



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN**

Propuesta de un prototipo experimental para
el tratamiento de aguas residuales.

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
I N G E N I E R O Q U Í M I C O
P R E S E N T A:
JOSÉ BERNABÉ COTONIETO MARTÍNEZ

ASESOR: I. Q. M. RAFAEL SAMPERE MORALES



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES**

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS
U. N. A. M.
FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES CUAUTITLAN

**DRA. SUEMI RODRIGUEZ ROMO
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN
P R E S E N T E**



ATN: L. A. ARACELI HERRERA HERNANDEZ
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la Tesis :

"Propuesta de un Prototipo Experimental para el Tratamiento de
Aguas Residuales".

que presenta el pasante: José Bernabé Cottonieto Martínez
con número de cuenta: 8004907-0 para obtener el título de :
Ingeniero Químico

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 21 de Mayo de 2008.

PRESIDENTE	<u>IQM. Rafael Sampere Morales</u>	
VOCAL	<u>IQ. Graciela Delgadillo García</u>	
SECRETARIO	<u>Dr. Eligio Pastor Rivero Martínez</u>	
PRIMER SUPLENTE	<u>Q. Celestino Silva Escalona</u>	
SEGUNDO SUPLENTE	<u>MC. Bernardo Francisco Torres</u>	

DEDICATORIAS

El trabajo presente lo dedico con cariño y amor a mis padres que siempre me han apoyado a lo largo de toda mi vida estudiantil dando su vida por mi y recibiendo consejos para luchar por lo que quiera alcanzar y defenderme ante la vida día a día, y alcanzar cada uno de mis objetivos que persiga para alcanzar el éxito, valorando los fracasos como pruebas a vencer. También dedico el trabajo a mis hermanos que en determinados momentos de la vida me dieron apoyo moral y en especial a mi hermana Ofelia y su familia que siempre me han dado mi lugar demostrando su amistad sincera y apoyándome incondicionalmente.

Actualmente se requiere de una preparación académica muy fuerte y de una actitud muy positiva y abierta para poder enfrentar la vida con valentía ante las adversidades y salir triunfante en lo que se proponga uno fijándose objetivos muy claros y cumplirlos.

AGRADECIMIENTOS

Al Ing. Rafael Sampere Morales por su atención y valiosa ayuda para la realización de este trabajo, a mis demás sinodales: I.Q. Graciela Delgadillo García, Dr. Eligio Pastor Rivero Martínez, Q. Celestino Silva Escalona y al M.C. Bernardo Francisco Torres por guiarme de una forma correcta para realizar con claridad y exactitud cada uno de los temas en el presente trabajo.

A mis maestros que respeto y admiro por su preparación en el ámbito académico y su forma rigurosa de transmitirme sus conocimientos para enfrentarme a los problemas reales que ocurren en el transcurso de la vida.

A la Universidad Nacional Autónoma de México por brindarme la oportunidad de formarme profesionalmente y recibiendo un apoyo total durante la etapa como estudiante universitario.

A todas las personas que he conocido en el área laboral y que me he enriquecido con sus conocimientos que me han transmitido y sus consejos muy valiosos que me han servido para superarme constantemente y luchar fuertemente contra la vida.

ÍNDICE

	Página
Objetivo general.	1
Objetivos particulares.	1
Introducción.	2

CAPITULO I.

CONCEPTOS TEÓRICOS.

1.1	TRATAMIENTO DEL AFLUENTE PARA UN FUNCIONAMIENTO ÓPTIMO DE DESARENADORES.	3
1.1.1	Rejas, tamices.	3
1.1.2	Rejas de limpieza manual.	3
1.1.3	Tamices.	4
1.2	TEORÍA DE DESARENADORES.	4
1.2.1	Desarenadores.	4
1.2.2	Tipos de desarenadores.	5
1.2.2.1	Desarenadores de flujo horizontal.	5
1.2.2.2	Desarenadores aereados	6
1.2.3	Lavado.	6
1.3	TEORÍA DE SEDIMENTACIÓN Y SEDIMENTADORES.	6
1.3.1	Cargas de superficie.	7
1.3.2	Tanques rectangulares.	8
1.3.3	Tanques circulares	9
1.3.4	Cantidad de lodo.	10
1.4	TEORÍA SOBRE LODOS ACTIVADOS.	10
1.4.1	Etapas del proceso de lodos activados.	12
1.4.2	Requerimientos de aire.	14
1.4.3	Tiempo de aereación.	15
1.4.4	Separación de los lodos activados del licor mezclado.	15
1.4.5	Recirculación de la cantidad apropiada de lodos activados Para mezclarlos con las aguas residuales.	16
1.4.6	Tratamiento y disposición del exceso de lodos activados.	16
1.5	TEORÍA SOBRE DESINFECCIÓN.	17
1.5.1	Desinfección por calor.	18
1.5.2	Desinfección mediante luz.	19
1.5.3	Desinfectantes químicos.	19
1.5.4	Desinfección por cloración.	20

1.5.5	Precauciones y disposiciones básicas de seguridad en el manejo del cloro.	22
1.5.6	Alimentadores de cloro	22
1.5.7	Alimentadores de hipocloritos.	24
1.6	TEORÍA DE LA FILTRACIÓN.	25
1.6.1	Filtros mecánicos.	25
1.6.2	Tipos de materiales filtrantes.	26
1.6.3	Canales para agua de lavado	27
1.6.4	Equipo para lavado superficial.	28
1.6.5	Redes de tuberías.	29
1.6.6	Inconvenientes de los filtros.	30
1.7	TEORÍA DE ADSORCIÓN POR CARBÓN ACTIVO.	30
1.7.1	Principios del proceso por carbón activo.	33
1.7.2	Filtros de carbón activo.	34

CAPITULO II

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO.

2.1	Desarenador.	35
2.2	Sedimentador primario.	38
2.3	Reactor biológico.	39
2.4	Sedimentador secundario.	40
2.5	Contactador de cloro.	41
2.6	Filtro de arena.	42
2.7	Filtro de carbón activo.	42

CAPITULO III.

INDICACIONES DE OPERACIÓN.

3.1	Pasos a seguir para una operación óptima de todo el tren de Procesos para el tratamiento de aguas.	45
-----	--	----

CAPITULO IV.

DISEÑO DEL PROTOTIPO EXPERIMENTAL PARA AGUAS RESIDUALES.

4.1	ETAPAS DE TRATAMIENTO.	49
4.2	SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE AGUA RESIDUAL.	49
4.3	DISEÑO DEL DESARENADOR EXPERIMENTAL.	52
4.3.1	Consideraciones de diseño.	52

4.3.2	Material y características del desarenador.	54
4.4	DISEÑO DEL SEDIMENTADOR PRIMARIO EXPERIMENTAL.	56
4.4.1	Consideraciones de diseño.	56
4.4.2	Material y características del sedimentador primario.	59
4.5	DISEÑO DEL REACTOR BIOLÓGICO EXPERIMENTAL.	59
4.5.1	Consideraciones de diseño.	59
4.5.2	Medidas de los prismas triangulares.	67
4.5.3	Sistema de alimentación de aire al reactor biológico.	68
4.5.4	Cálculo de la potencia hidráulica del compresor.	73
4.5.5	Pérdida por fricción total debido a los tubos y mangueras.	74
4.5.6	Material y características del tanque de aereación.	75
4.6	DISEÑO DEL SEDIMENTADOR SECUNDARIO EXPERIMENTAL.	78
4.6.1	Consideraciones de diseño.	78
4.6.2	Base inferior.	80
4.6.3	Cálculo del volumen del sedimentador secundario.	81
4.6.4	Material y características del sedimentador secundario.	81
4.7	DISEÑO DEL CONTACTOR DE CLORO EXPERIMENTAL.	83
4.7.1	Consideraciones de diseño.	83
4.7.2	Dosificación de hipoclorito de sodio.	83
4.7.3	Cantidad de hipoclorito de sodio necesario.	84
4.7.4	Diseño del recipiente contactor de cloro.	85
4.7.5	Características finales del contactor de cloro.	86
4.7.6	Material y características del contactor de cloro.	87
4.8	DISEÑO DEL FILTRO DE ARENA EXPERIMENTAL.	89
4.8.1	Consideraciones de diseño.	89
4.8.2	Cálculo del área de flujo de agua.	90
4.8.3	Espesores de las camas de arena.	91
4.8.4	Espesores de las camas de grava.	92
4.8.5	Sistema de drenaje inferior.	92
4.8.6	Diseño del sistema de drenaje.	93
4.8.7	Datos finales del dimensionamiento del filtro de arena.	95
4.8.8	Mallas para tamizar la arena y la grava.	97
4.9	DISEÑO DE COLUMNAS DE ADSORCIÓN EXPERIMENTALES.	111
4.9.1	Consideraciones de diseño.	111
4.9.2	Dimensionamiento de columnas.	111
4.9.3	Sistema de drenaje.	112
4.9.4	Material y características de las columnas de adsorción.	115
	Conclusiones.	117
	Nomenclatura de términos.	118
	Bibliografía.	120

OBJETIVO GENERAL

Proponer un prototipo experimental a nivel laboratorio para el tratamiento de aguas residuales descargadas por instituciones de educación superior y como caso particular se toma la F.E.S. Cuautitlán que en un futuro podría implementarse a mayor escala.

OBJETIVOS PARTICULARES

- Plantear un sistema para retener la mayor cantidad de partículas pesadas como arena y materia orgánica presentes en el agua sin tratar y sólo queden sólidos suspendidos y disueltos.
- Implementar un sistema para eliminar la materia orgánica suspendida sin tratar y además materia orgánica estabilizada que contiene el agua a tratar, por decantación y que es relativamente pesada y obtener una clarificación con un grado más alto.
- Proponer un dispositivo para reducir la cantidad de sólidos presentes en el agua residual a tratar, por medio de una estabilización biológica en donde interviene la aereación controlada.
- Plantear un sistema para eliminar la mayor cantidad de microorganismos dañinos (como coliformes) al ser humano y animal, presentes en el agua a tratar.
- Desarrollar un sistema para retener la mayor cantidad de sólidos diminutos como arena en suspensión, partículas disueltas que dan cierta coloración y olor desagradable al agua a tratar y obtener un efluente con una calidad satisfactoria.

