quad \text{donde} \quad R = \frac{A}{P} \quad ; \quad S = \frac{h_f}{L}$$

$Q = V \times A$

A = Área mojada; m²

P = Perímetro mojado; m

R = Radio hidráulico; m

h_f = Pérdida de fricción

L = Longitud del tramo; m

S = Pendiente en miles

n = Coeficiente de rugosidad

V = Velocidad; m/s

Q = Gasto o flujo; m³/s

i) Nomograma a utilizar:

Nomograma de la formula de Manning

con $n = 0.013$ (Anexo A.2), el cual muestra 4 columnas que involucran:

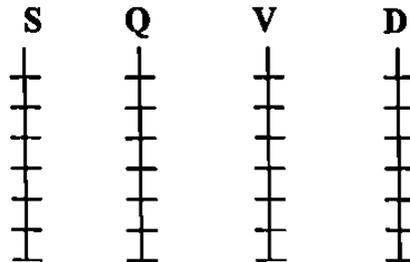


Fig. No. 6.- Componentes del Nomograma de Manning.

S = Pendiente hidráulica en miles

Q = Gasto en L/s

V = Velocidad en m/s

D = Diámetro de tubería en cm y pulgadas

j) Gasto por infiltración a tubería:

$$Q_{mf} = 20 \text{ m}^3/\text{Km}/\text{día} = 2.31 \times 10^{-4} \text{ l/s/m}$$

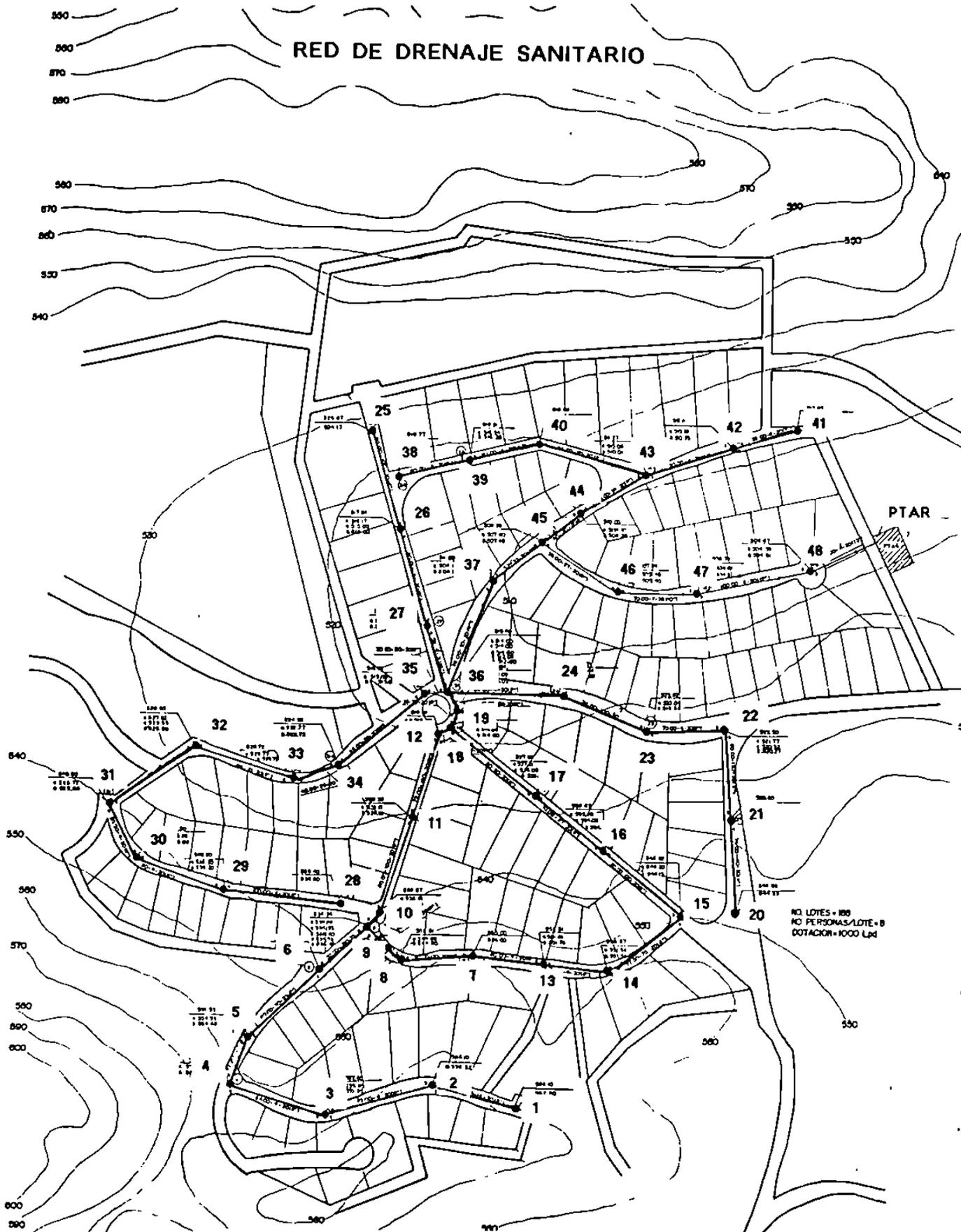
k) Gasto por erráticas :

$$Q_{errat} = 30 \% Q_{AN} = 0.30 Q_{AN}$$

7) Cálculo de los primeros tramos de la red de alcantarillado, para ejemplificar el procedimiento del cálculo.-

En el croquis de la siguiente página (plano) se muestran los cruceros que componen el sistema de alcantarillado sanitario en el Fraccionamiento “San Andrés”.

DISEÑO DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LA ZONA DEL HUAJUCO, MEDIANTE EL SISTEMA DE FILTRO PERCOLADOR Y CONTACTO DE SÓLIDOS



7.1) Tramo 1 - 2

Longitud de tramo = 70.00 m

Población parcial = 24 personas (3 lotes)

Población acumulada = 24 personas.

Coficiente de Harmon (M) =

$$M = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{P'}} = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{\frac{24}{1000}}} = 4.37$$

- Q_{AN} (por población)

$$Q_{AN} = \frac{Pob \times Dot}{86400} \times Cvd \times F \times M$$

$$Q_{AN} = \frac{24 \text{ hab} \times 1000 \text{ L / hab./d}}{86400} \times 1.35 \times 0.5 \times 4.37 = 0.819 \text{ L / s}$$

$$Q_{AN} = 0.819 \text{ L/s}$$

- $Q_{inf} = 2.31 \times 10^{-4} \text{ L/s/m} \times \text{Longitud}$

$$Q_{inf} = (2.31 \times 10^{-4} \text{ L/s/m}) \times 70 \text{ m} = 0.016 \text{ L/s}$$

- $Q_{errat} = 30 \% Q_{AN}$

$$Q_{errat} = 0.30 \times 0.819 \text{ L/s} = 0.246 \text{ L/s}$$

- $Q_{total} = Q_{AN} + Q_{inf} + Q_{errat}$

$$Q_{total} = 0.819 + 0.016 + 0.246 = 1.081 \text{ L/s}$$

- Pendiente de terreno en %

Cota terreno Registro 1 = 559.10 m

Cota terreno Registro 2 = 558.10 m

Longitud = 70.00 m

Desnivel = 559.10 - 558.10 = 1.00 m

$$\text{Pendiente (S) calle} = \frac{1.00}{70.00} \times 100 = 1.4 \%$$

- Pendiente de tubo en miles

Es paralelo al terreno

Pendiente (S) = 1.4 % = 14 miles

Cota plantilla, registro 1 = 557.30 m

Cota plantilla, registro 2 = 556.32 m

- Obtención de Diámetro

La velocidad recomendada es de 0.65 - 1.5 m/s

Usando el Nomograma obtenemos el diámetro mínimo permitido es de 8" $\therefore \varnothing = 8''$

7.2) Tramo 2 - 3

Longitud del tramo = 93.00 m

Población parcial = 24 personas (3 lotes)

Población acumulada = 24 personas (tramo 1 - 2) + 24 personas (tramo 2 - 3) = 48 personas

Coefficiente de Harmon (M) =

$$M = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{P'}} = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{\frac{48}{1000}}} = 4.32$$

- Q_{AN} (por población)

$$Q_{AN} = \frac{Pob \times Dot}{86400} \times Cvd \times F \times M$$

$$Q_{AN} = \frac{48 \text{ hab} \times 1000 \text{ L/hab./d}}{86400} \times 1.35 \times 0.5 \times 4.32 = 1.62 \text{ L/s}$$

$$Q_{AN} = 1.62 \text{ L/s}$$

- $Q_{inf} = 2.31 \times 10^{-4} \text{ L/s/m} \times \text{Longitud}$

$$Q_{inf} = (2.31 \times 10^{-4} \text{ L/s/m}) \times 93.00 \text{ m} = 0.021 \text{ L/s}$$

- $Q_{errat} = 30 \% Q_{AN}$

$$Q_{errat} = 0.30 \times 1.62 \text{ L/s} = 0.486 \text{ L/s}$$

- $Q_{total} = Q_{AN} + Q_{inf} + Q_{errat}$

$$Q_{total} = 1.62 + 0.021 + 0.486 = 2.127 \text{ L/s}$$

- Pendiente de terreno en %

$$\text{Cota terreno, Registro 2} = 558.10 \text{ m}$$

$$\text{Cota terreno, Registro 3} = 557.80 \text{ m}$$

$$\text{Longitud} = 93.00 \text{ m}$$

$$\text{Desnivel} = 558.10 - 557.80 = 0.30 \text{ m}$$

$$\text{Pendiente (S) calle} = \frac{0.30}{93.00} \times 100 = 0.30 \%$$

- Pendiente de tubo en miles

Es paralelo al terreno

Pendiente (S) = 3 miles

Cota plantilla registro 2 = 556.32 m

Cota plantilla registro 3 = 555.95 m

- Obtención de Diámetro mediante el Nomograma de Manning $n = 0.013$

La velocidad recomendada es de 0.65 - 1.5 m/s

Con S = 4 miles

$$Q = 2.127 \text{ L/s}$$

Se obtiene un $\varnothing = 4''$, pero el diámetro mínimo permitido es de 8'' $\therefore \varnothing = 8''$

Teniendo como ejemplos de cálculo estos dos tramos y siguiendo la red de alcantarillado propuesta en el croquis, se calcularon los tramos restantes de la red. Los resultados aparecen en la tabla de la siguiente página, como el plano correspondiente, con todos sus detalles.

TRAMO	IDENTIFICACIÓN	LONG. (m)	POBLACIÓN PARCIAL	POBLACIÓN ACUM	M	EDIF UD PARC	EDIF ACUM	POB	EDIF	GASTOS (LPS)	TOTAL	CALLE (%)	PENDIENTE TUBO (MILES)	DIAMETRO CM	PULG	HT = S L/1000 mca	NUM REG.	COTAS TERR	PLANT	PROF. (m)	OBSERVACIONES
1-2		70	24	24	4.37	-	-	0.819	-	0.016	1.081	1.40	14	20	8"	0.96	4	559.10	557.30	1.80	No. de lotes = 188 lotes en total
2-3		93	24	48	4.32	-	-	1.62	-	0.021	2.127	0.30	4	20	8"	0.37	6	558.10	556.32	1.78	Habitantes = 8 personas/ lote
3-4		84	40	88	4.26	-	-	2.929	-	0.019	3.827	0.15	4	20	8"	0.34	7	557.80	555.95	1.85	Dotación = 1000 lpd
4-5		42	8	96	4.25	-	-	3.187	-	0.010	4.153	2.70	27	20	8"	1.13	8	557.67	555.61	2.08	Cvd = 1.35 (Coef. de variación diaria)
5-6		80	48	144	4.20	-	-	4.725	-	0.018	6.180	12.20	110	20	8"	8.80	9	556.53	554.48	2.05	F = 0.50 (Coeficiente de aportación)
6-9		52	16	160	4.18	-	-	5.225	-	0.012	6.804	14.90	100	20	8"	5.20	12	546.73	545.68	3.05	Q _{av} = Pob x Dot x Cvd x F x M/ 86400
7-8		60	24	24	4.37	-	-	0.819	-	0.014	1.079	12.80	120	20	8"	7.20	10	538.96	538.48	2.48	Q _{av} = 20 m ³ /Kmy día
8-9		40	8	32	4.35	-	-	1.087	-	0.009	1.422	33.40	260	20	8"	10.40	11	536.00	536.48	4.00	= 2.31E-4 lps/m
9-10		16	8	200	4.15	-	-	6.484	-	0.004	8.433	2.40	24	20	8"	0.36	13	535.96	536.48	2.48	Q _{av} = 30% Q _{av}
10-11		80	48	248	4.11	-	-	7.963	-	0.018	10.370	10.00	100	20	8"	8.00	14	538.57	536.10	2.47	Coef. de Harmon = 1 + (14/(4 + (P ²)(1/2)))
11-12		72	32	280	4.09	-	-	8.947	-	0.017	11.648	15.40	140	20	8"	10.08	15	530.50	528.10	2.40	P = Población en miles
12-18		12	-	280	4.09	-	-	8.947	-	0.003	11.634	4.20	42	20	8"	0.50	21	519.39	518.02	2.89	Fórmula y Nomograma de Manning
7-13		60	24	24	4.37	-	-	0.819	-	0.014	1.079	10.80	4	20	8"	0.24	16	536.62	534.00	2.62	n=0.013
13-14		54	8	32	4.35	-	-	1.087	-	0.012	1.425	3.80	4	20	8"	0.22	17	527.63	527.21	1.63	
14-15		77	24	56	4.30	-	-	1.861	-	0.018	2.463	8.60	70	20	8"	5.39	18	518.88	518.00	2.88	
15-16		85	24	80	4.27	-	-	2.669	-	0.020	3.490	14.50	120	20	8"	10.20	19	517.04	515.02	2.02	
16-17		70	48	128	4.21	-	-	4.210	-	0.016	5.489	12.80	97	20	8"	6.79	20	515.80	514.03	3.80	
17-18		90	32	160	4.18	-	-	5.225	-	0.021	6.813	9.70	90	20	8"	8.10	21	548.53	544.53	4.00	
18-19		14	-	440	4.00	-	-	13.750	-	0.003	17.878	13.10	70	20	8"	0.98	22	535.80	534.17	3.63	
19-36		17	-	440	4.00	-	-	13.750	-	0.004	17.879	7.30	58	20	8"	0.99	39	522.50	521.77	2.23	
20-21		74	24	24	4.37	-	-	0.819	-	0.017	1.082	17.20	140	20	8"	10.36	24	520.27	519.99	3.83	
21-22		80	24	48	4.32	-	-	1.620	-	0.018	2.124	16.60	130	20	8"	10.40	25	515.71	512.39	3.32	
22-23		70	24	72	4.28	-	-	2.407	-	0.016	3.145	1.90	4	20	8"	0.28	26	515.80	512.00	3.80	
23-24		78	32	104	4.24	-	-	3.445	-	0.017	4.498	10.70	100	20	8"	0.39	39	528.67	524.17	2.50	
24-36		98	48	152	4.19	-	-	4.978	-	0.022	6.491	0.10	4	20	8"	8.00	28	517.34	516.17	2.34	
25-26		80	32	32	4.35	-	-	1.087	-	0.018	1.431	11.70	100	20	8"	8.00	29	518.00	515.00	2.34	
26-27		80	40	72	4.28	-	-	2.407	-	0.018	3.147	1.70	10	20	8"	0.80	30	538.40	536.60	1.80	
27-36		55	24	96	4.25	-	-	3.187	-	0.013	4.156	0.40	4	20	8"	0.22	39	540.20	538.20	4.00	
28-29		100	40	40	4.33	-	-	1.353	-	0.023	1.782	1.80	4	20	8"	0.40	31	540.50	535.88	4.62	
29-30		80	32	72	4.28	-	-	2.407	-	0.018	3.147	0.40	4	20	8"	0.32	33	540.00	535.68	4.32	
30-31		50	16	88	4.26	-	-	2.929	-	0.011	3.819	1.00	4	20	8"	0.20	34	528.65	527.32	3.15	
31-32		88	48	136	4.20	-	-	4.462	-	0.020	5.821	12.90	95	20	8"	8.36	35	525.50	525.50	3.00	
32-33		89	48	184	4.16	-	-	5.980	-	0.020	7.794	2.20	20	20	8"	1.78	36	524.56	522.72	1.84	
33-34		40	32	216	4.14	-	-	6.989	-	0.009	9.089	5.40	25	20	8"	1.00	37	516.86	515.00	1.86	
34-35		93	16	232	4.12	-	-	7.467	-	0.021	9.712	6.30	83	20	8"	7.72	38	515.80	514.00	3.80	
35-36		20	-	232	4.12	-	-	7.467	-	0.005	9.712	5.30	50	20	8"	1.00	39	512.00	512.00	3.80	

Tabla No. 3.- REGISTRO DE CÁLCULO HIDRÁULICO DE LA RED DE ALCANTARILLADO SANITARIO DEL FRACCIONAMIENTO SAN ANDRÉS DEL MUNICIPIO DE VILLA DE SANTIAGO, N.L.

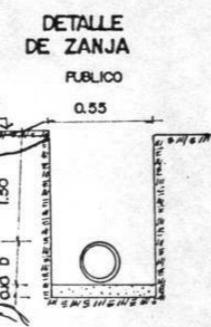
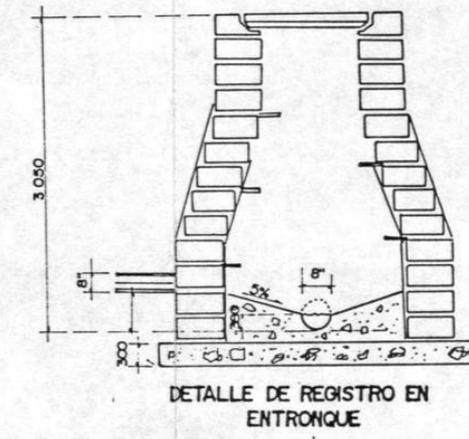
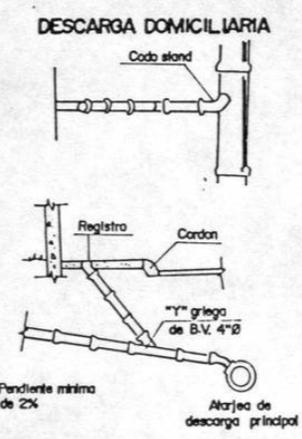
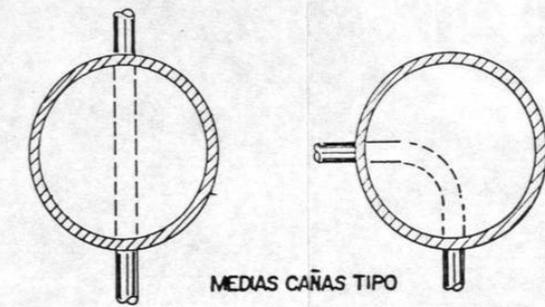
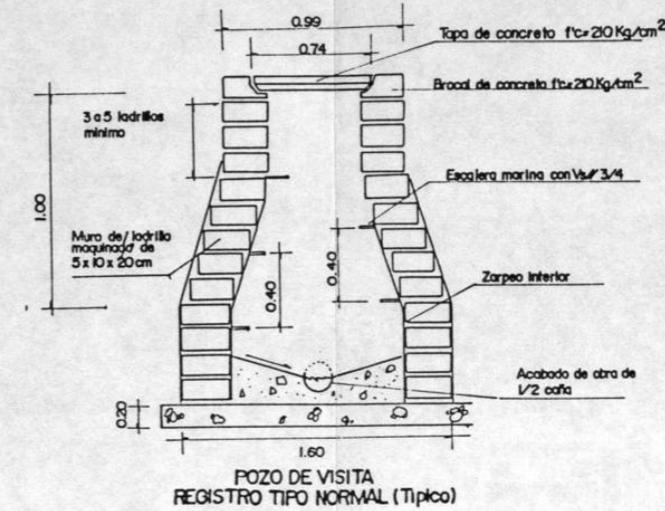
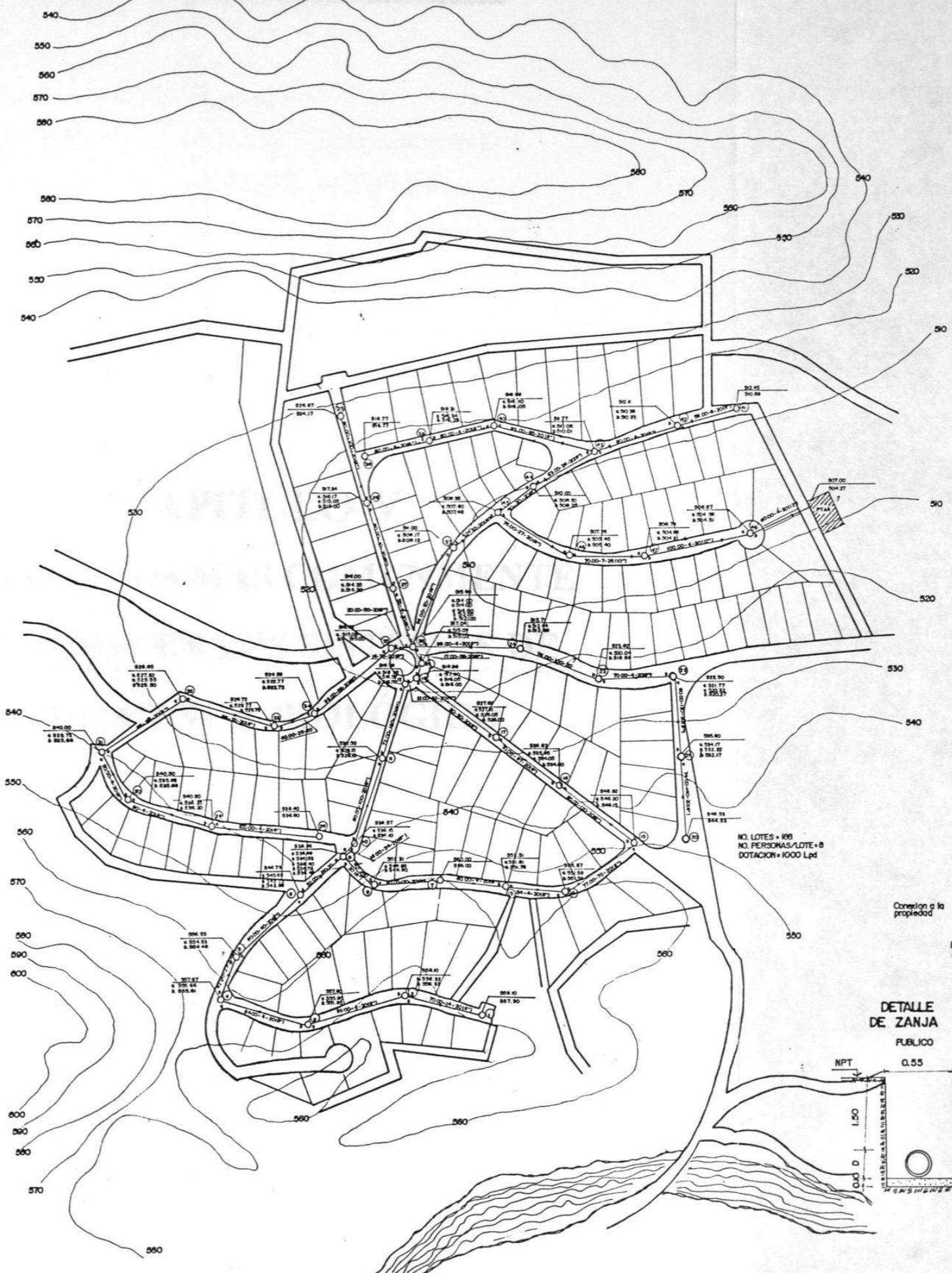
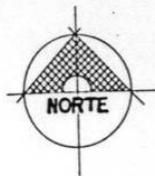
TRAMO	IDENTIFICACIÓN	LONG. (m)	POBLACIÓN		M	EDF UD	POB	EDIF	GASTOS (LPS)			TOTAL	CALLE(%)	PENDIENTE TUBO (MILES)	DIAMETRO		H _s x L/1000 mca	NUM. REG.	TERR	COTAS PLANT	PROF. (m)	OBSERVACIONES
			PARCIAL	ACUMI					INFILT	ERRAT	CM				PULG							
36-37		98	40	960	3.81	-	28.575	-	0.022	8.572	37.169	5.00	30	20	8"	2.88	40	511.00	508.12	1.88		
37-45		52	40	1000	3.80	-	29.887	-	0.012	8.906	38.805	3.20	32	20	8"	1.67	48	508.35	507.45	1.89		
38-39		60	16	16	4.38	-	0.549	-	0.014	0.165	0.728	0.80	8	20	8"	0.48	42	518.31	518.29	2.02		
39-40		60	16	32	4.35	-	1.087	-	0.014	0.328	1.427	0.60	4	20	8"	0.24	43	518.68	516.05	2.63		
40-43		93	32	64	4.29	-	2.145	-	0.021	0.643	2.809	7.40	65	20	8"	6.04	46	511.82	510.01	1.81		
41-42		58	8	8	4.42	-	0.276	-	0.013	0.083	0.372	0.80	6	20	8"	0.35	44	512.45	510.68	1.77		
42-43		80	16	24	4.37	-	0.819	-	0.018	0.246	1.063	0.40	4	20	8"	0.32	45	512.11	510.33	1.78		
43-44		63	16	104	4.24	-	3.445	-	0.014	1.033	4.482	2.80	28	20	8"	1.78	47	510.00	508.25	1.75		
44-45		40	24	128	4.21	-	4.210	-	0.009	1.283	5.482	1.60	20	20	8"	0.80	48	509.35	507.45	1.90		
45-46		76	72	1200	3.75	-	35.062	-	0.017	10.519	45.588	2.70	27	20	8"	2.05	49	507.28	505.40	1.80		
46-47		70	104	1304	3.72	-	37.897	-	0.016	11.369	49.262	0.70	7	25	10"	0.49	50	506.79	504.91	1.88		
47-48		100	160	1464	3.69	-	42.204	-	0.023	12.861	54.898	0.12	4	30	12"	0.40	51	506.67	504.51	2.16		
48-PTAR		60	40	1504	3.68	-	43.240	-	0.014	12.872	56.228	0.50	4	30	12"	0.24	PTAR	507.00	504.27	2.73		

4.3.- Plano de la Red de Alcantarillado

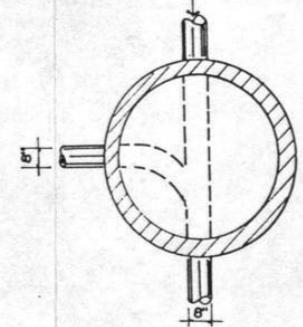
A continuación se muestra el plano de la red de drenaje sanitario público proyectado para el fraccionamiento “San Andrés”, en el cual aparecen los siguientes aspectos:

- La Localización de los lotes del fraccionamiento
- Las Calles (vialidad)
- Las Cotas de crucero
- La Localización de entronque a la Planta de Tratamiento de aguas residuales
- Los Derechos de paso
- La Nomenclatura
- La Localización de los registros (pozos de visita)
 - Común
 - De caída
 - De adosado
 - Detalles de zanjas, registros, material, etc.