INTRODUCCIÓN

El agua es un elemento fundamental para las actividades del ser humano, desde el uso diario en hogares hasta la aplicación en la industria y sinfín de actividades, por lo que cada día es más escasa. Y una alternativa viable es tratar las aguas residuales para su reutilización.

Hay diversos métodos de tratamientos, para cada zona geográfica en específico es necesario adecuar los tratamientos en función de las impurezas presentes. El presente trabajo plantea la implementación de un prototipo experimental, considerando las aguas residuales descargadas por la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán Campo 1, que provienen de sanitarios y laboratorios donde se utilizan compuestos orgánicos, e inorgánicos e incluso residuos portadores de enfermedades biológicas causadas por virus y bacterias. Las etapas del tratamiento comprenden; sedimentación primaria, digestión biológica, sedimentación secundaria, desinfección y adsorción de materiales orgánicos para eliminación de color y olor.

En Ingeniería sanitaria, el término tratamiento de aguas es el conjunto de operaciones unitarias de tipo físico, químico o biológico cuya finalidad es la eliminación o reducción de la contaminación o las características no deseables de las aguas, bien sean naturales, de abastecimiento, de proceso o residuales, llamadas, en el caso de las urbanas, aguas negras.

Los tratamientos suelen incluir la siguiente secuencia:

- Pretratamiento
- Tratamiento primario
- Tratamiento secundario
- Tratamiento terciario.

Considerando que el agua residual urbana es fundamentalmente de carácter orgánico, con sólidos.

CAPITULO I

CONCEPTOS TEÓRICOS.

1.1 TRATAMIENTO DEL AFLUENTE PARA UN FUNCIONAMIENTO ÓPTIMO DE DESARENADORES.

1.1.1 Rejas, tamices .

El primer paso en el tratamiento preliminar del agua residual consiste en la separación de los sólidos gruesos. El procedimiento más común consiste en hacer pasar el agua residual del afluente a través de rejas o tamices.

1.1.2 Rejas de limpieza manual.

Estas rejas se utilizan antes del bombeo en pequeñas estaciones de agua residual. En otros tiempos se habían utilizado en las instalaciones de pretratamiento de las pequeñas plantas de tratamiento de aguas residuales. El canal donde se ubica la reja debe de proyectarse de modo que se evite la acumulación de arena y otros materiales pesados en el mismo antes y después de la reja. La solera puede ser horizontal o bien tener pendientes hacia la reja, así mismo es conveniente redondear la unión con las paredes laterales, preferiblemente, el canal debe ser recto perpendicular a la reja para procurar una distribución uniforme de los sólidos en la sección transversal al flujo.

Deberán instalarse dos o más unidades de forma que una de ellas puede estar fuera de servicio por razones de mantenimiento. La cantidad de basura separada por las rejas de barras varia generalmente de 3 a 30 lts/1000 m³ de agua residual tratada; el promedio es de 1.25 lts/1000 m³.

1.1.3 Tamices.

Los tamices que anteriormente se utilizaban para el tratamiento preliminar eran dispositivos de limpieza mecánica equipados con una placa perforada, de bronce con abertura ranurada con 3 mm de anchura o menores, en la actualidad, muy pocas plantas de tratamiento las utilizan. La cantidad de basura aumenta mucho durante las épocas lluviosas, los medios, para eliminar las basuras son:

- 1) Descarga a trituradores o bombas desintegradoras donde son trituradas y retornadas al agua residual.
- 2) Eliminación, por transporte a zonas de relleno.

En las pequeñas instalaciones, la basura es reciclada o tratada, lo que es una solución adecuada.

1.2 TEORÍA DE DESARENADORES.

1.2.1 Desarenadores.

La misión de los desarenadores es separar arenas, grava, cenizas y cualquier otro material pesado que tenga velocidad de sedimentación o peso específico superiores a los de los sólidos orgánicos, putrescibles del agua residual. La arena incluye también cáscaras de huevo pedazos de hueso, granos de café y grandes partículas orgánicas, tales como residuos de comida.

Los desarenadores deberán de proteger los equipos mecánicos móviles de la abrasión y desgastes normales reducir la formación de depósitos pesados en las tuberías, canales y conductores y la frecuencia de limpieza de los digestores que hay que realizar como resultado de excesivas acumulaciones de arena en tales unidades.

La cantidad de arena depositada en estos equipos variará mucho de un lugar a otro, según el tipo de sistema de alcantarillado, características de la zona de desagüe, estado de las alcantarillas, tipos de residuos industriales, número de trituradores, de residuos domésticos y proximidad y uso de playas arenosas. Posiblemente el método más común de la aplicación de la arena como relleno cubriéndola cuando sea preciso. En algunas plantas de gran tamaño se incinera junto con el fango.

El diseño de los desarenadores dependerá de los sólidos para un tipo seleccionado, de sí van provistos o no de equipo de extracción mecánica de arena y de los requisitos que exige el equipo del desarenador. Un reciente estudio ha revelado que la mayoría de las instalaciones de desarenadores cuya capacidad excede de 5000 m³/día disponen de equipo mecánico de limpieza.

1.2.2 Tipos de desarenadores.

Son dos tipos: de flujo horizontal y aereados. En uno el flujo atraviesa al desarenador en dirección horizontal, controlándose la velocidad rectilínea del flujo mediante las dimensiones de la instalación o el uso de secciones de control provistas de vertederos especiales situados al final de aguas abajo del tanque. El tipo aereado consiste en un tanque de aeración con flujo de espiral, en donde la velocidad es controlada por las dimensiones del tanque y la cantidad del aire suministrado al mismo.

1.2.2.1 Desarenadores de flujo horizontal.

Poco tiempo atrás la mayoría de los desarenadores eran de flujo horizontal con control de velocidad. Esos tanques se proyectaban para mantener una velocidad muy próxima a 0.3 m/s ya que tal velocidad arrastra la mayoría de las partículas orgánicas a través del tanque y tiende a

suspender de nuevo a las que se hayan depositado, pero permite que la arena que es mas pesada se sedimente.

1.2.2.2 Desarenadores aereados.

El descubrimiento de acumulaciones de arena en los tanques de aereación de flujo en espiral, precedidos por desarenadores condujo al desarrollo del desarenador aireado. Sin duda alguna, el excesivo desgaste del equipo de manipulación de la arena y la necesidad, en muchos casos de un equipo independiente para el lavado de aquello, dieron origen a la actual popularidad de este tipo de desarenador. Generalmente se proyectan para proporcionar períodos de determinación, de unos 3 minutos a caudal máximo.

1.2.3 Lavado.

Existen varios tipos de lavadores de arena, uno de ellos se basa en un tornillo o rastrillo inclinado sumergido, que proporciona la necesaria agitación, para la separación de la arena de las materias orgánicas y al mismo tiempo eleva la arena lavada hasta un punto de descarga situado por encima del nivel del agua. Otro tipo consiste en una criba en la que mediante un flujo de líquido que circula alternativamente hacia arriba y hacia abajo del lecho de arena, se produce la eliminación de la materia orgánica. Su rendimiento es excelente, pero su uso es una operación adicional que debe de ser vigilada.

1.3 TEORÍA DE SEDIMENTACIÓN Y SEDIMENTADORES.

Siempre que un líquido que contenga sólidos en suspensión se encuentra en estado de relativo reposo, los sólidos de peso específico superior al del líquido tienen tendencia a depositarse y los de menor peso específico a ascender. Estos principios se utilizan en el diseño de los tanques de sedimentación para el tratamiento de aguas residuales. Cuando se

utilizan como único medio de tratamiento estos tanques sirven para la eliminación de sólidos sedimentables capaces de formar depósitos de fango en las aguas receptoras y de gran parte de las materias flotantes. Si se emplea como un paso previo a un tratamiento biológico su función es reducir la carga en las unidades de tratamiento biológico. Los fangos de sedimentación primaria que están proyectados y operados eficazmente deberán eliminar del 50 al 65 % de los sólidos suspendidos y del 25 al 40 % de la de DBO (demanda bioquímica de oxígeno). Cuando los tanques de sedimentación primaria preceden al proceso de tratamiento biológico podrán ser diseñados de manera que sus tiempos de residencia sean menores y tengan una carga de superficie más alta que los tanques que se utilizan como único método de tratamiento. Los sólidos en la mayoría de las aguas residuales no son de tal carácter regular sino de naturaleza heterogénea, en las condiciones en las que se hallan presentes van desde la dispersión total a la floculación completa. La mayoría de los sólidos finamente divididos que llegan a los tanques de sedimentación primaria están solo parcialmente floculados pero son susceptibles de flocular. Generalmente los tanques de sedimentación primaria se proyectan para proporcionar un tiempo de residencia de 90 a 150 minutos, para el caudal medio del agua residual. Los tanques que proporcionan menores tiempos de residencia (30 a 60 minutos) con menor eliminación de sólidos suspendidos son utilizados con frecuencia en el tratamiento preliminar antes de las unidades de tratamiento biológico.

1.3.1 Cargas de superficie.

Los tanques de sedimentación se diseñan actualmente con base a la carga superficial para el caudal medio expresado en metro cúbico por día y por metro cuadrado de área horizontal. La elección de la carga idónea depende del tipo de suspensión que haya de separarse.

$$caudal = \frac{m^3}{día.m^2}$$

Generalmente todas las plantas de tratamiento de cualquier tamaño excepto aquellas que tienen tanques Imhoff (tanques que tienen el fondo en forma de tolva y pueden llevar varias tolvas) utilizan en la actualidad tanques de sedimentación con dispositivos mecánicos de separación de fangos y de diseño normalizado rectangulares o circulares. La elección del tipo de tanque de sedimentación para una aplicación dada depende del tamaño de la instalación, de las disposiciones y reglamentos de los organismos locales de control, de las condiciones locales del terreno, de la experiencia, el juicio del proyectista y de la estimación de los costos.

Deberá haber dos o más tanques con objeto de que el proceso permanezca en funcionamiento mientras uno de ellos este fuera de servicio por reparación o mantenimiento.

1.3.2 Tanques rectangulares.

Generalmente se componen de un par de cadenas transportadoras sin fin, sujetos a las cadenas a intervalos de 3 m, aproximadamente se colocan tablones de madera o rascadoras, de 0.15 a 0.20 m de profundidad, que se extienden por toda la anchura del tanque o tramo. Son frecuentes las velocidades de 0.6 a 1.2 m/min en los transportadores lineales, si bien se ha utilizado la velocidad de 0.3 m/min en algunas plantas de lodos activados. Los tanques múltiples rectangulares exigen menos espacio que los múltiples circulares, por ello se utilizan cuando el terreno es muy costoso. Los tanques rectangulares se prestan a encajarse con los depósitos de preaeración y de aireación en las plantas de fangos activados.

También suele utilizarse cuando es necesario instalar techos o cubiertas para cubrir los tanques. Las espumas suelen recogerse en el extremo efluente de los tanques rectangulares por medio de los rascadores que hacen su camino de retorno por la superficie de líquido. La espuma es empujada por los rascadores hasta un punto en que es atrapada por los deflectores antes de su eliminación. Otro método consiste en un colector de

tipo de cadenas con rascadores que recogen la espuma en un lado del dispositivo y la arrastra a través de un pequeño plano inclinado a unas tolvas donde pueden bombearse a las unidades de evacuación.

1.3.3 Tanques circulares.

El diseño de los tanques circulares esta normalizado hasta el punto que los distintos fabricantes ofrecen equipos de extracción de fango similares.

Los tanques de 3.6 a 9 m de diámetro tienen el equipo de extracción de fango soportado por medio de vigas de luz igual al diámetro del tanque.

Los tanques de 10 m de diámetro y mayores utilizan un pilar central que soporta el mecanismo y al que se llega por un puente o pasillo. En la mayoría de los diseños el agua residual es conducida hasta el centro del depósito por una tubería suspendida del puente o envuelta en hormigón por debajo de la solera.

En el centro del tanque el agua penetra en una concavidad circular destinado a distribuir el caudal por igual en todas las direcciones. El mecanismo de extracción gira lentamente y puede tener dos o cuatro brazos equipados con rascadores.

Los brazos tienen también unas cuchillas en superficie para la recogida de la espuma. El otro tipo existe deflector circular de aluminio suspendido a corta distancia del muro del depósito formando un espacio anular en el que se descarga el agua residual en dirección tangencial.

El agua fluye según una espiral alrededor del depósito y por debajo del deflector reuniéndose el líquido clarificado por medio de unos vertederos colocados a ambos lados de un canal situado en la parte central, la grasa y la espuma quedan retenidas en la superficie del espacio anular.

1.3.4 Cantidad de lodo.

El volumen de lodo producido dependerá de:

1. Las características del agua residual sin tratar, incluyendo su edad e intensidad.
2. El periodo de sedimentación y el grado de tratamiento que se vaya a realizar en los tanques.
3. El estado de los sólidos sedimentados, incluyendo el peso específico, el contenido de agua y cambios de volumen producidos bajo la influencia de los dispositivos mecánicos de eliminación del lodo o de la profundidad del tanque.
4. El periodo del tiempo transcurrido entre las operaciones de extracción de los lodos.

El lodo se eliminará bombeándolo por lo menos una vez por turno de trabajo y con mayor frecuencia en el tiempo cálido a fin de evitar que se deteriore el efluente. La sedimentación puede efectuarse en tanques de flujo vertical o de flujo horizontal. En un tanque de flujo vertical las aguas negras entran por el fondo y fluyen hacia arriba.

En un tanque rectangular de flujo horizontal las aguas negras entran por un extremo y salen por el otro, prácticamente todos los tanques utilizados en los modernos métodos de tratamiento de aguas negras son del tipo horizontal y de flujo continuo.

1.4 TEORÍA SOBRE LODOS ACTIVADOS.

El desarrollo de los lodos activados es un proceso importante en el tratamiento secundario de las aguas negras. Es un proceso biológico de contacto en el que los organismos vivos aerobios y los sólidos orgánicos de las aguas negras, se mezclan íntimamente en medio ambiente favorable para la descomposición aeróbica de los sólidos. Como el medio ambiente está formada por las mismas aguas negras, la eficiencia del proceso depende de

que se mantenga continuamente oxígeno disuelto en las aguas negras durante todo el tratamiento. El medio ambiente, por sí mismo, no logra mucho, a no ser que esté poblado por suficientes operarios vivientes. Las aguas negras comunes contienen algunos de estos operarios biológicos, pero su número es demasiado pequeño para que puedan llevar a cabo el trabajo requerido.

Es necesario agregar mucho más organismos y distribuirlos bien por todas las aguas negras, antes de que el proceso de lodos activados pueda empezar a funcionar con eficacia. El proceso de lodos activados se emplea después de la sedimentación simple. Las aguas negras contienen algo de sólidos suspendidos y coloidales, de manera que cuando se agitan en presencia de aire, los sólidos suspendidos forman núcleos sobre los cuales se desarrolla la vida biológica pasando a formar partículas más grandes de sólidos que se conocen como lodos activados. Los lodos activados están formados por flóculos parduscos que consisten, principalmente, de materia orgánica procedente de las aguas negras, pobladas por bacterias y otras formas de vida biológica. Estos lodos activados, con sus organismos vivos, tienen la propiedad de absorber o de adsorber la materia orgánica coloidal y disuelta, incluyendo el amoníaco de las aguas negras con lo que disminuye la cantidad de sólidos suspendidos. Los organismos biológicos utilizan como alimento el material absorbido convirtiéndolo en sólidos insolubles no putrescibles.

Algunas bacterias atacan las sustancias complejas originales, produciendo como desecho compuestos más simples. Otras bacterias usan estos desechos, produciendo compuestos aún más simples, continuando así el proceso hasta que los productos finales de desecho no puedan ya ser usados como alimento por las bacterias. La generación de lodos activados o flóculos en las aguas negras, es un proceso lento, de manera que la cantidad así formada en cualquier volumen de aguas negras, durante su periodo de tratamiento es muy corta e inadecuada para tratar rápida y eficientemente las aguas negras, pues se requiere de una gran concentración de lodos activados.

Esta gran concentración se logra recolectando los lodos producidos por cada volumen de aguas negras tratadas y usándolos nuevamente para el tratamiento de volúmenes subsecuentes de aguas negras. Los lodos que se vuelven a emplear en esta forma se conocen como lodos recirculados.

Este es un proceso acumulativo por el que se producirá mayor cantidad de lodos activados que da la cantidad necesaria para el proceso, posteriormente la acumulación o exceso de lodos activados se retira continuamente del proceso de tratamiento y se acondiciona para su disposición final. Los lodos activados deben mantenerse en suspensión durante cierto periodo de contacto con las aguas negras a tratar, mediante algún método de agitación.

1.4.1 Etapas del proceso de lodos activados.

- **Mezclado de lodos activados.**

Es importante mencionar que los lodos activados recirculados se mezclen bien con las aguas negras. Se lleva a cabo agregando los lodos recirculados a las aguas negras sedimentadas en el extremo de alimentación del tanque de aereación, donde la agitación efectúa un mezclado rápido y satisfactorio. En algunos casos se emplean pequeñas cámaras mezcladoras con agitación, pero no es muy común en la práctica.

- **Aereación y agitación del licor mezclado.**

Con la aereación se logran los tres objetivos siguientes: el mezclado de los lodos recirculados con las aguas negras; el mantener los lodos en suspensión por la agitación de la mezcla y el suministro del oxígeno que se requiere para la oxidación biológica. El aire se agrega por medio de algunos de los métodos que se conocen como sistema de aeración por difusión, aeración a presión ó por aereación mecánica.

En el sistema de difusión de aire, se suministra aire a baja presión, generalmente a no más de $(0.5 \text{ a } 0.7) \text{ kg/cm}^2$, mediante sopladores, y se hace

pasar a través de diversos tipos de material poroso, en placas, o en tubos que reparten el aire en forma de pequeñas burbujas, estas placas o tubos están colocados de tal manera en el tanque de aereación, que imprimen un movimiento giratorio a la mezcla de aguas negras, de lo cual resulta una considerable absorción del aire atmosférico.

Las placas difusoras están compuestas de alúmina cristalina fundida o de una arena de alto contenido en sílice. Estas se fijan en recipientes que se hacen de concreto armado. Los tubos difusores se hacen de material similar y últimamente se han hecho de tubería de acero inoxidable corrugado, o con múltiples orificios de salida y envuelto con cordeles torcidos de saran.

Estos difusores van suspendidos en secciones sobre el tanque de aereación de manera que puedan ser desconectados desde arriba de la superficie de las aguas negras y así puedan sacarse para su limpieza o reposición. Cuando se instalan por medio de conexiones con juntas articuladas, para que se puedan levantarse hasta la superficie del tanque, se les llama "difusores articulados".

A fin de impedir que se obstruyan las placas o tubos de los difusores, conviene filtrar el aire con que se alimentan, para quitarle el polvo, el aceite u otras impurezas; además la tubería debe ser de material anticorrosivo. Hay diversos tipos de filtros para ese objeto, los cuales pueden usarse solos o combinados.

- **Aereadores mecánicos.**

Son de dos tipos: de paletas y de tubo de tiro vertical. Los de paleta consisten en un rodillo con paletas o cepillos sumergidos parcialmente en las aguas negras que giran sobre un eje horizontal. El aire se absorbe por contacto superficial y por las gotas que se lanzan al aire por medio del mecanismo de paletas. Con los de tubo de tiro vertical, las aguas negras se hacen circular hacia arriba o hacia abajo a través de un tubo vertical central

por medio de un impulsor giratorio. Hay diversos tipos de aereadores de tubo de tiro vertical fabricados por diferentes productores, cada uno con características especiales patentadas.

1.4.2 Requerimientos de aire.

La cantidad de aire que se requiere depende de los siguientes factores:

- La carga de DBO.
- La cantidad de los lodos activados.
- La concentración de los sólidos.
- La eficiencia que se desee en el abatimiento de la DBO.

La cantidad básica de aire que se requiere debe ser suficiente para mantener las aguas negras con un mínimo de 2 ppm. de oxígeno disuelto bajo cualquier condición de carga de la DBO, en todas las partes de los tanques de aireación, excepto en las inmediaciones de las alimentaciones. Deben hacerse pruebas fisicoquímicas para determinar el oxígeno disuelto en diversas secciones del tanque, para asegurar el mantenimiento de esa concentración.