RED DE DRENAJE SANITARIO



- SIMBOLOGIA**
- (N) NUMERO DE REGISTRO
 - (O) REGISTRO PUBLICO
 - (E) COTA DE TERRENO
 - (P) COTA DE PLANTILLA
 - L-S-D LONG-FEND-DIAMETRO



CAPITULO V

**LOS TÉRMINOS MÁS COMUNMENTE
UTILIZADOS EN LOS SISTEMAS DE
TRATAMIENTO BIOLÓGICO**

CAPÍTULO V

LOS TÉRMINOS MÁS COMUNMENTE UTILIZADOS EN LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO BIOLÓGICO

5.1.- El Oxígeno Disuelto (OD)

Definición: Es la cantidad de oxígeno disuelto en las aguas, expresada en mg de O_2/L . Corresponde a la cantidad de oxígeno transferido en el tanque de aireación, teóricamente igual a la cantidad de oxígeno requerido por los microorganismos en un sistema de lodos activados (incluido hasta los clarificadores secundarios y las líneas de retorno de lodos) para oxidar la materia orgánica y para mantener un residual de oxígeno disuelto necesario para conservar los niveles de operación. Cuando el oxígeno limita el crecimiento de microorganismos, pueden predominar en el lodo los organismos filamentosos por lo que la sedimentación y la calidad del lodo activado puede ser muy deficiente. En la práctica, la concentración del oxígeno disuelto en el tanque de aireación debe ser mantenido entre 1.5 y 4 mg/L, en toda el área del tanque; un valor común usado es de 2 mg/L. El mantenimiento de valores mayores que 4 mg/L no mejoran la operación significativamente, pero sí aumentan los costos de operación.

5.2.- La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

Definición: Es la cantidad de oxígeno en mg/L, necesaria para oxidar biológicamente los componentes de las aguas residuales. La DBO última es la suma del oxígeno consumido para que la reacción bioquímica sea completa. El perfil del oxígeno es la representación gráfica del contenido de oxígeno disuelto en un curso de agua, en función del tiempo o de la distancia y refleja el efecto de los contaminantes oxidables vertidos sobre el contenido de oxígeno de los cursos de agua.

Este parámetro es de gran importancia para determinar la efectividad del tratamiento biológico, así como para cuantificar el grado de contaminación de la descarga. Los valores típicos en el agua residual doméstica varían entre 100 y 300 mg/L. El proceso biológico secundario por aireación del tipo de lodos activados es altamente eficiente para este tipo de descargas.

La DBO es el parámetro de contaminación orgánica más ampliamente usado. Se aplica para aguas residuales y superficiales. Este parámetro involucra la medición del oxígeno usado por los microorganismos en la oxidación bioquímica de la materia orgánica.

Los contaminantes se clasifican en contaminantes naturales, vegetales, animales e industriales. Son naturales los producidos por las aguas de lluvia o nieve, a lo largo de su recorrido hasta llegar a los ríos, arrastrando las sales que se encuentran a su paso. Los vegetales se originan de la descomposición de las plantas existentes en los cauces de agua, así como a partir de aquellos, que, por motivos atmosféricos llegan a esos cauces. Los animales están representados por las excreciones, que por medios naturales o artificiales desembocan en las aguas. Entre los industriales figuran los componentes y sustancias químicas y bioquímicas que la industria vierte en las aguas.

Los métodos de ensayo en el laboratorio determinan la concentración de oxígeno en mg/L, necesaria para la descomposición por acción bacteriana de la materia orgánica de la muestra.

Valores típicos de DBO:

- Alcantarillado Doméstico:

Promedio 240 mg/L

Débil : menor que 100 mg/L

Fuerte: mayor que 400 mg/L

- Aguas Residuales Industriales:

Típicamente entre 5 000 y 100 000 mg/L y mayores

La concentración de las aguas residuales industriales es específica del lugar de origen. Además, la concentración en los residuos domésticos depende principalmente del uso del agua. La infiltración en los sistemas diluirá la concentración. Al ser transportada u almacenada en tanques reguladores, producirá una reducción muy importante.

5.3.- Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Es la cantidad de oxígeno, en mg/L, necesaria para oxidar los componentes de un agua residual en las reacciones puramente químicas. Los componentes de la muestra están constituidos por materia orgánica o inorgánica oxidable, es decir, representa la cantidad de materia orgánica que es factible de ser degradada por procesos químicos. Este parámetro tiene relación directa con la DBO y es siempre mayor. Generalmente se acepta que la DQO no sea mayor en dos o tres veces con respecto a la DBO, para que el agua pueda ser tratada por procesos biológicos secundarios. En el caso particular del agua residual doméstica, se esperan concentraciones que van de 350 a 480 mg/L.

La prueba de DQO es comúnmente usada en aguas residuales industriales que son tóxicas para las bacterias. El tiempo para ejecutar la prueba es de dos a tres horas en lugar de los cinco días requeridos para la DBO.

Los resultados de la prueba de DQO son generalmente mayores que los de la correspondiente prueba de DBO. Esto es porque los químicos fuertes pueden reaccionar con mayor cantidad de compuestos en las aguas residuales que lo que lo harían las bacterias en la mayoría de los casos.

La relación entre la DQO y la DBO es buen indicador de la biodegradabilidad de las aguas residuales; es especialmente importante en la aplicación de bio-sistemas a aguas residuales.

Entre más se aproxime la relación DBO/DQO a uno, mayor será la biodegradabilidad de las aguas residuales y, por lo tanto, más fácil su tratamiento por sistemas biológicos.

Ejemplo :

$DBO/DQO = 0.4$ a 0.6

Rápidamente Biodegradable

$DBO/DQO = 0.1$ a 0.3

La biodegradabilidad es cuestionable y requiere de pruebas de laboratorio, estudios de tratabilidad en plantas piloto.

5.4.- Los Sólidos Suspendedos Totales (SST).

Este parámetro cuantifica la cantidad de partículas que contienen las aguas residuales y que es retenida por un filtro de papel, se expresa en mg/L. Estos sólidos provienen de cocinas domésticas o de restaurantes, de aparatos sanitarios, de procesos industriales, etc.

Los Sólidos Suspendidos Totales se determinan mediante una prueba física en donde una muestra se filtra por medio de un filtro fino mediano (0.45 micras). El peso de la muestra retenida en el filtro corresponde a los SST, usualmente medido en mg/L. En la mayoría de los casos, el valor en el efluente de los SST se aproxima al valor de la DBO, en valores aproximadamente 20 - 30 mg/L. Si el efluente tiene un valor de SST mayor que 30 mg/L, la DBO, por lo regular también será mayor.

Una muestra de aguas residuales con un valor de SST de 20 a 30 mg/L, tendrá una apariencia clara, y se verá transparente cuando se vea a través de la luz.

Otra forma de cuantificar la materia orgánica en el agua residual, es mediante la prueba de Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV).

Los Sólidos Suspendidos Volátiles se usan comúnmente como una medida de la cantidad de bacterias en el Licor Mezclado del reactor. La prueba específica se identifica como Sólidos Suspendidos Volátiles en el Licor Mezclado (SSVLM).

Los microorganismos en un proceso de lodos activados usan el oxígeno de acuerdo a como ellos consumen la comida. La velocidad a la cual ellos usan el oxígeno puede ser tomada como una medida de la actividad biológica; así como una lenta utilización del oxígeno se obtiene tomando una muestra de licor mezclado saturado con OD y con un medidor de oxígeno se toma el decremento de OD con respecto al tiempo. Los resultados normalmente son reportados como $\text{mg O}_2/\text{L} \times \text{min}$ ó $\text{mg O}_2/\text{L} \times \text{hora}$.

Es importante remarcar que es deseable una alta concentración de SSVLM, ya que esto implica que la biomasa activa estará presente en la misma proporción y hábil para altas concentraciones de materia orgánica.

5.5.- Nutrientes

La remoción biológica de nutrientes del agua residual antes de descargarla a cualquier cuerpo receptor, está siendo requerida cada día más frecuentemente, debido a que ambos, nitrógeno y fósforo pueden impactar notablemente en la calidad del agua.

Los nutrientes de mayor importancia son :

1. El Carbón (COT)
2. El Nitrógeno como Amoníaco, Nitrógeno Orgánico, Nitritos y Nitratos
3. El Fósforo (P total)

5.5.1.- El Carbón (COT).

Otra forma de medir la materia orgánica presente en el agua se refiere a la prueba de Carbono Orgánico Total (COT), la cual es especialmente aplicable para pequeñas concentraciones de materia orgánica.

Este parámetro guarda una relación directa con la DQO y la DBO, con este parámetro se cuantifica la materia orgánica carbonosa. Se mide en mg/L.

5.5.2 El Nitrógeno

El nitrógeno contenido en las aguas residuales es otro parámetro de gran importancia, ya que el nitrógeno es un nutriente esencial para el proceso de metabolismo celular; generalmente, el agua residual doméstica contiene este nutriente.

El nitrógeno puede presentarse en muchas formas en el agua residual, dando pie a las numerosas transformaciones que se pueden dar en el tratamiento .

El Alcantarillado doméstico sin tratar, típicamente, contiene las siguientes concentraciones:

- Amoníaco de 20 a 30 mg/L
- Nitrógeno Orgánico de 10 a 15 mg/L
- Nitrato menor que 1.0 mg/L

A la suma del amoníaco y al nitrógeno orgánico se le llama NTK o Nitrógeno Total Kjeldahl. El nitrógeno orgánico se convertirá biológicamente en amonio durante la aireación.

Por lo expuesto anteriormente, se colige que en las aguas residuales de origen doméstico se encuentran valores típicos de NTK entre 30 y 45 mg/L.

Al proceso de convertir el amoníaco en nitrato se le llama NITRIFICACIÓN, y ésta requiere del cultivo de bacterias especializadas más que aeróbicas sensitivas, conocidas como nitrificadoras. La concentración libre de oxígeno disuelto deberá mantenerse por arriba de los 2 mg/L, para que los nitrificadores funcionen.

Es importante notar que el proceso de nitrificación, por sí mismo, no remueve el nitrógeno del sistema. La nitrificación estabiliza (oxida) el amoníaco y convierte el NTK en nitrato, lo cual creará una demanda de oxígeno inmediata en las aguas que se reciben. El Nitrato, sin embargo, es un fertilizante y puede promover el crecimiento de algas, las cuales finalmente mueren y, como consecuencia de esto, todavía crea una adicional demanda de oxígeno por medio del proceso de descomposición. Con el fin de remover el nitrógeno del sistema, el nitrato debe ser removido por medio del proceso biológico conocido como DESNITRIFICACIÓN.

En la desnitrificación es necesario provocar un estado anóxico, ausencia de oxígeno libre disuelto, donde los nitratos están presentes. Proceso que utiliza bacterias para convertir (reducir) nitratos a gas nitrógeno y, como consecuencia, restar nitrógeno del sistema. La concentración de oxígeno disuelto debe estar cercana a cero, para que, ocurra la desnitrificación. El proceso de desnitrificación no es tan sensitivo para desordenarse como lo es la nitrificación.

Es importante notar que la NITRIFICACIÓN debe de ocurrir antes que la DESNITRIFICACIÓN, ya que es necesaria la presencia de los nitratos.