En los sistemas de aire difundido, se suele expresar la cantidad de aire que se agrega, en metros cúbicos de aire por metro cúbico de aguas negras, que oscila entre 3.75 y 11.25 (0.5 a 1.5 pies cúbicos de aire por galón de aguas negras). Es preferible expresar esto en metros cúbicos de aire por kilogramo de DBO que es preciso eliminar en el afluente del tanque de tratamiento primario.

Se estiman los requerimientos usuales de aire en 62.3 m^3 por kilogramo de DBO ($1000 \text{ ft}^3/\text{lb}$ de DBO), debiendo ser capaz el sistema de aireación de rendir el 150 % de esta capacidad. Las cifras anteriores se aplican ordinariamente a las aguas negras domésticas de composición media, en una planta de lodos activados de tipo convencional. Aparte cuando se tratan

desechos industriales, tales cifras pueden sufrir grandes variaciones, por lo que deberán determinarse basándose en la experiencia operacional de cada planta. Una cantidad de aire insuficiente da por resultado una baja cantidad de los lodos activados y, por ende, una disminución sensible en la eficiencia de la planta. El empleo de cantidades excesivas de aire no solamente es un desperdicio, sino que conduce a la formación de lodos tan finamente dispersos que llegan a ser de difícil sedimentación.

1.4.3 Tiempo de aereación.

Debe ser el adecuado en función de la demanda de DBO y la concentración de sólidos presentes. Durante este periodo hay que mantener el medio ambiente aerobio, se ha comprobado que para lograr el tratamiento más completo de las aguas negras y para que el proceso convencional de lodos activados resulte más económico, es adecuado un tiempo de aereación de 6 a 8 horas con aire difundido y de 9 a 12 horas con aereación mecánica. En algunos de los procesos modificados se emplean periodos sensiblemente menores. Por lo general, estos periodos más cortos dan lugar a que se obtengan efluentes de la planta de calidad inferior.

1.4.4 Separación de los lodos activados, del licor mezclado.

Antes de que pueda disponerse de las aguas negras tratadas en un estanque de aereación, descargándolas en aguas receptoras, hay que separar los lodos activados. Esto se hace en los tanques de sedimentación secundaria o final. El ciclo de remoción de los lodos en los tanques secundarios tiene mayor importancia que en los tanques primarios, pues cierta proporción de lodos debe retirarse continuamente para utilizarlos como lodos recirculados en el estanque de aereación.

El exceso de lodos debe eliminarse antes de que pierda su actividad por la muerte de los organismos aerobios debido a la falta de oxígeno en el fondo del tanque. Cuando se dispone de los recursos adecuados, es posible

reactivar los lodos recirculados en tanques de reareación separados, antes de agregarlos a las aguas negras. Es mucho más juicioso conservar la actividad de los lodos mediante su pronto retiro del tanque.

1.4.5 Recirculación de la cantidad apropiada de lodos activados para mezclarlos con las aguas residuales.

La cantidad de lodos recirculados al tanque de aereación ha de ser suficiente para producir la purificación deseada en el tiempo disponible para la aereación y en un tiempo corto para lograr un aprovechamiento económico de aire. Debido a las variaciones en las características y concentración de las aguas negras, así como en el tipo de plantas, la cantidad de lodos recirculados puede variar desde 10 hasta 50 % del volumen de las aguas negras en tratamiento. Para una planta convencional, el porcentaje varía normalmente de 10 a 20. De esta manera se alcanza una concentración de sólidos en el licor mezclado de 1000 a 2500 ppm. En las plantas que operen con aire difundido, y de 500 a 1500 ppm, en las que operen con aereación mecánica.

La concentración óptima debe determinarse en cada planta por tanteos en la operación y debe mantenerse cuidadosamente controlando la proporción de lodos recirculados. La concentración máxima queda limitada por el suministro de aire y por la carga de las aguas negras.

Si se deja que se acumulen los sólidos, los requerimientos de aire y alimentos excederán a los disponibles y se desequilibrara la operación.

1.4.6 Tratamiento y disposición del exceso de lodos activados.

El exceso final de lodos activados se trata y dispone junto con los lodos de los tanques de sedimentación primaria. Existen diversos métodos en los que se combina el exceso de lodos activados con los lodos provenientes de los dispositivos primarios.

La práctica más común, consiste en bombear el exceso de lodos al extremo del influente del tanque de sedimentación primaria, donde se depositan junto con los sólidos de las aguas negras crudas.

Los lodos activados se sedimentan rápidamente y, debido al carácter más floculento de las partículas de lodos, tienden a arrastrar consigo parte de los sólidos no sedimentables de las aguas negras, disminuyendo así la carga de materia orgánica y de sólidos en el tanque de aereación. En las plantas donde no se sigue el procedimiento anterior, el exceso de lodos activados se pasa a los tanques de digestión de los lodos ya sea directamente o a través de espesadores.

1.5 TEORÍA SOBRE DESINFECCIÓN

La desinfección de las aguas y aguas residuales, es decir, la destrucción de los patógenos hídricos, no se logra a través de medios biológicos sino físicos y químicos. Además la desinfección química, ofrece mayores posibilidades de éxito que la desinfección física. En el curso del tratamiento, los patógenos también mueren o son destruidos en cantidades significativas.

En cambio la desinfección intencional de las aguas y aguas residuales, tienen la misión específica de matar en forma selectiva, si es necesario, aquellos organismos vivientes que pueden difundir o transmitir infecciones a través del agua o en ella. La desinfección debe recibir una mayor atención conforme crecen las poblaciones. La seguridad en las aguas de albercas y estanques para la cría de crustáceos o cultivo de hortalizas, plantea cuestiones propias.

Para la desinfección de un agua determinada, los siguientes factores constituyen variables controladas:

- 1) La naturaleza y concentración de desinfectante.
- 2) El grado de agitación al que se sujete el agua.
- 3) El tiempo asegurado de contacto entre los organismos y el desinfectante, para que sean útiles los desinfectantes deben tener las siguientes propiedades:
- 4) Deben destruir las clases y números de patógenos que se pueden introducir a las aguas o aguas residuales municipales, y además, hacerlo dentro de un lapso práctico de tiempo, de una gama esperada en la temperatura del agua, y de las aguas o aguas residuales sujetas a tratamiento.
- 5) En las concentraciones requeridas, no deben ser tóxicos al hombre ni a sus animales domésticos, ni de sabor desagradable u objetable por otra razón.
- 6) Deben ser aplicables a un costo razonable, ser seguros y fáciles de almacenar, transportar, manipular y aplicar.
- 7) Su concentración en el agua tratada debe ser determinable con facilidad, rapidez y de preferencia, automáticamente.
- 8) Deben persistir en el agua desinfectada con la concentración suficiente para proporcionar una protección residual razonable, contra la posible recontaminación del agua antes de utilizarla; o bien, debido a que ésta no es una propiedad que se obtenga normalmente, la desaparición de los residuos, será un aviso de que ha tenido lugar la recontaminación. Todavía no se han agregado al agua compuestos independientes que sirvan como centinelas contra la recontaminación.

1.5.1 Desinfección por calor.

La elevación de la temperatura del agua hasta su punto de ebullición, le proporcionará la desinfección. Debido a que ninguna de las enfermedades hídricas peligrosas es causada por bacterias formadoras de esporas o por otros organismos resistentes al calor, ésta constituye una práctica segura y recomendable, cuando hay dudas sobre la seguridad del agua potable.

También se recurre a ella como una medida de emergencia, emitida por las autoridades encargadas de la sanidad y control del agua.

1.5.2 Desinfección mediante luz.

La irradiación por la luz ultravioleta, intensifica la desinfección y la convierte en agente controlable. La fuente más común de la luz ultravioleta, es una lámpara de vapor de mercurio, construida con cuarzo o vidrio especial, igualmente transparente a la luz intensa, destructiva e invisible de 2537 Å (10^{-10} m), emitida por el arco de vapor de mercurio. Para asegurar la desinfección en el agua, se debe encontrar libre de sustancias que absorben la luz, por ejemplo, los compuestos fenólicos y aromáticos de otro tipo, incluyendo el ABS y de materia suspendida que interponga una sombra a los organismos contra la luz. Debe ser adecuado el producto-tiempo-intensidad de la exposición. El agua debe estar sujeta a una buena mezcla durante la exposición en películas relativamente delgadas, con objeto de contrarrestar su adsorbidad propia.

1.5.3 Desinfectantes químicos.

Productos químicos oxidantes.

- 1) Los halógenos como el cloro, bromo y yodo, desprendidos en forma adecuada de fuentes aceptables.
- 2) Ozono.
- 3) Otros oxidantes como el permanganato de potasio, y el peróxido de hidrógeno. Entre los halógenos, el cloro gaseoso y una serie de compuestos de cloro, son los más útiles económicamente. El bromo se emplea en escala limitada para la desinfección de aguas de alberca. El yodo se utiliza para la desinfección de piscinas y de pequeñas cantidades de agua potable en el campo. El ozono es un buen desinfectante, pero relativamente costoso, generalmente no deja un residual indicador mensurable. Pero tiene a su favor, su habilidad para destruir una serie de olores desagradables y blanquear el color en

forma efectiva. También el permanganato de potasio es un desinfectante relativamente caro. El peróxido de hidrógeno es un oxidante fuerte, pero un desinfectante pobre.

Iones metálicos. Los iones de plata no son viricidas en concentraciones aceptables, pero son bactericidas. Es lenta la desinfección a las concentraciones bajas empleadas, y tan reducidas como 15 microgramos por litro. La plata es costosa a las concentraciones que se utilizan, los iones de cobre son fuertemente algicidas, pero débilmente bactericidas.

Álcalis y ácidos. Las bacterias patógenas no prevalecen por lapsos largos en aguas fuertemente alcalinas o fuertemente ácidas; valores muy altos (mayor de 11) o muy bajos (menor de 3). Un buen ejemplo es la destrucción incidental de bacterias por la cal cáustica utilizada para suavizar el agua.

Productos químicos tensoactivos. Entre los agentes tensoactivos se encuentran los detergentes catiónicos son fuertemente destructores y los aniónicos lo son débilmente. Para la desinfección rutinaria de aguas municipales e industriales, sólo un producto químico (cloro) es tan eficiente como barato; un segundo (ozono) es suficiente pero relativamente caro, y no es lo suficientemente persistente para fines de indicación; y un tercero (calor) es relativamente más costoso y carente de propiedades indicadoras.

El agua clorada puede ser ingerida sin peligro, no sólo por el hombre y los animales superiores, sino también por otros seres vivientes con menor grado de organización, como los peces pequeños y otros organismos acuáticos en el medio hidrológico balanceado.

1.5.4 Desinfección por cloración.

El objetivo principal de la cloración es la desinfección, siendo todavía aceptado el NMP (número más probable) de coliformes como índice de su eficacia. El grado de destrucción de coliformes requerido, y la dosis de

cloro, están influidos por las características del cauce receptor y el uso posterior.

El cloro es un gas amarillo-verdoso, fácilmente compresible a líquido ámbar, Se llama Cloro Libre Total a la suma: $T = [\text{ClOH}] + [\text{ClO}^-]$.

La eficacia germicida del cloro depende principalmente del ClOH presente, a 20 °C se puede esperar que la eficacia de una concentración determinada de cloro libre sea la mitad a pH 7.5 que a pH 6. Se necesitan 5.5 veces más de cloro libre total a pH 8.5 que a pH 7.5 , para dar el mismo grado de actividad germicida, a 20 °C.

Factores que afectan a la desinfección con cloro:

El ácido hipocloroso, al contrario que el ClO⁻ es un desinfectante extraordinariamente potente. Ambas formas están en equilibrio, dependiente del pH, con concentración iguales a pH 7.5 y 25 °C. Por tanto, al añadir una solución acuosa de cloro al agua residual, la forma dominante a pH= 6.5-7.5 sería ClOH. Pero al ser extremadamente activo, reacciona inmediatamente para producir formas combinadas de cloro, no persistiendo en el agua residual.

En adición, el ClOH se combina con aminoácidos, materias proteínicas y materia orgánica, dando lugar a compuestos de bajo poder desinfectante. Reacciona con iones sulfito, sulfuro, nitritos, ferrosos y manganosos, produciendo compuestos sin actividad germicida debido a que el cloro libre se reduce a Cl⁻ el cual ya no es activo como germicida.

Siempre que sea factible deberán realizarse estudios experimentales en laboratorios, para determinar las dosis mínimas del cloro según las características del agua residual.

Transporte. El cloro se suministra como un gas licuado a alta presión en recipientes que varían de tamaños de 50 a 75 kg hasta receptáculos de

toneladas, como camiones transportando hasta 15 recipientes de una tonelada o los camiones-cisterna con capacidad para 16, 30 y 55 toneladas.

1.5.5 Precauciones y disposiciones básicas de seguridad en el manejo del cloro.

1. El gas es muy venenoso y corrosivo. Deberá preverse una adecuada ventilación para extracción del gas a nivel suelo, ya que el gas cloro es más pesado que el aire.
2. Las salas donde almacene el cloro o esté instalado el equipo clorador, deberán estar separadas por tabiques del resto de la planta, y sólo se podrá tener acceso a ellas por puertas exteriores, y deberá construirse una ventana fija de observación en la pared interior.
3. El gas y líquidos de cloro seco, pueden manipularse en condiciones de hierro forjado, pero la solución de cloro es muy corrosiva y deberá manipularse en tuberías de plástico o forradas de caucho con difusores de caucho duro. El almacenaje deberá tener una capacidad para una reserva de

30 días. Los cilindros que se utilizan, se fijan sobre balanzas de plataforma, a nivel del suelo y la pérdida de peso se usa como un registro de dosis de cloro.

1.5.6 Alimentadores de cloro.

El cloro puede aplicarse directamente como gas o en solución acuosa, algunos cloradores de poca capacidad utilizan la inyección a presión del gas en el agua residual, pero existen ciertos peligros en lo que respecta a posibles escapes de éste gas venenoso en la planta de tratamiento. Por otro lado y debido a los riesgos que supone la manipulación del gas cloro, su aplicación directa se limita a las grandes instalaciones en las que resulta posible adoptar las precauciones de seguridad necesarias. En general, la dosificación requerida se determina midiendo el cloro residual después de 15 minutos de contacto y ajustando la dosis hasta obtener un cloro residual de

0.5 mg/lit. El tiempo de contacto viene especificado generalmente por la autoridad encargada del control y puede oscilar entre 15 y 30 minutos.

El diseño del tanque de cloración debe incluir la adición de la solución de cloro a través de un difusor, que puede ser una tubería de caucho dura o bien de plástico con agujeros perforados, a través de los cuales dicha solución puede distribuirse uniformemente en el agua residual, o puede añadirse directamente a la hélice de un mezclador rápido para su difusión completa e instantánea.

Cuando en lugar de emplear medios mecánicos, el mezclado se realiza por turbulencia hidráulica, ésta debe mantenerse, al menos 30 segundos en el punto de adición de la solución de cloro al agua residual o cerca del mismo.

Dada la importancia del tiempo de contacto, deberá presentarse cuidadosa atención al diseño del tanque de cloración, de modo que al menos un 80-90 % del agua residual sea retenida en el tanque, durante el tiempo de contacto especificado. Se puede conseguir utilizando una serie de tanques interconectados o con compartimentos.

Las velocidades horizontales deberán ser de 1.5 a 4.5 m/min como mínimo. Deberá preverse la instalación de desagüe del tanque de cloración, así como la posibilidad de eliminación del fango depositado mediante la operación manual o por chorro de agua a presión.

Compuestos del cloro más utilizados en tratamiento de aguas:

Hipoclorito cálcico. Comercialmente puede encontrarse en forma seca o húmeda. El hipoclorito de calidad contiene por lo menos, un 70% de cloro disponible. En forma seca, se encuentra en gránulos o en polvo, tabletas comprimidas o pastillas. Existe una gran variedad de tamaños de recipientes, que dependen de la forma en que se adquiera aquél. Las formas preferidas

son las pastillas o los gránulos de hipoclorito cálcico, ya que se disuelven fácilmente en agua y, en las debidas condiciones de almacenaje, son relativamente estables. Dado su potencial oxidante, el hipoclorito sódico debe guardarse en un local seco y frío, apartado de otros productos químicos en recipientes anticorrosivos.

Hipoclorito sódico. La única diferencia es que la hidrólisis del Cloro gas da H^+ , bajando el pH, mientras que los hipocloritos consumen H^+ y suben el pH. Con pocos mg/l, el efecto en el pH es tan pequeño que ambos exhiben la misma actividad germicida. A mayores dosis (>10 mg/l), la producción y absorción de H^+ será lo suficientemente grande como para encontrar una diferencia medible en el pH de las soluciones finales, y la actividad germicida será la misma únicamente si se añade ácido o base para igualar los pH de la solución.

Se puede encontrar en concentraciones de 1.5 al 15% siendo 3% la concentración usual máxima. La solución se descompone más fácilmente a mayores concentraciones y se ve afectada por la exposición a la luz y el calor. Se tiene que guardar en un lugar frío en un tanque resistente a la corrosión.

1.5.7 Alimentadores de hipocloritos.

En el caso de instalaciones pequeñas, que sirven para pocas personas, se pueden utilizar alimentadores del tipo de goteo. Pueden utilizarse alimentadores controlados por orificio que hagan uso de un tanque de altura constante alimentado por gravedad desde un depósito superior.

La única dificultad con que se tropieza es que los orificios se obstruyen, por lo que continuamente se deben limpiar. El medio más satisfactorio para alimentar hipoclorito de sodio o cálcico, se logra con bombas dosificadoras de poca capacidad, se usan generalmente bombas de 18 lts/hr.

1.6 TEORÍA DE LA FILTRACIÓN.

La remoción de sólidos, al pasar el agua a través de un medio poroso, es principalmente una acción mecánica. Muchas partículas no pasan por los intersticios del filtro a causa de su tamaño. Esta acción sola, no puede dar una clarificación completa.

Los sólidos finamente divididos son solo eliminados por la formación de películas gelatinosas alrededor de los granos del medio filtrante. En algunos filtros, este recubrimiento de los granos de arena se obtiene por una acción biológica, la cual es más acentuada en filtros lentos de arena, en los cuales se forma una capa limosa, técnicamente llamada schmutzdecke, sobre la superficie del lecho filtrante. La resistencia de la capa a la rotura, se debe usualmente a su relación con organismos microscópicos. La masa reticular que ellos forman ayuda a la clarificación también puede formarse flóculos mediante varios productos químicos.

1.6.1 Filtros mecánicos.

Tipo de gravedad. Los filtros rápidos pueden ser rectangulares o circulares y se construyen de madera, acero o concreto. En el fondo se encuentra un sistema de drenado inferior que recoge el agua filtrada y distribuye el agua para retrolavado. Sobre el bajo-dren se coloca una capa de piedra graduada, antracita o grava, y sobre ella de 24 a 36 pulgadas de medio filtrante. El conjunto se completa con válvulas dotadas de controladores, para influente y efluente. Las que mantienen un flujo uniforme de agua a través del aparato con manómetro para medir pérdidas de carga con dispositivos para retrolavado, y con canaletas para agua de lavado.

Tipo de presión. Los filtros a presión son esencialmente iguales a los filtros de gravedad, con la excepción de que el material filtrante está contenido en un tanque cerrado, y de que el agua es forzada a través del lecho filtrante bajo una presión relativamente alta. Este tipo de filtración ha encontrado

demanda en la industria, especialmente en el tratamiento de agua para la alimentación de calderas, ya que este equipo puede instalarse en línea a presión eliminando un bombeo adicional.

Estas unidades se construyen en dos formas: verticales y horizontales, la primera es adaptable a la filtración de pequeñas cantidades de agua. La segunda, cuando se requieren volúmenes mayores. Los filtros horizontales no son tan satisfactorios como los verticales, debido a la tendencia del lecho inferior de grava a tomar ondulaciones en forma de valles y colinas sobre la grava o piedra sobre la que descansa el medio filtrante. Cuando ocurren estas fallas, se obtiene una deficiente filtración.