El nitrógeno (preferentemente amoníaco) es necesario para el crecimiento de bacterias y debe ser mantenido aproximadamente en una relación de 1/20 con la concentración de la DBO en aguas residuales.

Ejemplo:

Influyente industrial DBO = 2000 mg/L

Amoníaco requerido = 100 mg/L

Si no se encuentra disponible suficiente amoníaco, éste deberá ser aumentado para mantener una situación saludable para las bacterias.

5.5.3 El Fósforo

El fósforo, al igual que el nitrógeno, es un nutriente esencial para el metabolismo celular e indispensable en los procesos biológicos secundarios. El agua residual doméstica contiene las cantidades necesarias de fósforo para que se pueda aplicar cualquier proceso biológico.

El fósforo se presenta naturalmente en aguas residuales domésticas en una concentración cercana a 10 mg/L como fósforo (P).

Es importante conocer la concentración del fósforo en los sistemas de tratamiento biológico para aguas residuales, ya que la concentración de fósforo (P) debe mantenerse en una relación de 1/100 del valor del carbón (DBO).

Ejemplo:

Aguas residuales industriales DBO = 2000 mg/L

Mínima concentración deseada de P = 20 mg/L

La remoción del fósforo en los sistemas biológicos de tratamiento ocurre vía bio-absorción en crecimiento normal, y un fenómeno conocido como “absorción excesiva” se presenta cuando la bacteria previamente sometida a un estado anaeróbico, absorbe más fósforo que el que normalmente se requiere para el crecimiento y funciones metabólicas.

Tradicionalmente, el fósforo es removido efectivamente del reactor al agregar pequeñas cantidades de algún coagulante como hierro o sales de aluminio, las cuales inmediatamente precipitan el fósforo; éste, entonces, es removido en los lodos residuales activados.

5.6.- Potencial Hidrógeno (pH)

El grado de acidez o alcalinidad de un líquido depende de la concentración de iones hidronio en solución. Esto se cuantifica mediante el parámetro del pH, en una escala de cero a catorce. Los compuestos que producen acidez son aquellos que, al disolverse, producen iones hidronio.

El potencial hidrógeno (pH) se refiere a una concentración potencial de hidrógeno y es una medida del ácido o naturaleza base de las aguas residuales. El número pH es un valor logarítmico de base 10.

Ejemplo:

Un incremento o disminución de una unidad de pH indica un nuevo estado de pH diez veces más básico o ácido.

Los sistemas biológicos operan mejor en un pH cercano a lo neutral o sea 7.0. Una buena operación puede ser obtenida en el rango de 6.0 a 8.0 (preferiblemente de 6.0 a 6.7), e inclusive más allá, en casos especiales. Los requerimientos del efluente usualmente varían entre el 6.5 y el 9.0. Por ejemplo, la lluvia ácida dañina es menor de 4.0.

Si el pH está más allá del rango entre 6.0 y 8.0, las aguas residuales deben ajustarse químicamente, para satisfacer los requerimientos biológicos, para asegurar un proceso estable y saludable.

5.7.- Las Grasas y Aceites

Este parámetro incluye a todos los compuestos de carácter graso y al aceite de origen vegetal o animal; se mide en mg/L. Estos tipos de compuestos se presentan en el agua residual de carácter doméstico, debido a los residuos de alimentos que se arrastran y que contienen compuestos grasos, con concentraciones alrededor de los 80 mg/L.

5.8.- Las Bacterias Coliformes

El grupo de bacterias denominado “coliformes” se utiliza como indicador de que una muestra de agua se encuentra o no contaminada por organismos patógenos.

El grupo coliforme se divide en coliformes fecales y coliformes totales. El primero representa a los coliformes provenientes del tracto intestinal del ser humano o de animales mayores. Los coliformes totales incluyen a los coliformes fecales y a los coliformes que suelen encontrarse en el suelo.

**CAPITULO VI.-
DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA TF/SC
UTILIZADO EN EL DISEÑO DE UNA
PLANTA DE TRATAMIENTO**

CAPÍTULO VI DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA TF/SC UTILIZADO EN EL DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO

6.1.- Generalidades

El proceso de filtro percolador en contacto con sólidos (TF/SC) consiste en un filtro percolador, un tanque de aireación de contacto, y un clarificador final. Las modificaciones de este sistema incluyen un tanque de aireación del fango recirculado y el uso de clarificadores - floculadores. Los filtros percoladores se dimensionan para eliminar la mayor parte de la DBO, normalmente del 60 al 85 por ciento. Los sólidos biológicos desprendidos en el filtro percolador (bitorre) se concentran mediante la recirculación en el tanque de contacto. En el interior de éste, el cultivo en suspensión se airea durante menos de una hora, provocando la floculación de los sólidos suspendidos y una mayor eliminación de la DBO soluble. Cuando se emplean tiempos de contacto de sólidos cortos suele ser necesario incorporar un tanque de reaireación del fango. Debido al alto contenido de sólidos dispersos en el efluente del tanque de contacto, se ha comprobado que los decantadores - floculadores son muy efectivos para la captura de sólidos.

El rendimiento global en la eliminación de la DBO en los procesos TF/SC se determina calculando la eliminación de la DBO soluble que se produce en el filtro percolador (bitorre) y en el tanque de aireación de contacto. Se ha desarrollado un modelo para predecir la eliminación de la DBO soluble en filtros percoladores que utilizan un medio de material plástico. El uso de material plástico se basa en curvas de rendimiento para medios de flujo transversal con módulos de 0.61 m de profundidad. Como ejemplo, se tiene que una bitorre de 2.44 m de profundidad de medio y una carga hidráulica de $40 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ d}$, se pueden conseguir rendimientos de eliminación del 50 % de la DBO soluble.

6.2.- Descripción del proceso TF/SC

El proceso TF/SC, denominado así por sus siglas en inglés TF (Trickling Filter que significa Filtro Percolador), y SC (Solids Contact que significa contacto de sólidos), es un sistema aeróbico completo para el tratamiento de las aguas residuales industriales y municipales que combina las ventajas de los sistemas biológicos de medio fijo y medio suspendido. Es diseñado con las medidas específicas que se requieran.

El proceso incorpora tratamientos biológicos y físicos que incluyen:

1. Un Filtro percolador.
2. Un Tanque de aireación y contacto de sólidos.
3. Una Zona de floculación.
4. Un Clarificador secundario.

Este proceso es más conveniente por las características de cada elemento, ya que cuenta con un sistema de transferencia de oxígeno y energía eficiente, un filtro percolador, y la remoción de la DBO de un 65 a 85 %. Los sólidos biológicos formados en el filtro percolador son los que salen como lodo por el bajo dren y concentrados en la recirculación de lodos en el tanque de contacto de sólidos y aireación (ACS). Aquí, el crecimiento del cultivo suspendido es fortalecido en la floculación, donde es finalmente dividido junto con los sólidos gruesos del filtro percolador.

Muchos de los sólidos del filtro percolador son de las capas anaeróbicas, así el tanque de estabilización por contacto debe tener suficiente aireación para revertir las condiciones anaeróbicas y preparar los sólidos para la biofloculación. El tanque también aumenta la floculación de sólidos suspendidos que pasan del efluente primario del filtro percolador sufriendo cambios. En algunas plantas, se usa el tanque de aireación de lodos para condicionar el reciclaje de los sólidos biológicos. El tamaño del tanque de ACS y la duración del período aeróbico depende del diseño y de la carga del filtro percolador.

El tanque ACS puede remover DBO soluble, a sabiendas de que la remoción de DBO soluble tanto del filtro percolador como del tanque ACS reduce los costos. Los tanques ACS son más pequeños que los tanques de lodos activados, porque el tiempo de residencia en el tanque ACS es más pequeño que en el lodo activado, ya que varía de 3 a 60 minutos por 120 a 480 minutos que ocurre en el tanque de lodo activado.

Cuando se usen tiempos pequeños de contacto de sólidos, se necesitará de mayor aireación en el tanque de aireación de lodos activados, para asegurar que los sólidos sean adecuadamente aireados, a fin de mantener una buena calidad de las propiedades de la biofloculación.

El uso de burbuja fina en la aireación minimiza la turbulencia en el tanque ACS para mantener adecuados los niveles de oxígeno disuelto. Aún con una turbulencia reducida, el efluente contiene niveles altos de sólidos dispersos, cuando éstos entran al clarificador. El proceso de transferencia por sí mismo produce un grado de ruptura del floc, para dar una floculación adicional en el clarificador, la cual ocurre en un espacio diseñado en centro del tanque. Aquí los floc más grandes son sacados hacia el clarificador secundario; por esa razón el centro del tanque es llamado Clarifloculador.

El tanque ACS remueve eficientemente la DBO soluble remanente en el efluente del filtro percolador. Junto con el tanque ACS, el filtro percolador tendrá que ser de un costo muy grande, para obtener niveles bajos de DBO soluble.

Con el tanque ACS, el filtro percolador puede operar muy eficientemente, en términos de energía (en caso de ventilación forzada). Entonces, el TF/SC combina las mejores características de uso de energía de los procesos y sistemas de crecimiento de suspendidos para minimizar la inversión de capital.

Para distinguir el proceso TF/SC del proceso Filtro percolador/ procesos de crecimiento suspendidos la Environmental Protection Agency (EPA) ha definido el proceso TF/SC mediante las siguientes características:

1. La función del tanque ACS es la de incrementar la captura de sólidos y floculación, y reducir partículas de DBO.
2. La mejor remoción de DBO soluble ocurre en el filtro percolador.
3. El retorno de lodos se realiza mezclandolos con el efluente del filtro percolador en lugar del efluente primario.
4. El tanque ACS no es diseñado para nitrificar, aunque la nitrificación puede ocurrir en el filtro percolador.
5. El tiempo de contacto de los sólidos aireados es de una hora, por lo menos, basado en un flujo total que incluye el reciclo.
6. El tiempo de retención de los sólidos en el tanque ACS es por lo menos de dos días.

La mayoría de los diseños TF/SC tienen tiempos de residencia de sólidos considerablemente menos de dos días, un rango típico sería de 0.2 a 1 día, dependiendo de los objetivos de la biofloculación.

En el **Anexo A.3** se muestran algunas variaciones del proceso TF/SC, y en el **Anexo A.4** se puede ver el resumen de algunos proyectos donde se utilizó el sistema TF/SC.

APLICACIONES.- Algunas investigaciones han mostrado que la zona de floculación en el clarificador secundario puede compensar la ruptura de floc en el estanque de aireación.

6.2.1.- Conceptos de diseño de procesos.-

El diseño de cada elemento del proceso TF/SC debe considerar todos los objetivos del proceso y las interacciones entre los procesos por etapas. Ambas transformaciones en DBO soluble y el nivel en el influente de SS deben ser considerados para las descripciones cinéticas y el balance de la masa.

6.2.1.1.- Tratamiento primario.

Otros estudios detallados de plantas con TF/SC hechos por la EPA muestran que los sólidos del efluente final son relacionados con los niveles de SS en el efluente primario. En una planta, cuando el valor del efluente primario alcanza de 20 a 60 mg/L, los SS del efluente del TF/SC se disminuyen de 6 a 11 mg/L. Es importante recalcar que la necesidad del tratamiento primario eficiente anteceda al proceso TF/SC, donde se desean bajos los niveles de SS; sin embargo, no siempre los SS del influente del TF muestran efectos en los SS del efluente final.

Los efectos observados de los SS del influente indican que la floculación en el tanque ACS es un mecanismo de remoción de sólidos. De la cantidad de sólidos dispersos que se tengan, una fracción es floculada y los demás siguen su paso en el efluente.

En un número de plantas con proceso TF/SC, costeados los desechos sólidos del filtro percolador y las rastras de desechos sólidos, se tiene un efecto positivo en la eficiencia del tratamiento primario o grosor de la capa de lodos. Estas plantas presentan temperaturas de aguas residuales típicas por lo menos de 20 °C y sin exceso de velocidad de sobreflujo; sin embargo, en climas cálidos con temperaturas de agua por encima de los 20 °C, con pequeñas concentraciones de lodo de un 3.5 % de sólidos totales, más que del 4 al 6 % de sólidos totales obtenidos en temperaturas locales. Este resultado refleja indudablemente el desarrollo de la actividad biológica en la zona de espesamiento de los clarificadores primarios. En casos donde los diseñadores usen altas velocidades de flujo, los espesamientos extras deberán de ser evitados, igual que el arrastre y la resuspensión de lodos. En una planta, la remoción rápida de lodos elimina el incremento de la DBO soluble, a través del tanque primario que presenta la actividad biológica.

Debe ponerse especial atención en el diseño del tanque de sedimentación primaria, ya que se puede maximizar la eficiencia hidráulica y aumentar el desempeño del proceso TF/SC.