1.6.2 Tipos de materiales filtrantes.

Muchas sustancias han sido empleadas y se usan actualmente para el filtrado de abastecimientos industriales de agua. Estas comprenden arena, coque, carbón vegetal, partículas de mármol, así como: lava, carbón de antracita, tierra diatomácea, asbesto, telas burdas y otros materiales empleados. Las instalaciones grandes para filtrar agua fría para alimentación de calderas, generalmente emplean arena o carbón. El equipo del tipo industrial para filtrado de agua, es prácticamente el mismo que se emplea para fines sanitarios.

Arena. Es el medio más ampliamente usado para la filtración de agua fría. La selección del grado adecuado y tamaño de las arenas, así como el espesor del lecho, son características esenciales en el diseño de un filtro.

La arena empleada en filtros destinados a tratamiento de agua para calderas deberá ser escogida tan cuidadosamente como la que se emplea en el tratamiento de agua para fines sanitarios. El material preferido, es arena de cuarzo puro, libre de barro, arcilla u otro material soluble en ácido.

El tamaño más deseable de arena varía con la clase y temperatura del agua por tratar, los flujos a que funcionara el filtro, la profundidad del lecho, y otros factores. Algunos ingenieros han utilizado arena con un tamaño efectivo de 0.60 mm o mayor.

Para las condiciones promedio en tratamiento de aguas para alimentación de calderas, generalmente se emplea un tamaño efectivo de 0.40 ó 0.45 mm. La eficiencia total de un medio filtrante, incluyendo la longitud de los ciclos entre lavados, es efectuada por la graduación hidráulica del material. Los mejores resultados se obtienen con un material que sea de dimensiones uniformes. Un problema serio de operación que frecuentemente ocurre en los filtros, es el disturbio del medio de soporte en la parte inferior de ellos. Esta dificultad se experimenta tanto en los filtros de gravedad como en los de presión.

El disturbio de las capas de grava u otros medios de soporte puede ser disminuido mediante una graduación apropiada y cuidado en el retrolavado.

Un retrolavado demasiado violento o una presión demasiado alta en las líneas principales de agua son responsables en muchos casos de esta operación defectuosa. El material de drenado puede ser también perturbado por el aire mezclado en el agua.

1.6.3 Canales para agua de lavado.

Tanto en los filtros a presión como en los de gravedad se utilizan canales para agua de lavado y otros dispositivos similares con el doble fin de recoger el agua de lavado y para distribuir el agua admitida al filtro. Deberán ser colocados a una altura suficiente sobre la superficie del material filtrante para que éste último no sea arrastrado al exterior durante el periodo de limpieza.

1.6.4 Equipo para lavado superficial.

Varios sistemas se han empleado para mantener la superficie del medio filtrante libre de bolas de lodo y otras acumulaciones similares. El control más satisfactorio para mantener una superficie filtrante limpia consiste en agitar con agua el lecho o dispositivo operados mecánicamente. El tipo de aparato limpiador más usado recientemente es lavado superficial.

El equipo está diseñado para agitar la superficie del medio filtrante mediante chorros de agua a presión relativamente alta, conforme giran los tubos que la conducen. La rotación se efectúa al ser impulsados los tubos por la reacción producida por los chorros de agua. Es un equipo aplicable a filtros de gravedad, como de presión y cuando está bien diseñado y operado, mantiene libre de depósitos la superficie de los filtros. Durante la operación, los filtros lavadores de superficie deberán ser puestos en funcionamiento antes de que el nivel de agua haya bajado con relación al borde de los canales.

El agua regular para retrolavado se alimenta a continuación y conforme el lecho se expande. Los lavadores rotatorios se sumergirán en el lecho algunas pulgadas, y el efecto combinado de los lavados superficial, rotatorio y ascensional por el flujo de agua de retrolavado, aseguran la remoción de depósitos, que son arrastrados al drenaje. Las características distintivas de los filtros rápidos de arena son: su tamaño relativamente pequeño y las formas en que se deben limpiar debido a que acumulan impurezas en casi todos sus niveles. La filtración por arena se convierte, entonces, en una operación terciaria de tratamiento para las aguas residuales. Como tal, puede proporcionar una protección mejorada a las masas receptoras de agua o preparar los efluentes para que se usen de nuevo en la industria, agricultura o recreo, y para recarga del suelo. Los filtros rápidos que sirven a estos fines siguen el patrón de los filtros rápidos para agua, pero contienen generalmente granos más gruesos (1×10^{-1} a 3×10^{-1} cm) y operan a velocidades inferiores (menos de 3 gpm por pie cuadrado). Los

ciclos de filtración son a menudo cortos, y se puede necesitar clorar fuertemente los lechos a purgar en forma regular con cáusticos u otros productos químicos para mantenerlos abiertos y dulces. De algunos filtros sólo se desea que sean unidades de acabado que separen los flóculos residuales de un agua bien coagulada y bien sedimentada.

Tales filtros pueden ser unidades de una profundidad relativamente pequeña, de grano grueso y velocidad elevada que produzcan un efluente claro, susceptible a la desinfección en forma fácil y segura. Los filtros primarios llamados así porque solo preparan el agua para una filtración posterior pueden ser también de este diseño. Se han colocado antes de los filtros lentos de arena y han sido operados con o sin coagulación.

Pero los demás filtros se diseñan normalmente como unidades relativamente profundas, de grano fino y baja velocidad ya que se destinan para:

- 1) Ofrecer una barrera efectiva a los patógenos hídricos.
- 2) tratar agua que contiene mucho flóculo.
- 3) Servir como unidades reaccionantes para la formación de flóculos, después de una dosificación secundaria al agua, aplicada con un polielectrolito u otro coagulante.

1.6.5 Redes de tuberías.

Entre sus formas más simples, las redes de tubería comprenden una principal, llamada múltiple, y unas laterales perforadas. Por lo general, las perforaciones se hacen en las laterales a lo largo de una hilera sencilla de orificios dirigidos verticalmente hacia abajo o en dos hileras, como pares de orificios dirigidos hacia abajo a ángulos de 45° a cada lado de la vertical, para protegerlas contra la corrosión, las redes de tubería se recubren generalmente con cemento, formando una cubierta gruesa en su parte externa.

1.6.6 Inconvenientes de los filtros.

Los filtros rápidos presentan una variedad de inconvenientes, por ejemplo: agrietamiento del lecho, formación de bolas de lodo, obstrucción de algunas porciones del lecho, acción de chorro en el plano de separación entre grava y arena, agitación (similar a ebullición) de la arena, y fuga de arena hacia el sistema de drenado inferior. Las dificultades de las operaciones relacionadas con el trabajo de los filtros pueden ser tan grandes que se puede llegar a necesitar remover el medio filtrante y la grava que sirve de soporte cada dos o tres años: limpiarlos, reclasificarlos y colocarlos nuevamente en el orden apropiado.

Remoción de color, turbidez y hierro.

La turbidez responde bien a la filtración lenta por arena sin ayuda de la coagulación. Sin embargo, con excepción de las cantidades sumamente pequeñas, todos los valores de la turbidez obstruyen a los filtros lentos con tanta rapidez, que no deberán aplicárseles aguas con turbideces superiores o cercanas a 40 unidades. Tanto los filtros de arena rápidos como los lentos remueven al hierro y al manganeso y sustancias oxidadas y oxidantes. El manganeso precipita lentamente y responde mejor a la filtración lenta que a la rápida, a menos que haya sido adecuadamente floculado. Si la arena se cubre con manganeso, la precipitación se favorece por catálisis.

1.7 TEORÍA DE ADSORCIÓN POR CARBÓN ACTIVO.

Dentro de los procesos avanzados del tratamiento, la adsorción con carbón activo, granular o en polvo, está hallando una gran aplicación en la eliminación de la materia orgánica soluble presente en bajas concentraciones.

Su aplicación industrial también aumenta: en las refinerías de petróleo se viene utilizando como medio para eliminar las concentraciones bajas de fenol y de moléculas orgánicas de traza que pueden tener efectos tóxicos

sobre las aguas receptoras. La adsorción ha tenido hasta ahora una importante aplicación directa en el tratamiento y análisis de aguas en dos operaciones:

- 1) La remoción de cloros y sabores indeseables del agua potable.
- 2) La concentración de pequeñas cantidades de compuestos orgánicos.

En ambas operaciones, el carbón activado ha sido, hasta ahora, el adsorbente elegido. La adsorción ordinaria o física es generalmente rápida. Es reversible, ya que se puede regenerar, y se alcanza una condición de equilibrio entre el adsorbato adsorbido y el disuelto, inmediatamente después del contacto con el adsorbente.

Sin embargo cuando el adsorbente es un sólido poroso, como el carbono granular o cuando la concentración del adsorbato es pequeña, el contacto total puede estar limitado por procesos difusionales u otros procesos de transporte.

Entonces, el alcance del equilibrio también es demorado. En algunas ocasiones, las áreas superficiales de los adsorbentes se determinan a partir de sus capacidades limitantes de adsorción para sustancias como el fenol, yodo o azul de metileno, además de una estimación del área superficial cubierta por molécula. La amplitud de adsorción de un adsorbato particular sobre un adsorbente, depende también de la temperatura y de la presencia de otros adsorbatos en la solución.

Generalmente, la adsorción disminuye con la temperatura ascendente, pero no es fácil predecir su magnitud para la adsorción de soluciones acuosas y no se encuentra que sea significativa para la escala de temperaturas que generalmente prevalecen en el tratamiento de aguas.

Si se encuentran presentes otros adsorbatos, éstos tienden a disminuir la adsorción de un adsorbato particular, al competir por el espacio existente sobre la superficie. El carbón activado en forma pulverizada también se ha aplicado con éxito a los tanques de almacenamiento y tanques abiertos de sedimentación. Ahí actúa como adsorbente y como un medio para obstruir el paso de la luz, impidiendo así el crecimiento de algas.

Las columnas o lechos de carbón activado granular se emplean:

- 1) Para concentrar los contaminantes orgánicos del agua para propósitos de su análisis.
- 2) Para la remoción de contaminantes.