En el **Anexo A.5** se muestra la sección transversal de un clarificador primario tipo. Allí se indica una preaireación para la remoción de arena y una floculación del desecho sin tratar o “agua cruda”. Algunos estudios muestran aumentos del 1 al 10 % de remoción de SS cuando los tanques de preaireación son contiguos a los tanques primarios. Este arreglo causa una mínima pérdida entre los tanques y mantiene el estado de floculación de los sólidos como ellos tienen en el tanque de preaireación.

El **Anexo A.6** muestra una excelente eficiencia de remoción de estos clarificadores rectangulares. Las plantas que se diseñan con base en este gráfico, usan tanto una remoción rápida de lodos como una separación biológica de los mismos. Se comparan los datos para el desempeño de unos tanques convencionales y otros reportados. Con este tipo de tanques es posible reducir tanto el tamaño como los costos de las estructuras de tratamiento primario significativamente. Un sobreflujo punta puede ser de 6 m/h (3,500 gal/ft²/d) con una declinación significativa en la eficiencia.

6.2.1.2.- Los Filtros percoladores.

En el proceso TF/SC, el papel del filtro percolador es remover la DBO. Dado que el tanque ACS puede ser utilizado para la remoción de los sólidos suspendidos, se usa más la DBO soluble que la DBO total para juzgar la eficiencia del filtro percolador.

Tanto los medios plásticos como de roca, pueden ser usados con buenos resultados. Algunas plantas con TF/SC usan medios de roca contigua.

Existen medios filtrantes de roca que pueden a menudo ser usados teniendo bajas cargas orgánicas y espacios originalmente empleados. Los filtros percoladores de roca son conservadoramente diseñados para bajas concentraciones de SS y niveles particulares de DBO, y a menudo producen niveles bajos de DBO soluble. El incremento de cargas en filtros de roca pueden frecuentemente aumentar la capacidad de la planta, particularmente cuando el tanque de ACS es muy grande para remover niveles de DBO soluble.

En nuevas biorreactores, los medios plásticos recientes, el peso ligero y los grandes espacios de medio plástico permiten el uso de torres más altas y cargas orgánicas mayores. El medio plástico es típicamente usado para nuevas plantas o para ampliaciones de plantas existentes. El medio de hoja corrugada es ahora más usado universalmente, donde se especifica el medio plástico. El original medio de hoja tiene corrugaciones orientadas verticalmente, pero los diseños más recientes tienen corrugaciones inclinadas a 30 ° con la vertical y hojas alternadas para crear puntos de contacto. Otros estudios muestran que el flujo a través del medio (CF) es significativamente más eficiente en la remoción de la DBO soluble que el medio original vertical. Esto también permite una oxidación - nitrificación de carbono.

La ecuación modificada de Velz es tradicionalmente usada para predecir remoción de DBO soluble en los filtros percoladores y para el dimensionamiento de las unidades y, sin embargo, esta ecuación no da resultados precisos para filtros de medio plásticos. La variabilidad de sitio en el coeficiente de tratabilidad para el mismo tipo de medio, puede estimarse en el tamaño de los filtros que varían hasta en un 100 %.

Los filtros percoladores en el proceso TF/SC son diseñados para un mínimo de reducción de DBO soluble de 50 %. El Anexo A.7 muestra que la reducción del 50 % puede ser completada en una torre con 2.40 m (8') del medio, con una velocidad de aplicación de 1.66 m/h (0.68 gpm/ft²). Alternativamente, una torre con 4.90 m (16") puede tener un 50 % de reducción, con una velocidad de aplicación de 3.67 m/h (1.5

gpm/ft²). Esta torre requerirá de un 9 % menos de medio, que formará, con el problema de tener grandes costos de operación a causa del bombeo. El modelo muestra que el desempeño de la torre no es tan dramático con una torre de gran profundidad. La decisión de la profundidad de la torre puede ser basada en comparaciones de costo final tanto por los costos de operación como por los de mantenimiento.

6.2.1.3.- El Tanque de aireación y contacto de sólidos.

El tanque ACS complementa el proceso del filtro percolador para convertir los sólidos no sedimentables, en el filtro percolador del influente, en agregados biológicos floculados que sedimentarán en el clarificador. Con un tiempo de residencia suficiente, el tanque ACS puede remover adicionalmente DBO soluble. Para nuevas plantas, los diseñadores pueden determinar el costo menor en combinación con la remoción de la DBO soluble en el filtro percolador y en el tanque ACS.

Información de 17 plantas operando con el sistema TF/SC y 18 estudios piloto indican que el éxito de la biofloculación requiere tanto del contacto físico del influente de TF con el retorno de los sólidos biológicos y suficiente aireación para que estos sólidos biológicos se mantengan en estado de actividad biológica. Las plantas de TF/SC con medio de roca, tiene la ventaja de que los sólidos del influente son justamente floculados y, por lo tanto, requieren de una retención de aire pequeña para mantener la biofloculación que genera los sólidos en el medio plástico.

El tiempo para la floculación física es relativamente corto, comparándolo con el tiempo de detención requerido para mantener los sólidos en estado aeróbico. La floculación ocurre en menos de 12 minutos. El tiempo de residencia ha sido de 3 minutos; sin embargo, una floculación adicional física ocurre en el centro del tanque clarifloculador. Ambas cámaras deberán de ser consideradas cuando se determinen los requerimientos de floculación.

En las plantas de modo I TF/SC, puede tener lugar un nivel significativo de remoción de DBO soluble en el tanque ACS. La remoción cinética de primer orden en el arreglo ACS ha sido usada para estimar la remoción de DBO soluble de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\ln (C/C_0) = - K_{20} \varnothing^{T-20} X_v t \text{ ----- (1)}$$

C_0 = DBO soluble carbonácea de licor mezclado en el comienzo del canal (mg/L)

C = DBO soluble carbonácea después del tiempo t (mg/L)

K_{20} = Velocidad de reacción de primer orden a 20 °C (L/mg - min.)

\varnothing = Coeficiente de corrección de temperatura ($\varnothing = 1.035$)

T = Temperatura del agua residual °C

X_v = Sólidos suspendidos volátiles de licor mezclado (SSVLM)(mg/L)

t = Tiempo de contacto, basado en el flujo total en el canal (min.)

$$K_{20} = 2 \times 10^{-5} \text{ a } 3.3 \times 10^{-5} \text{ L/mg - min.}$$

La C_0 al final del canal puede ser relacionada con la DBO soluble del efluente en el efluente del TF (S_1) por un simple balance de masa:

$$(1 + R) C_0 = RC_1 + S_1 \text{ -----(2)}$$

R = Proporción de la recirculación de retorno de lodo.

S_1 = DBO soluble del efluente de TF (mg/L).

C_1 = DBO soluble del efluente del tanque ACS.

Usando las ecuaciones (1) y (2), se puede calcular la eficiencia de remoción de la DBO soluble, a través del tanque de contacto. El Anexo A.8 ilustra un ejemplo. Para las condiciones mostradas en el Anexo A.8, la remoción de la DBO soluble toma lugar rápidamente con un 80 %, dentro de 20 minutos de tiempo de contacto.

Para completar el ejemplo, el Anexo A.7 (para el Filtro Percolador) y el Anexo A.8 (para el tanque ACS) juntas demuestran la remoción óptima de DBO soluble entre los dos procesos unitarios. Por ejemplo, considerando un desperdicio con una temperatura de 15 °C y un efluente primario con DBO total de 150 mg/L y DBO soluble de 75 mg/L. Para una descarga el proceso debe producir una DBO con nivel de 10 mg/L. Con una torre de módulo 8, los siguientes dos casos satisfacen el diseño descrito:

Tabla No. 4.- Porcentaje de Remoción en el Filtro Percolador (TF) y Tanque de Aireación y Contacto de Sólidos (TACS) para diferentes cargas hidráulicas y tiempo de contacto en TACS.

Parámetro	Caso A	Caso B
Carga Hidráulica en TF en m/h (gpm/ft ²)	1.3 (0.53)	2.0 (0.82)
Tiempo de contacto en ACS (min.)	4.0	10.0
% de Remoción en TF	80	67
% de Remoción en ACS	33	60

En el caso A, usamos una carga hidráulica de 1.3 m/h, la cual corresponde a un filtro percolador con carga orgánica de 0.96 Kg./m³/d (60 lb DBO/1000 ft³/d). En el caso de B, la carga hidráulica y la correspondiente carga orgánica del filtro percolador son incrementados 54 %. El caso B requiere 32 % menos de medio, pero necesita solo 6 minutos más de tiempo de contacto. Ambos ejemplos requieren de un retorno de lodos a un tanque de aireación para asegurar que los lodos tengan una buena biofloculación. Los datos relativos de los filtros percoladores y los tanques ACS favorecerán el caso B.

Este ejemplo demuestra un fenómeno general: el proceso es menos costoso cuando los filtros percoladores son operados relativamente con altas cargas de DBO (para 2 Kg/m³/d ó 125 lb/1000 ft³/d) porque el tanque ACS es muy eficiente en la remoción de DBO soluble. Como notaremos más adelante, la tendencia más reciente ha sido disminuir el tamaño de los filtros percoladores en favor de algunos tanques ACS más grandes.

6.2.1.4.- El Clarifloculador.

Los clarifloculadores secundarios en plantas con TF/SC son clarifloculadores típicamente circulares, como se muestra en el Anexo A.9. Ello incluye los siguientes aspectos de diseño:

1. Un Floculador central en el tanque, para la incorporación de sólidos dispersos.
2. Profundidades de agua del tanque de 5.0 a 6.3 m, para mantener una adecuada distancia vertical entre la salida del efluente y la capa de los mismos.
3. El Desalojo rápido de los lodos por remoción hidráulica de lodos.
4. Interrupción de la salida o arrastre de sólidos, en la salida del efluente.

Los clarifloculadores son operados con niveles de capas de lodos de cuando mucho 0.3 m (1') para:

1. Minimizar la influencia de la capa de lodos sobre la cantidad de SS del efluente.
2. Mantener los sólidos secundarios en estado aeróbico.
3. Disminuir la desnitrificación, la cual causa flotación de sólidos.

Los estudios piloto en Corvallis, Oregon y Tolleson, Arizona, U.S.A; demuestran que el floculador central del tanque contribuye significativamente en la eficiencia de la clarificación.

En Tolleson, el nivel de sólidos dispersos disminuyó 5 mg/L a través de floculador central. En Corvallis, la disminución fue de aproximadamente 14 mg/L.

La profundidad en los tanques secundarios en plantas de lodos activados ha contribuido a mejorar el promedio de SS en el efluente e incrementar el proceso de estabilidad, comparado con el diseño de tanques poco profundos similares. La profundidad del clarifloculador tiene un buen desempeño en plantas con procesos TF/SC, según datos generados en plantas construidas a escala. El Anexo A.10 muestra el desempeño superior de los clarifloculadores, comparado con unidades convencionales.

Mensualmente, los niveles de SS en el efluente tienen valores de 10 mg/L y se obtienen por promedios mensuales de velocidades de sobreflujo de 2 m/h (1200 gal/d/ft²). La curva de desempeño, esencialmente, es plana para este punto, en comparación con el clarificador secundario, donde el desempeño baja rápidamente con un incremento en las velocidades de sobreflujo, como lo muestran las figuras.

Las profundidades de los clarifloculadores pueden variarse con velocidades de sobreflujo significativamente altas, como en los clarifloculadores convencionales de baja profundidad. La reducción en número de clarifloculadores se compensa por el costo e incremento de la profundidad del clarificador. El costo adicional del floculador central es mínimo. Únicamente se requiere de un gran deflector y la velocidad de sobreflujo no cambia para el área del centro del tanque (floculador). Estos clarifloculadores pueden producir un efluente con un promedio en el nivel de SS de 10 mg/L o menos. Este autodesempeño permite a las plantas manejar hasta 10 mg/L, para evitar un aumento en el efluente filtrado.

6.3.- Resultados de la Operación de Plantas.

Los resultados de la operación de cinco plantas presentadas en esta sección dan una clara idea del desempeño del tratamiento a escala. Estos datos provienen de las plantas de laboratorio y reportados mensualmente. No se excluyó ningún dato y esos datos representan el trabajo continuo por un año. Se detallan las plantas seleccionadas en el **Anexo A.11.**

El tamaño de las plantas varía significativamente, de acuerdo con las cinco plantas cuyo promedio de flujos secos está dentro del rango de 0.12 a 2.74 m³/s (2.7 a 625 MG/d). Tres de las cinco plantas que operan con TF/SC tienen el arreglo del tanque ASC Mode III. Tres de las plantas usan medios plásticos en los filtros percoladores, dos usan la roca original. La carga orgánica del filtro tiene un rango de 0.38 a 1.42 Kg./m³/d (24 a 89 lb/1000 ft³/d). Los tanques tienen rangos de ancho y los tiempos de residencia varían de 2 a 54 minutos.

Todas las plantas usan clarifloculadores secundarios del tipo clarifloculador descritas anteriormente. La planta Garland incluye filtración del efluente que fue modificado y retenido de la planta original de tratamiento fisicoquímica.

El resumen anual de la calidad del efluente para estas plantas aparece entre el **Anexo A.12** y el **Anexo A.16**. Más datos comprensivos en algunas de estas plantas se presentan en las referencias 1, 3, 5, 6 y 15. Los problemas creados por la nitrificación parcial en el filtro percolador aparecen en los datos proporcionados por la planta de Corvallis y se muestran en el **Anexo A.12**. Aquí el promedio anual de DBO total es 15 mg/L, de la cual la DBO carbonácea (DBO_c) es de 6 mg/L. El último valor refleja la inhibición por nitrificación en la prueba de DBO, a través del uso de un químico. La prueba de la DBO carbonácea refleja aún mejor la remoción de la DBO actual.

Así como Corvallis, debe de darse una consideración especial a todos los elementos del diseño y operación de una planta. Por ejemplo, el manejo del reciclaje de sólidos en una planta llega a ser especialmente importante porque el proceso se limita a que la floculación divida finamente los sólidos, característica del reciclaje de las operaciones y procesos de sólidos. El proceso puede también ser disminuido hasta permitir un 45 - 45, según estudios de plantas piloto de Omaha, Nebraska, U.S.A. que se muestran. El **Anexo A.17** muestra los resultados de las cargas en este estudio.

La aceptación del proceso TF/SC por los operadores de plantas resulta un aspecto importante. Los autores discuten con los superintendentes de las plantas que operan con el proceso TF/SC y les preguntan sus impresiones acerca del proceso. La opinión de algunos superintendentes encargados de las plantas es: "Si me dieran a escoger entre el proceso TF/SC y el de lodos activados convencional yo no dudaría en preferir el proceso TF/SC. Para arrancar una planta de 50 MGD es mejor usar el proceso TF/SC que el de lodos activados: no hay comparación". El superintendente de la planta de Corvallis dijo : "El proceso TF/SC es muy flexible". Estas opiniones dan una razón del porque hay que estar consciente de las excelencias y debilidades de una planta, sobre todo en opinión de los operadores.

6.4.- Crónica de desarrollos recientes

El diseño del proceso TF/SC continuamente arroja más datos en operaciones a escala y en pruebas piloto. Un ejemplo de esta evolución es un cambio en el diseño del clarifloculador con velocidades de sobreflujo punta puede incrementarse tanto como a 3.4 m/h (2000 gal/d/ft²). Estos cambios reducen los costos en las aplicaciones del proceso TF/SC.

Otra consideración es el tamaño de los tanques ACS. En las primeras plantas de TF/SC, el filtro percolador removi6 un alto porcentaje de DBO soluble. Esto da como resultados, tiempos de contacto m6s cortos y tanques ACS m6s peque1os en tama1o, ya que solo es necesaria la biofloculaci6n. La experiencia muestra que los tanques ACS tienen un alto grado de remoci6n de DBO soluble, cuando los tiempos de contacto son grandes; pero menores que 60 minutos. Anteriormente se ha descrito que los tama1os de los filtros percoladores y los de los tanques ACS deben ser considerados juntos.

Nuevos desarrollos han producido grandes ahorros en costo, en el caso del filtro percolador. El medio m6s eficiente (medio CF) permite por lo menos una reducci6n en un 40 % del tama1o del filtro percolador. A1un m6s, una compresi6n o entendimiento de la remoci6n de la DBO soluble en los tanques ACS y el filtro percolador ha permitido un incremento en la carga de filtro percolador de 0.5 a 0.8 Kg./m³/d (30 a 50 lb DBO/1000 ft³/d) rango que puede extenderse hasta 2 Kg./m³/d (125 lb DBO/1000 ft³/d), como se muestra en la tabla 8. Los restos del efluente muestran un 30 - 30 para todas las fases en la planta piloto de Omaha donde la operaci6n de los filtros percoladores se efectu6 bajo fuertes cargas. El modo III del proceso TF/SC fue usado en el arreglo de la c6mara de s6lidos en contacto durante el estudio. El Modo I dar6 a1un valores m6s bajos en el efluente, pero niveles m6s bajos donde no todos los objetivos son de estudio, los requerimientos en el efluente de SS y DBO mensualmente son de 45 mg/L.

Las características del tanque ACS y el clarifloculador, pueden incrementar significativamente la capacidad de los filtros percoladores de las plantas que trabajen con un medio de roca. Las capacidades de carga existentes en los filtros percoladores pueden a menudo ser probadas por unidades de atracción fuera de servicio, para obtener altas cargas en las unidades en operación.

La remoción de la DBO soluble a través del filtro y la evaluación de olor pueden basarse en un sondeo o revisión, y evaluando la última capacidad de las unidades. El procedimiento tomará la mística del diseño del proceso TF/SC con filtros percoladores de roca.

Continuando con la re-evaluación de las capacidades del proceso TF/SC, se juntarán datos de plantas a escala piloto. Los datos indican que muchas de las plantas con TF/SC tienen sustancialmente mayor capacidad que la originalmente diseñada. La planta de Tolleson, Arizona y Goleta, California, plantas operadas con TF/SC han operado con un 20 a 40 % por arriba de las cargas de diseño, con un efecto significativo en la calidad del efluente; por eso han sido tomados en cuenta estos nuevos procesos de diseño, dada su capacidad de soportar cargas altas.

6.5.- Los Medios Filtrantes en Filtros Percoladores

El medio filtrante ideal sería un material que tuviese una gran área superficial por unidad de volumen, que fuese económico, y que no se obstruyese fácilmente. En el **Anexo A.18** se muestran algunos medios filtrantes típicos. Las características físicas de los medios filtrantes más empleados, se indican en el **Anexo A.19**. Hasta mediados de la década de los años sesenta, el material más empleado era el granito de alta calidad o escoria triturada. Debido a su alto costo y a problemas como la escasa superficie de poros y a la facilidad de obstrucción por la biomasa, los materiales rocosos se han venido sustituyendo por otro medio filtrante plástico, madera de secoya, o madera prensada.

En determinados casos, el uso de materiales rocosos puede ser más económico; pero su uso está en función de la disponibilidad de materiales tales como gravas de río o áridos de triturados, que son los más indicados para el uso en filtros percoladores. Los áridos deben estar bien clasificados, de manera que el 95 % tenga un tamaño entre 75 y 100 mm. Exigiendo un determinado nivel de uniformidad de tamaños se asegura la presencia de suficientes poros que permitan el flujo del agua residual y la circulación de aire. Otras características de los medios filtrantes que revisten importancia son la resistencia y la durabilidad de los mismos. La durabilidad se puede determinar en el ensayo de sulfato de sodio, que se utiliza para probar la consistencia del hormigón. Debido al peso del medio filtrante, la profundidad de los filtros de medio rocoso se suele limitar entre 1.5 y 3.0 m.

En el **Anexo A.18** se ilustran varios tipos de medios filtrantes de materiales plásticos. Los medios de plástico moldeado tienen apariencia de colmena. En su construcción se entrelazan láminas de cloruro de polivinilo (PVC) lisas o corrugadas para formar módulos rectangulares. Estas láminas suelen tener una superficie corrugada que favorecen el crecimiento de la película biológica y aumentan el tiempo de detención. Cada nivel de módulos se dispone ortogonalmente al nivel anterior, para mejorar la distribución del agua residual. Los dos principales tipos de medios de láminas de plástico corrugado son los verticales y los de flujo transversal. Ambos tipos de medio resultan eficientes en la eliminación de la DBO y de los SS para un amplio intervalo de cargas. Con el uso de medios de madera o de plástico, se han construido filtros de hasta 12 m de profundidad. La capacidad de trabajar con altas cargas y la dificultad de obturación que ofrecen estos tipos de medios los hacen especialmente indicados para su uso en filtros de alta carga.

6.5.1.- Los sistemas de drenaje inferior.-

El sistema que colecta el agua residual en los filtros percoladores, consiste en unos dispositivos de drenaje inferior para reunir el agua filtrada y los sólidos desprendidos del medio filtrante, para conducirlos al tanque de sedimentación final. En el caso de medios filtrantes rocosos, el sistema de drenaje inferior suele consistir en bloques de arcilla vitrificada o parrillas de fibra de vidrio que descansan sobre un falso fondo sobre la solera del filtro (Anexo A.20). La solera y el sistema de drenaje inferior deben ser lo suficientemente resistentes para soportar el peso del medio, de la película biológica, y del agua residual. La solera y el sistema de drenaje están dotados de una cierta pendiente (entre 1 % y 5 %) para llevar el agua recogida a canales de drenaje perimetrales o situados en el centro del filtro. Los canales de extracción del efluente se diseñan de modo que se consiga una velocidad mínima de flujo de 0.6 m/s para el caudal medio diario. Los sistemas de drenaje inferiores pueden estar abiertos en ambos extremos para facilitar las labores de inspección y limpieza, en el caso de que fuesen obturados. También sirven para ventilar el filtro, proporcionando el aire que precisan los microorganismos de la película biológica, de modo que deberían estar comunicados - por lo menos - con un canal perimetral para la ventilación de la zona del muro y con el canal de colección central.

En el caso de medios de plástico, el sistema de drenaje inferior y de soporte consiste en un sistema de apoyos y viguetas o en una parrilla. En el Anexo A.21 se muestra un sistema de drenaje inferior, típico para filtros de torre. El sistema de vigas y apoyos suele emplear vigas prefabricadas de hormigón que descansan sobre soportes. El medio se dispone encima de las vigas, que tienen canales en su parte superior para asegurar el libre flujo de agua residual y aire. Todos los sistemas de drenaje inferior se deben diseñar de modo que permitan la posterior incorporación de un sistema de ventilación forzada, para el caso de que se produzcan variaciones en las condiciones de funcionamiento del filtro.

6.5.2. La Ventilación.-

Para el correcto funcionamiento de un filtro percolador es de esencial importancia la existencia de un flujo de aire a través del mismo. Los principales factores que intervienen en el flujo de aire en un filtro abierto en su parte superior son la ventilación natural y la acción del viento. En el caso de la ventilación natural, el agente que genera el flujo de aire es el gradiente de temperatura existente entre el aire contenido y el aire atrapado en los poros del filtro. Si el agua residual tiene una temperatura inferior a la del aire ambiente, el aire de los poros será frío y el flujo de aire se producirá en sentido descendente. Si el aire ambiente tiene menor temperatura que el agua residual, el flujo de aire será ascendente. La primera situación es menos favorable, desde el punto de vista de la transferencia de masas, ya que la presión parcial del oxígeno (y por lo tanto la velocidad de transferencia del oxígeno) es menor en la zona de mayor demanda de oxígeno. En muchas regiones del país, especialmente en verano, hay épocas en las que apenas se produce alguna circulación de aire a través del filtro percolador, ya que los gradientes de temperatura son inapreciables.

6.6.- Evaluación de los Medios Plásticos en Filtros Percoladores

Para realizar el diseño de una planta de tratamiento con el sistema TF/SC, se utilizará como medio filtrante (en la bitorre) un empaque plástico, cuyo uso es cada día mayor, como medio para fijar la biomasa. Se tomará como modelo un estudio realizado en los Estados Unidos, en Plantas Piloto que utilizaron diferentes tipos de medios plásticos, y en los cuales se estudió la eficiencia con que trabajan dichos medios. Se describe a continuación el estudio.

Se realizó un estudio piloto en la Utoy Creek Water Pollution Control Plant en Atlanta Georgia. La planta piloto se evaluó tanto en dos etapas de Filtros Percoladores como un sistema combinado de FILTRO PERCOLADOR Y BIOMASA SUSPENDIDA. La primera fase de estudio pretendió evaluar el efecto del arreglo del medio plástico en la remoción de la DBO. Se presentan aquí los resultados de esta fase.

6.6.1.- Descripción

La planta piloto consistió en dos plantas paralelas, cada una con : una torre de 6.1 m (20 ft) para remoción de la DBO carbonácea, tanque o pileta de aireación, y una torre de 6.1 m (20 ft) para nitrificación (**Anexo A.22**). También tienen dos torres independientes de 3 m (10 ft). El área de la sección transversal de las torres es de 1.2 m x 1.2 m (4 ft x 4 ft). El arreglo de la planta piloto permite una comparación directa de varios tipos de medios plásticos con operación paralela a otros sistemas. La influencia de la profundidad en la eficiencia del tratamiento se estudió a través de una operación en paralelo de las torres de 3 m y 6.1 m.