Algo de la remoción de las sustancias productoras de color y de otros contaminantes durante la coagulación pueden ser resultado de la adsorción, algunos procesos utilizan este fenómeno para reducir la sílice, los fluoruros o sustancias radiactivas. Las dificultades y los costos de regeneración explican porque se continúa empleando más el carbón activado pulverizado.

El carbón granular puede remplazar a otros materiales filtrantes en estructuras semejantes a los filtros rápidos de la actualidad. De hecho, los lechos de carbón activado granular se pueden comportar ya sea como filtros o como adsorbentes. Sin embargo, los filtros de carbón activado deben ser algo más profundos que los filtros de arena, aun cuando se puedan operar a velocidades de flujo más altas por pie cuadrado de lecho. Para adsorción, la velocidad de flujo por pie cúbico más que por pie cuadrado de lecho es el parámetro importante en la práctica. Los tamaños de los granos de carbón varían de 0.2 a 4 mm o de 14/40 mallas y se obtienen velocidades de un valor cercano a 0.5 gpm por pie cúbico.

Cuando los lechos de 1.52 m a 3.05 m de profundidad filtran agua a velocidades de 1.76 a 3.53 Lpm/m². Los tiempos de contacto son de

aproximadamente 1.7 minutos y pueden obtenerse rendimientos de colección del 50 al 90 % de los materiales extractables del carbón por cloroformo (CCE). A causa de las múltiples variables que intervienen son indispensables las pruebas a escala de planta piloto. La adsorción puede describirse como el proceso en el que las moléculas abandonan la solución y quedan retenidas en la superficie sólida mediante enlaces físicos y químicos. A las moléculas se les llama adsorbatos y al sólido se le denomina adsorbente. Si los enlaces que se forman entre el adsorbato y el adsorbente son muy fuertes, el proceso es casi siempre irreversible y se dice que ha tenido lugar una adsorción o quimioadsorción.

Si los enlaces que se forman fueran muy débiles, como es característico de los enlaces formados por las fuerzas de Van der Waals, se dice que ha tenido lugar una adsorción física. Las moléculas así adsorbidas se eliminan fácilmente, o son desorbidas, por un cambio en la concentración de la solución y por esta razón se dice que el proceso es reversible. La adsorción física es el proceso que ocurre más frecuentemente en la eliminación de los constituyentes de agua residual por carbón activo.

1.7.1 Principios del proceso por carbón activo.

El tratamiento del agua residual con carbón activo suele considerarse como un proceso de acabado del agua ya tratada por procesos de tratamiento biológico normales. En este caso, el carbón se utiliza para eliminar parte de la materia orgánica residual disuelta. Con frecuencia se utiliza una columna como medio de contacto del agua residual con el carbón granular. Es necesario prever las instalaciones de lavado en superficie y a contracorriente, ya que la materia particulada en el efluente tiene una concentración media de 10 mg/lit y es eliminada casi totalmente por el filtro. El lavado a contracorriente es necesario para evitar las pérdidas excesivas de carga.

Tales columnas pueden operar solas, en serie o en paralelo. Puesto que el carbón es muy fino, puede necesitarse un coagulante (como un polielectrólito) para facilitar la eliminación de las partículas de carbón, o bien requerirse una filtración a través de filtros rápidos de arena. El carbón granular se regenera fácilmente por oxidación de la materia orgánica y su posterior eliminación de la superficie del carbón en un horno.

1.7.2 Filtros de carbón activo.

El carbón activo granulado, empleado como material filtrante en los filtros rápidos, elimina las sustancias productoras de olor y sabor extraño, y decolora el agua pantanosa o que contiene humus.

Elimina también las cantidades pequeñas de hierro, el cloro (convirtiendo el cloro activo en cloruro) y las sustancias grasas u oleaginosas, y de este modo clarifican el agua. La acción del carbón activo se debe a su elevado número de poros y capilares finísimos. Estos orificios microscópicos retienen las sustancias del agua por adsorción y absorción, 1 gramo de carbón activo tiene una superficie de hasta 500 m².

Las alturas de filtro que se exigen son de 2 a 3 m, la velocidad de filtración será de unos 40 m/h. El relleno de carbón activo debe reponerse todos los años. También es preciso efectuar lavados con agua de cloro en los intervalos de tiempo usuales, las sustancias inorgánicas y orgánicas retenidas se eliminan cada cierto tiempo con lejía de sosa al 10 % a 50 °C.

CAPITULO II

DESCRIPCION DEL PROCESO

Se consideran varias etapas iniciando con la alimentación de aguas residuales crudas de la F.E.S.C.1 que provienen de los sanitarios por medio de un tubo de PVC que llega a un tinaco de plástico de gran capacidad (600 litros), pero no se llena totalmente, solamente se le hace llegar la cantidad suficiente de agua para que pueda alimentar constantemente al desarenador, y consecutivamente al resto del sistema. El tinaco tiene a la salida una válvula para regular el flujo que va a entrar desde el desarenador hasta el clorador. La altura a la que queda el tinaco deberá ser suficiente para, que el agua baje por gravedad con fuerza suficiente para alimentar a todo el tren de equipos. A la salida de la válvula va conectado un pedazo de manguera de hule transparente por donde llega el agua residual al desarenador. (Figuras: 2.1, 2.2, 4.1, 4.2)

2.1 Desarenador.

El agua residual que le llega del tinaco, cuando entra debe ser a un flujo pequeño para que no se crea turbulencia muy alta, para que las partículas pesadas o materia orgánica pesada no se suspenda, y de esta forma se vaya al fondo del equipo. Esto ocurre a medida que el agua recorre longitudinalmente el equipo lentamente. También la forma geométrica del mismo ayuda a que las partículas o materia orgánica pesada resbalen a través de las paredes y se concentren en el fondo, por donde salen por medio de unos drenes que se pueden obstruir con tapones de hule. En esta etapa el agua sale con menos cantidad de sólidos pesados como partículas de arena, materia orgánica muy pesada, etc.