El influente de la planta piloto fue el efluente primario de la planta Utoy Creek. El flujo para la planta Utoy Creek es aproximadamente de un 5 % industrial y un 95 % doméstica-comercial. Las características del agua residual se muestran en el **Anexo A.23**. La alimentación de la planta piloto se hizo por bombeo, a través de un cárcamo a la parte superior de las torres, para la distribución en cada torre en servicio. El agua residual se distribuye a través del medio de cada torre individual por nueve platos circulares de los cuales se trabaja con uno escogido al azar. Para simplificar el estudio, no se utilizó la recirculación del efluente. Para cargas menores de 2.4 m/h (1.0 gpm/ft²) el influente fue dosificado para distribuir eventualmente el agua residual a través de la superficie del medio. La dosificación en las torres de 6.1 m fue aplicada por dispositivos

mecánicos o sistemas de llenado y vaciado. Se usaron sifones de dosificación para alimentar las torres de 3 m (10 ft). Ambos tipos de dispositivos descargan aproximadamente cada 12 segundos.

Durante la operación en paralelo, las torres se aclimataron para un mínimo de seis semanas, comparando cada velocidad de flujo de los efluentes. Se recolectaron muestras compuestas cada dos horas, durante 24 horas y se analizaron usando los métodos de la "Standard Methods for the Analysis of Water and Wastewater"; Nitrógeno Total Kjeldhal (NTK), método 420A; Nitrógeno Amoniacal, método 417E; Nitratos, método 418C; Nitritos, método 419; DQO total y soluble (1.5 μm filtrado de membrana), método 508 A ; Sólidos suspendidos , métodos 209C y 209D ; DBO total y soluble (1.5 μm filtrado de membrana), método 507. En todas las muestras de DBO se inhibió la nitrificación. Se realizaron muestreos en pares, para determinar las diferencias existentes en la remoción de la DBO soluble de las torres en paralelo para una confianza del 95 %.

Los cinco tipos de medios plásticos comparados se describen en el Anexo A.24. Estos consisten en : Uno de flujo vertical (VF), tres a través del flujo Cross Flow (CF) y un medio al azar. El medio a través del flujo (CF) tiene corrugaciones en ángulo de 60° a 45° con el plano horizontal. Los resultados de comparación fueron divididos en 3 secciones : Un flujo a través del medio (CF) vs. Flujo Vertical (VF), CF vs. CF y un CF vs. Medio al azar. El CF a 60° se usa en el estudio de dos diferentes maneras, diseñados como CF 60° (A) y CF 60° (B).

6.6.2.- Variaciones en el Flujo según los Medios

- El Flujo a través del medio (CF) contra el Flujo Vertical (VF).- El desempeño de un CF a 60 ° y un medio VF en las torres de 6.1 m (20 ft) para tres cargas orgánicas se resumen en el Anexo A.25. El medio filtrante CF consiste en una remoción de la DBO mayor que en el medio VF. Para las tres cargas orgánicas probadas el promedio de remoción de la DBO soluble con un medio CF fue del 79 % contra el 67 % con un medio VF.
- El Flujo a través del medio.- Los resultados de comparación de el CF 60 ° en las torres de 6.1 m (20 ft) se muestran en el Anexo A.26 y en el Anexo A.27, respectivamente. De acuerdo a las pruebas pares basadas en la remoción de la DBO, el medio CF fue ligeramente superior al medio CF 60 ° para una carga hidráulica de 1.37 m/h (0.56 gpm/ft²) pero no para una de 0.8 m/h (0.35 gpm/ft²). Las pruebas en pares indican una diferencia no significativa entre los dos tipos de medio CF 60° basado en la remoción de la DBO soluble.

La nitrificación puede resultar difícil con datos de la DBO soluble. La remoción de la DBO soluble puede ser significativamente grande, con un medio CF 45°, en la torre de tres, ya que la nitrificación fue menor. Alternativamente, cuando la carga hidráulica es baja, los desempeños de ambos medios son similares. Con disminución de la remoción de DBO soluble, los medios CF 45° mostraron una reducción de amonio. Las razones para esta discrepancia no son conocidas en la actualidad. El medio CF 60° (A) en la torre de 6.1 m removió mas amonio que el medio CF 60°(B) aunque la remoción de la DBO soluble no fue estadísticamente diferente. El medio CF 60° (A) fue operado durante dos meses en el verano, con baja carga hidráulica, antes del muestreo paralelo, para estabilizar la nitrificación.

- El Flujo a través del medio (CF) contra el Medio al azar (Random) .- Los resultados de la comparación entre el CF 45° y el medio al azar en la torre de 3 m (10 ft) se muestran en el Anexo A.28. Los datos indican que el medio CF tuvo más remoción

que el medio al azar de DBO en todas las cargas en que se probaron. Así mismo, ocurrió una nitrificación significativa con el medio CF con cargas a velocidades más bajas y en el medio al azar con cargas aún más pequeñas.

6.6.3.- Diseño

6.6.3.1.- La Remoción de DBO.-

Se usa una variedad de métodos para diseñar torres empaquetadas. El cálculo de la profundidad y del volumen del medio requerido para una concentración de DBO específica en el efluente puede variar significativamente con el método de diseño. Los dos métodos más usados son:

- a) El de las curvas de desempeño probable y
- b) El de las ecuaciones empíricas.

Una curva de desempeño es una gráfica en la que se presenta ; la carga orgánica contra el porcentaje de remoción de la DBO.

Un ejemplo de una ecuación empírica es la ecuación modificada de Velz:

$$\ln (S_o/S_e) = k A_s D \theta^{T-20}/Q^n$$

Donde:

S_o = DBO en el influente (mg/L)

S_e = DBO en el efluente (mg/L)

k = Coeficiente cinético ($L/m^2 s$)ⁿ

A_s = Área superficial del medio (m^2/m^3)

D = Profundidad (m)

θ = Factor de corrección por temperatura (°C)

Q = Carga hidráulica ($L/m^2 s$)

n = Coeficiente hidráulico

Algunos estudios con torres empaquetadas han mostrado que usualmente no se requiere la corrección por temperatura, cuando la temperatura del agua residual está por arriba de los 10°C.

De acuerdo con la ecuación modificada de Velz, cuando se incrementa la profundidad de la torre, decrece el volumen del medio requerido para una remoción específica de la DBO. El método de la curva de desempeño, sin embargo, no incluye la profundidad como factor de diseño; lo cual implica que la eficiencia de remoción de la DBO no cambia con la profundidad de la torre; por lo tanto, el costo del bombeo deberá ser rescatable para construcciones pequeñas con torres grandes.

Para determinar qué tanto afecta la profundidad de la torre en la eficiencia del tratamiento, se comparan los datos de las torres de 3.0 m y 6.1 m con iguales cargas orgánicas. Ambas torres contienen medios CF 60° (A). Como se muestra en el Anexo A.29, un gran porcentaje significativo de DBO fue removida por la torre más alta, lo cual indica que la profundidad sí tiene influencia en la eficiencia del tratamiento. Los datos graficados se tomaron de los Anexos A.29 y A.30

El valor de “n” está dado por una línea recta que encaja en una gráfica log - log de $A_s D/Q^n$ contra la Remoción de DBO y se determinó para cada tipo de medio. El valor de “n” obtenido para cada tipo de medio fue de 0.65, el cual coincide con los resultados de otras investigaciones.

De la ecuación, “n” es conocido, el coeficiente cinético “k” el cual indica la velocidad de remoción del sustrato, puede ser determinada por la pendiente de la línea. Los valores de “k” para los tipos de medio en este estudio se muestran en el Anexo A.31. Los diferentes tipos de medios CF tienen similares coeficientes cinéticos, los valores para VF y medios al azar son significativamente bajos; por lo tanto, un gran volumen de medio VF o medio al azar se requieren para llevar a cabo la misma DBO del efluente del medio CF.

Una variación de esta magnitud en “k”, en la ecuación modificada de Velz, puede hacer un 38 % de diferencia en el volumen del medio requerido para llevar a cabo una concentración específica de DBO en el efluente, se usa si un valor de $n = 0.5$ es usado. Esto es importante para el desempeño de la planta piloto probada, antes de diseñar los filtros percoladores totalmente a escala o en la realidad

6.6.3.2.- Limitación de Oxígeno.

La diferencia en el desempeño de los medios corresponde a las diferentes capacidades de transferencia de oxígeno de los mismos. Para un mejor entendimiento de lo anterior, se realizaron estudios de concentraciones de DBO soluble en muestras instantáneas recolectadas en condiciones similares, en profundidades intermedias de 0.5 m en los medios VF y CF de las torres de 6.1 m (20 ft). Se muestran los resultados en el Anexo A.30 . La tasa de remoción fue calculada a cada 0.6 m (2 ft) y graficada contra concentraciones de DBO soluble. La tasa de remoción se incrementa con bajas concentraciones de DBO soluble; sin embargo, cerca de una DBO soluble de 40 mg/L la tasa de remoción comienza a ser constante, a pesar del incremento de concentraciones. Este cambio es una relación entre la concentración de la DBO soluble y la tasa de remoción de la DBO soluble, a través del filtro percolador; todo esto repercute en las limitaciones de transferencia de oxígeno. Así se podría decir que la eficiencia en la transferencia de oxígeno es el factor primario responsable en las diferencias de desempeño en los medios de este estudio; sin embargo, esto es cuestionable, ya que en todas las muestras, la tasa de remoción en diferentes profundidades de torres con medio VF fue menor que en las torres CF, aún cuando la concentración de DBO soluble fuese pequeña, la limitación de oxígeno no deberá ser un factor para el diseño.

6.6.3.3.- El Taponamiento

Son interesantes las características de taponamiento de varios tipos de medio, por el desprendimiento de la biocapa, porque pueden reducir la eficiencia del tratamiento y causar problemas de malos olores y proliferación de insectos. Para establecer las características de taponamiento, fueron comparados el medio CF 60° y el medio VF, de los cuales se removieron dos módulos de estos medios en las torres de 6.1 m (20 ft). Las torres han estado en operación durante unas seis semanas de los meses de invierno, con una carga de DBO total de 1.33 Kg/m³ d (83 lb/1000 ft³ d de DBO total). Aunque ninguna de las ranuras del medio fue completamente taponeada, sí fueron algunas parcialmente bloqueadas. El medio CF fue parcialmente bloqueado por depósitos gelatinosos negros largos (de 2.5 a 5 cm de diámetro) dentro del medio. Como puede apreciarse en el Anexo A.33, la mayoría de los sólidos se juntaron estableciendo puntos de contacto entre dos hojas paralelas. Se encontró un gran número de estos mismos depósitos gelatinosos, en los medios VF; pero sobre los módulos y no entre los módulos u hojas, como ocurrió con los CF a 60°.

Aún así, el taponamiento en los medios CF puede no afectar tanto la eficiencia del tratamiento, como pudiera ocurrir con los medios VF. Si la masa de sólidos bloquea alguna ranura del medio VF, el flujo no puede entrar en otros puntos y disminuye el área superficial disponible. Esto no ocurre con los medios CF, porque el flujo puede distribuirse de otras partes del medio.

Se ha observado que la acumulación de sólidos es mayor durante los meses de invierno, y el período importante de desprendimiento ocurrió más tarde, al inicio de la primavera, al incrementarse la temperatura ambiente. Esto se debe probablemente a que el espesor de las biocapas son típicamente mayores cuando está baja la temperatura ambiente .

También se acumulan sólidos en medios al azar (random) donde en etapas tempranas pueden ser estos responsables de una pérdida o disminución en la nitrificación. Se operaron el medio CF 45° y el medio al azar en torres de 3 m (10 ft), con cargas hidráulicas de 1.22, 0.86 y 2.4 m/h (0.5, 0.35, 1.0 gpm/ft²). Cuando la carga fue disminuyendo de 1.22 a 0.86 m/h (0.5 a 0.35 gpm/ft²), la nitrificación empezó a ocurrir en ambas torres. El Anexo A.34 muestra la remoción del amonio al pasar el tiempo. La nitrificación, en el medio al azar, primero aumenta y luego disminuye y nunca alcanza el grado de nitrificación en el medio CF 45°. Cuando se removió el primer metro en el medio al azar se encontró una gran cantidad de sólidos gelatinosos negros de Beggiotoa en las superficies interiores. La Beggiotoa también pueden encontrarse en la acumulación de sólidos acumulados en el medio; sin embargo, muy pocas se presentan en los módulos de medio del efluente. La Beggiotoa, por otra parte puede presentarse en grandes cantidades en el efluente de medios al azar, lo cual indica una mayor acumulación de sólidos.

Cuando se incrementa la carga hidráulica de ambas torres de 3 m (10 ft) a 2.4 m/h (1 gpm/ft²), apareció una gran cantidad de sólidos negros en el efluente del medio al azar. Esto indica que la acumulación de sólidos puede disminuir y mejorar la eficiencia de tratamiento al dejar de incrementarse la carga hidráulica; sin embargo, no ocurrió mejoría cuando se revisó el primer metro de medio, ya que ocurrió un leve incremento en la acumulación de sólidos. Debe recalarse que no se usó la recirculación; pero con ella se puede prevenir la acumulación de sólidos, al dejar de incrementar la carga hidráulica, sin que ésta se incremente.

La acumulación de sólidos puede provocar una inhibición en la nitrificación y una reducción a la remoción de la DBO y así mismo causar corto circuito de flujo a través de la torre. Algunas observaciones visuales realizadas al usar tinte en el flujo a través del medio al azar y el medio CF 45° de las torres bajo idénticas cargas, mostraron que el tinte en el flujo del efluente apareció en el medio al azar seis segundos antes que en el

otro medio. Los cortocircuitos pueden disminuir la remoción de la DBO en las partes superiores de la torre, disminuyendo también el tiempo de retención y el área superficial disponible. El incremento de concentración de DBO en las partes bajas de la torre podría disminuir el área superficial disponible para nitrificar. La acumulación de sólidos puede además inhibir la nitrificación debido a la reducción de los materiales que generan condiciones inadecuadas para llevar a cabo la nitrificación.

6.7.- El Medio plástico tipo BIOdek

Para diseñar el biofiltro o la bitorre de la planta de tratamiento del Fraccionamiento “San Andrés” se empleó como medio un empaque plástico de la marca BIOdek. A continuación se dan a conocer las características y otras aplicaciones de este tipo de medio.

Por muchas décadas se han usado medios en filtros percoladores que cuentan con una película de microorganismos adheridos en el medio, para llevar a cabo la oxidación biológica de desechos orgánicos; estos medios pueden ser de piedra (gravas de río, escorias de altos hornos), madera de secoya y últimamente medios plásticos. El crecimiento biológico en la superficie del medio convierte el desecho orgánico disuelto o nitrógeno amoniacal en productos estables que incluyen dióxido de carbono, nitratos, nitritos, agua y sólidos biológicos, los cuales son removidos posteriormente por clarificación.

Se enlistan las ventajas de usar un medio con una capa biológica adherida, sobre otros métodos de tratamiento :

- Menor consumo de energía
- Mayor confianza en el desempeño del tratamiento
- Alta resistencia para amortiguar cargas hidráulicas y orgánicas
- Mayor facilidad de operación, sin complicaciones
- Eliminación de los problemas de lodo abultado

El uso de medios no plásticos para tratamiento es de mayor costo para conseguir una reducción de la DBO, nitrificación, desnitrificación, eliminación de olor y tratamiento anaeróbico.

Se ha tratado de incrementar la eficiencia de la capa biológica adherida a los medios sintéticos (plásticos). En el **Anexo A.35** se observa una fotografía de un módulo de medio plástico tipo CF (Crossflow) “a través del medio”.

6.7.1.- Descripción General.-

El medio plástico BIOdek tipo CF se fabrica por módulos y consiste en hojas rígidas de PVC corrugadas. Lo diferente de estos medios es que en la fabricación de estos módulos se utilizan hojas planas. Cada hoja es corrugada con un ángulo de 60° y es ensamblada en empalmes en hojas adyacentes. Esta configuración asegura una distribución continua y uniformemente horizontal tanto del aire como del agua en toda la profundidad del medio (ver **Anexo A.36**). Resulta un gran incremento en el tiempo de contacto entre el agua residual y la capa biológica adherida en el medio, así como también un incremento en la difusión del líquido sobre la capa biológica.

El medio plástico BIOdek puede utilizarse para áreas superficiales de 30 a 68 ft² por ft³ de medio. Se muestran algunas aplicaciones tipo en el **Anexo A.37**.

El diseño del medio sintético plástico CF BIOdek ofrece ventajas que no tienen otros medios sintéticos; según se detalla en los siguientes incisos:

a) No requiere ventilación forzada :

El medio plástico BIOdek provee una distribución uniforme y continua tanto del aire como del agua residual a través del medio, eliminando la necesidad de ventilación de aire forzada, aún en diámetros o longitudes largas en filtros percoladores (Anexo A.36)

b) Reduce la profundidad de los medios:

El medio plástico BIOdek ha logrado alta eficiencia aún en medios con profundidades por debajo de los 6 ft. El medio plástico BIOdek se usa a menudo para reemplazar medios de roca, para incrementar el grado del tratamiento y la capacidad de los filtros percoladores existentes. (Anexo A.38)

c) Minimiza la recirculación:

El medio BIOdek incrementa el tiempo de contacto del agua residual con el medio, resultando una alta eficiencia cuando se cuenta con recirculación (Anexo A.40)

d) Reduce los costos de bombeo:

En medios poco profundos y con una relación de recirculación mínima, el medio BIOdek incrementa los costos efectivos; pero con profundidades adecuadas, se reducen los costos de bombeo (Anexo A.39)

e) Amplía el Rango hidráulico.-

El medio plástico BIOdek proporciona una efectiva remoción de DBO para cargas hidráulicas por debajo de 0.2 y hasta mayores de 2.5 gpm/ft² (Anexo A.40)

6.7.2.- Aplicaciones especiales del medio Biodek.

El tratamiento biológico con medios plásticos BIOdek tiene numerosas aplicaciones en el tratamiento del agua residual, según se verá en los siguientes incisos:

a) En mejorar la calidad de Filtros Percoladores existentes con medio de roca.

El medio plástico BIOdek tiene un diseño ideal para reemplazar los filtros percoladores existentes que trabajan con medio de roca.

Se usa directamente para reemplazar el medio de roca, ya que puede incrementar los niveles de remoción de DBO_5 en los filtros percoladores existentes por arriba del 90 %, así como incrementar las capacidades hidráulica y orgánica.

El medio plástico Biodek CF, corrugado, garantiza una distribución continua y uniforme del aire y del agua residual. El resultado es una máxima utilización de superficie del medio y un incremento en el tiempo de retención del agua residual en el medio, especialmente con bajas cargas orgánicas.

Este medio es capaz de producir un alto grado de tratamiento biológico en profundidades de empaque por debajo de 6 ft y con cargas hidráulicas abajo de 0.2 gpm. El Anexo A.38 indica un mejoramiento en la calidad del efluente con respecto a la DBO_5 cuando se reemplaza el medio de roca por el medio plástico BIOdek.

Cuando se reemplazan los medios de roca por medios plásticos, en los filtros percoladores existentes, no es necesario alguna modificación en las estructuras de los filtros percoladores.

b) Reducción de la DBO.

Para un diseño aproximado en los filtros percoladores para reducción de la DBO se han usado docenas de fórmulas matemáticas para describir las reacciones que se llevan a cabo en los medios de filtros percoladores. Desafortunadamente, los modelos matemáticos de hoy no describen adecuadamente dichas reacciones y a menudo son contradictorios. Los parámetros de diseño de BIOdek se obtienen utilizando instalaciones a escala (piloto) con aguas residuales similares a las condiciones de operación. Con un pH entre 6 y 8.5 se puede mantener un balance de nutrientes entre DBO, nitrógeno y fósforo de 100:5:1. La curva de desempeño para reducción de DBO₅ y para varias cargas de aguas residuales municipales se muestra en el **Anexo A.41**. La carga hidráulica en el filtro percolador puede tener un intervalo de 0.2 a 2.5 gpm/ft².

c) Tratamiento Secundario

El medio BIOdek se usa en reactores donde trabaja con capas biológicas adheridas, ya tenga en el tratamiento tanto clarificación primaria como secundaria puesto que empleando este sistema puede efectuarse una reducción de DBO₅ y sólidos suspendidos por arriba del 90 % (**Anexo A.42**).

d) Proceso TF/SC (Filtro Percolador y Contacto de Sólidos)

El proceso TF/SC utiliza el filtro percolador seguido de un tiempo corto de aireación (**Anexo A.43**). La recirculación del lodo del tanque aireado permite una mejor aglomeración de partículas finas y mejora las características de sedimentabilidad. Así mismo, la aireación debe ser continua para que se produzca una remoción del material orgánico soluble. El tanque de aireación, combinado con un clarifloculador, puede alcanzar una eficiencia de hasta el 95 % en la reducción de la DBO y los sólidos suspendidos.

e) Pretratamiento

El medio BIOdek puede usarse en casos de pretratamiento, cuando se presentan aguas residuales complicadas o cuando se busque reducir la carga orgánica, como un paso previo a un tratamiento biológico. (Anexo A.44)

f) Nitrificación

En el proceso de nitrificación, el medio BIOdek produce un efecto significativo en la oxidación del nitrógeno amoniacal a nitratos que se produce en el tanque reactor. (Anexo A.45)

Para llevar a cabo la nitrificación usando en un paso previo el medio BIOdek, se requiere menos equipo mecánico, menos energía para la operación y menor atención que utilizando cualquier otro método para nitrificar.

Cuando la nitrificación en el medio BIOdek precede a la clarificación secundaria, el efluente puede traer una DBO_5 de hasta por debajo de 20 mg/L.

Se muestra una curva de desempeño para nitrificación usando el medio BIOdek en el Anexo A.46.

g) Desnitrificación

Se pueden reducir los niveles de nitrato mayores que 30 mg/L hasta en un 90 % usando un tratamiento biológico con medios BIOdek (Anexo A.47). Las profundidades de los medios usualmente fluctúan entre 6 y 12 ft con sobreflujos entre 0.8 y 1.3 gpm/ft² (Anexo A.48).

h) Disminución de olores desagradables.

Los olores en forma de ácido sulfhídrico generados durante el tratamiento del agua residual pueden ser efectivamente oxidados con el medio BIOdek (Anexo A.49). El aire donde están contenidos los compuestos generadores de olores es oxidado por la biomasa que esta adherida al medio plástico BIOdek, en el tratamiento primario o secundario del agua residual. Esta oxidación ocurre durante el tratamiento secundario, donde se aplica el agua residual sobre la parte superior del medio y al pasar el agua a través del medio, el aire estará siendo tratado. Puede removerse el ácido sulfhídrico si se presentan concentraciones de 2 ppm o menores. (Anexo A.50)

6.7.3.- Soporte y Estructura para el medio plástico Biodek

El sistema de soporte recomendado para los medios plásticos BIOdek consiste en un sistema de vigas de 6 pulgadas de ancho y separadas de centro a centro en distancias de 24 a 36 pulgadas. Cada módulo estará apoyado en 2 vigas de soporte. (Anexo A.51)

Los módulos BIOdek se autosoplan estructuralmente. Los muros de la biotorre no estarán sujetos a cargas laterales y solo serán diseñados para soportar cargas de viento. Uno de los mayores costos es el uso de hojas de fibra de vidrio corrugadas reforzadas con perfiles metálicos. Tanto en las biotorres circulares como en las rectangulares (Anexos A.52 y A.53) se pueden usar boquillas o aspersores o un distribuidor rotatorio, según la configuración o la forma de la biotorre.

La base o dren de la biotorre deberá tener una pendiente del 2 al 4 %. La profundidad de la biotorre debe ser de 4 m. o menos. Para la circulación del aire en el medio, bastará con dejar una abertura u oquedad en alguna pared lateral de la base o dren.

6.7.4.- Especificaciones e Instalación

- MEDIO

El medio plástico BIOdek se fabrica con hojas PVC corrugadas, formando corrugaciones transversales inclinadas a través del empaque. Cada hoja adyacente permite una distribución interna horizontal continua, tanto del aire como del agua residual, a través de toda la profundidad del medio o empaque plástico.

Para asegurar un adecuado tiempo de contacto y difusión de la capa de líquido, el medio BIOdek es capaz de lograr una distribución del agua residual de manera horizontal en un mínimo de un pie por cada pie de profundidad de medio. Este medio produce un mínimo de 120 mezclados o puntos de distribución horizontal por ft^3 de medio.

El medio BIOdek ofrece una área superficial de 30 a $68 \text{ ft}^2/\text{ft}^3$ de medio con un mínimo del 95% de relación vacío - volumen.

Los medios BIOdek son seleccionados de acuerdo con cada instalación y han sido sometidos a pruebas de carga de compresibilidad, para garantizar una adecuada capacidad para cada requerimiento de carga.

- EL MATERIAL

El medio Biodek consiste en hojas de material polivinilclorado (PVC) resistente a la putrefacción, hongos, crecimiento de bacterias y otras formas de microorganismos, así como también resistente a las concentraciones normales químicas de drenajes con contenidos ácidos, álcalis, solventes orgánicos y compuestos orgánicos.

El PVC es resistente a los rayos ultravioleta y especialmente está estructurado para resistir durante largos lapsos a la ruptura por cargas continuas.

- **INSTALACIÓN**

El medio BIOdek se instala de tal manera que las hojas de los módulos, queden paralelas unas con otras, así mismo, los módulos se acomodan de manera que los ángulos de las hojas queden encontrados unos con otros, tanto en la capa superior, como en la capa inferior, para una mejor redistribución del aire agua residual (**Anexo A.51**).

Deberá tenerse especial cuidado durante la instalación del medio, para proteger el módulo de algún daño, sobre todo donde es necesario hacer recortes ya que esto afectará a la película de la biomasa. Deberá tomarse adecuada precaución para proteger y para asegurarse de que no ocurra daño al medio y que no queden desechos del proceso de cortado depositados en el sitio donde se colocará el medio. Cualquier desperdicio del material deberá de ser removido, antes de colocar las siguientes capas del medio.