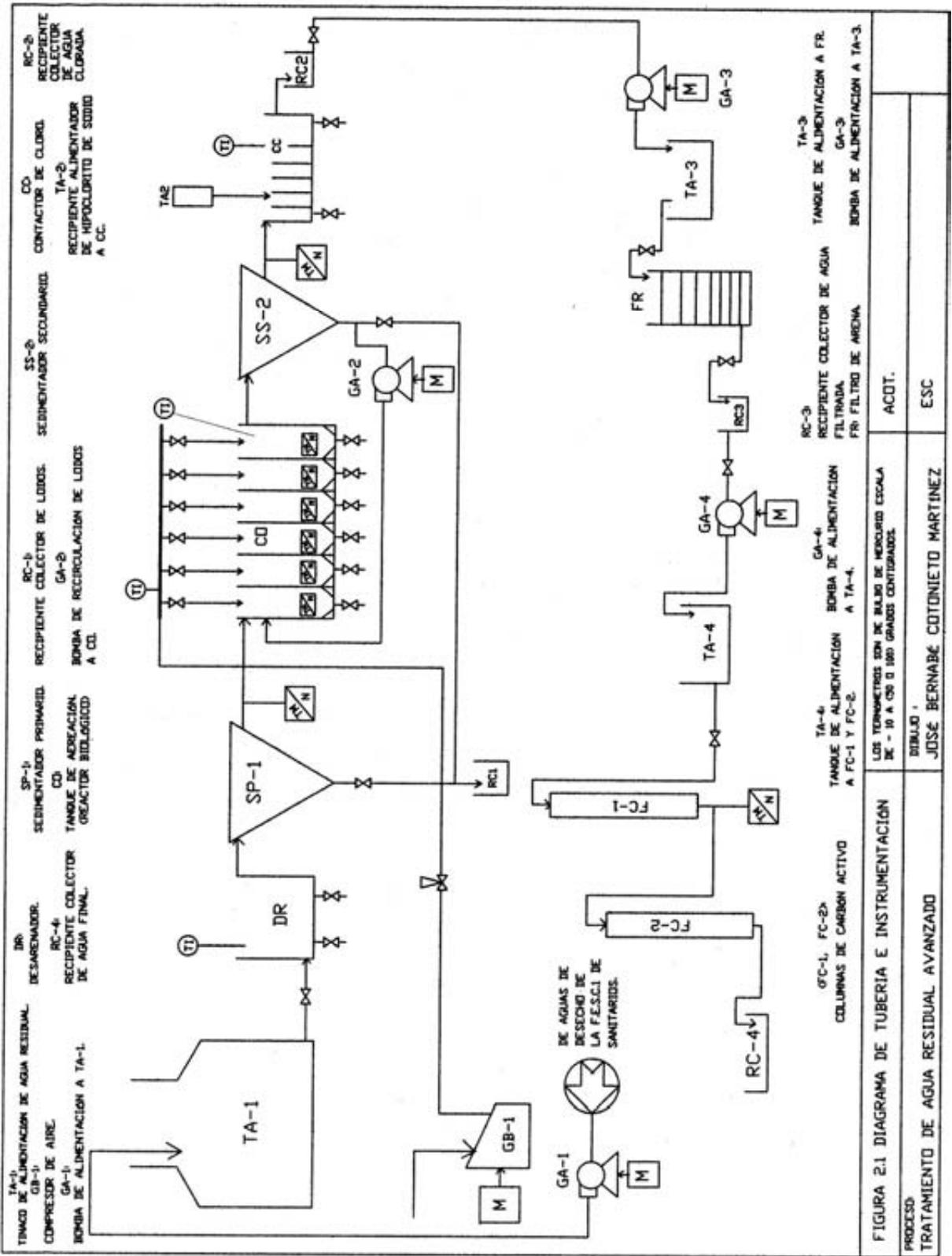


FIGURA 2.1 DIAGRAMA DE TUBERIA E INSTRUMENTACION

PROCESO
TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL AVANZADO

ACOT.
ESC

DISEÑADO POR
JOSÉ BERNABÉ COTONIETO MARTINEZ

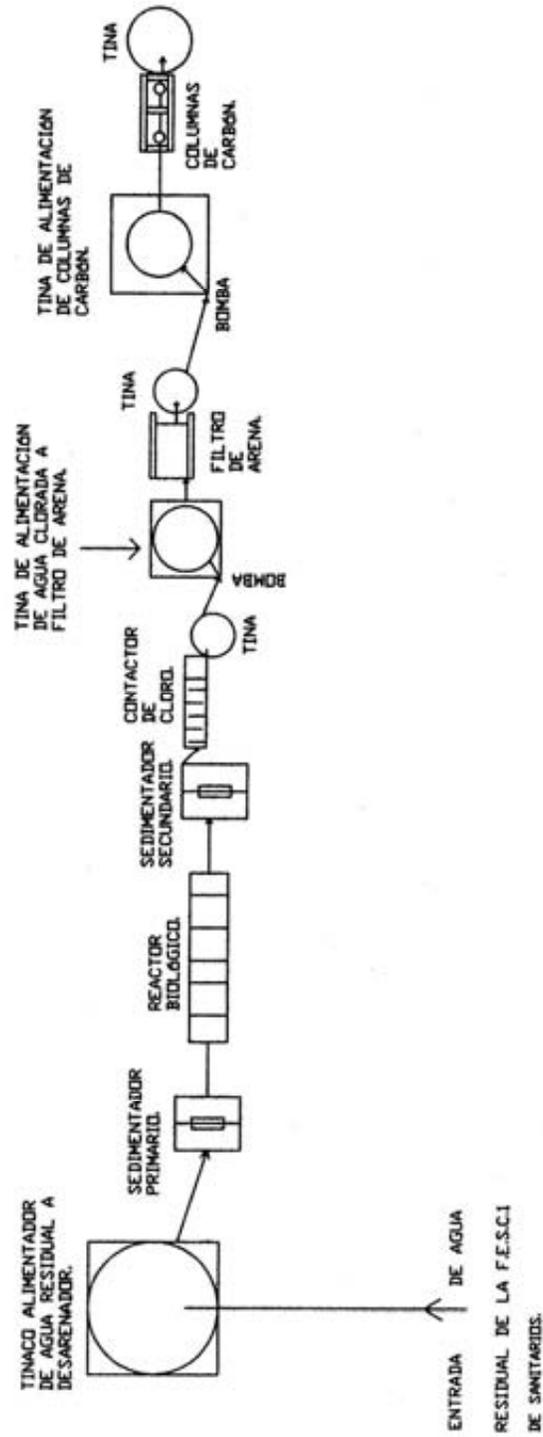


FIGURA 2.2 VISTA SUPERIOR DEL PROTOTIPO EXPERIMENTAL.

PROCESO
TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL AVANZADO

DISEÑO
JOSÉ BERNABÉ COTONIELO MARTÍNEZ

ACOT. MTS.

ESC 1:83.7

Es importante por que esto puede interferir en la siguiente etapa, desde luego, que cuando el agua residual está en el tinaco, entra en una fase de reposo y aquí también se decantan las partículas pesadas y esto ayuda mucho más al proceso. Este equipo se colocará por debajo del tinaco, a cierta altura del piso para que también el agua baje por gravedad con suficiente fuerza para alimentar a la siguiente etapa, y se hace por medio de manguera de hule transparente.

2.2 Sedimentador primario.

A este equipo que le llega agua del desarenador, va con partículas sólidas en menor cantidad. Desde que se va llenando el equipo de agua se van sedimentando las partículas voluminosas de materia orgánica, debido a la forma geométrica del recipiente.

Estas partículas se sedimentan más rápido concentrándose en el fondo al mismo tiempo que ocurre esto, el agua se va clarificando y cuando alcanza la caja colectora y llega a los bordes superiores de la misma, el agua empieza a caer en el interior y sale por el fondo de la caja colectora del sedimentador a través de manguera transparente. El equipo lleva una válvula en el fondo para drenar los lodos que sedimentan, estos lodos se suman a los lodos del sedimentador secundario, por medio de una tubería de PVC de 2" de diámetro, donde fluyen los lodos sedimentados.

Los lodos se reciben en una cubeta de plástico, el equipo debe estar a una altura tal que el agua baje por gravedad con suficiente fuerza y vaya a la siguiente etapa. En esta etapa de sedimentación primaria, se elimina la parte restante de materia orgánica pesada clarificándose aun más el agua. Esto ayuda a la siguiente etapa para que no vaya muy cargada de materia orgánica y partículas sólidas pesadas que pudieran colarse.

2.3 Reactor biológico.

En esta etapa se lleva a cabo una reacción biológica, llamada así debido a que en el medio líquido y lodos presentes, existe una gran cantidad de microorganismos que en presencia de oxígeno atmosférico llevan a cabo transformaciones de la materia orgánica presente y en ocasiones favorables, también transforman los componentes en solución acuosa en otras formas más fáciles de eliminar por medio de otras condiciones menos estrictas. Como condición para esta etapa de reacción, se hace necesario alimentar aire por medio de un compresor. Este aire llega por medio de una manguera de hule transparente, que va conectada al tubo que contiene las 6 válvulas (usadas en parrillas de gas) por las que se puede regular la entrada de aire para cada compartimiento que hay en el reactor, para observar en que influye la variación de aire. Esta etapa tiene una recirculación de lodos que provienen del sedimentador secundario que va a dar al primer compartimiento de aireación. Esto ayuda a que la transformación de los lodos crudos que van entrando apenas al reactor sea más eficiente.

A lo largo de todo el reactor y en cada uno de los compartimientos se va llevando a cabo una mayor digestión de los lodos disueltos y ligeramente suspendidos. La forma del reactor es de geometría tal, que se produzca una turbulencia en cada uno de los compartimientos, para que al momento de inyectar aire se suspendan los lodos y los que se transforman en otro tipo de productos. Cuando el agua va subiendo de nivel alcanza la salida del reactor por un orificio y cae a una caja colectora y enseguida, a través de un tramo de manguera transparente de hule pasa a la siguiente etapa.

La recirculación de lodos se puede llevar a cabo por medio de una bomba pequeña (usadas en lavadoras), que podrá ser instalada por debajo del reactor, la recirculación se hace por medio de mangueras de hule transparente en la succión y descarga de la bomba. Esta recirculación se hace a intervalos de tiempo, según se requiera de acuerdo a los resultados experimentales medibles (cantidad de sólidos, DBO, etc.). Los drenes que

tiene en el fondo, es para hacer limpieza en el equipo y para drenar lodos que se acumulan. En esta etapa los lodos disueltos que entran, salen estabilizados y en el agua aparecen nuevos productos, como nitritos, nitratos y fosfatos. Y esto es más fácil de eliminar por medio de otros tratamientos. Este sistema de tratamiento depende de una adecuada aireación y buena cantidad de materia orgánica presente en solución. El caudal de agua residual es de 500 ml/min, por lo que tiene un tiempo de residencia de aproximadamente 6 horas. La aereación se llevará a cabo por medio de unos difusores porosos cilíndricos que distribuyen el aire que entra, y están colocados en el fondo de cada uno de los compartimientos.

La altura a la que coloca el equipo debe ser suficiente para que el agua baje por gravedad y alimente a la siguiente etapa. Para conectar el reactor con el sedimentador secundario, se hace con manguera de hule transparente.

2.4 Sedimentador secundario.

En esta etapa, cuando llega el agua del reactor, llega un flujo muy pequeño (500 ml/min), se empieza a llenar poco a poco hasta llegar al ras de la parte superior de la caja colectora, en ese momento empieza a resbalar el agua y pasa por un tramo de manguera transparente, esta es la salida del equipo.

Como la salida del reactor está más alta que la entrada del sedimentador secundario, va a ocasionar que se llene poco a poco el sedimentador. La media caña que tiene es para evitar turbulencias muy altas al momento de entrar el agua. En ésta etapa, el agua llega con sus componentes transformados en otras especies más estables, al igual que la materia orgánica.

Los sólidos sedimentables vienen en suspensión en el agua, y los demás en forma de iones en solución, pero cómo en ésta etapa el agua entra en reposo, los sólidos más pesados que el agua se van sedimentando y el

agua se empieza a clarificar, al mismo tiempo que haciende a la caja colectora del equipo. Los lodos sedimentados van a drenarse cuando ya sea una cantidad más o menos grande, pero antes se va a recircular una parte hacia el reactor, esto se hace por la tee de PVC con ayuda de una bomba pequeña (usadas en lavadoras) que se encuentra por debajo del reactor.

Los lodos se van por un tubo de PVC de 2" de diámetro y van desembocar a una cubeta de plástico, en la misma cubeta se reciben también los lodos del sedimentador primario. En el sedimentador secundario el agua sale con pocos sólidos en suspensión, y con una clarificación más elevada y en el interior del mismo se decantan una cantidad enorme de microorganismos en forma de flóculos y materia orgánica ya estable. Este equipo se conecta al clorador por medio de manguera de hule transparente.

2.5 Contactor de cloro.

A este equipo el agua llega libre de sólidos sedimentables y en suspensión, y con menor cantidad de microorganismos. Le llega a través de manguera de hule transparente y que va conectada a un codo que está a la entrada del recipiente. El arreglo del recipiente es tal que cuando el agua cae del codo se golpea contra si misma provocando cierta turbulencia y en este momento se le gotea hipoclorito de sodio a ciertos intervalos de tiempo por medio de la bureta dosificadora que contiene el recipiente. Inmediatamente el agua pasa por una serie de mamparas que están dispuestas en tal forma, que junto con la caída de agua desde el codo y el arreglo, se crea una mayor turbulencia interna ayudando a que se mezcle el hipoclorito. A la salida de la última mampara, el agua cae por una pared o derramadero, después por una rampa, y finalmente va a dar a un canal de salida, provocando que exista una elevada mezcla del hipoclorito de sodio con el agua. Esto es para asegurarse que los microorganismos que quedan después de la sedimentación secundaria se eliminan.

2.6 Filtro de arena.

El agua que llega aquí, viene libre de materias orgánicas y partículas grandes, pero trae partículas pequeñas casi microscópicas, y es necesario que pase por el filtro de arena para eliminarlas. Las partículas están en la superficie del agua y en el seno del líquido dando lugar a que el agua se ponga turbia. Al pasar el agua por cada una de las capas de arena, se van reteniendo las partículas sólidas en suspensión, esto ocurre principalmente en la capa de arena más fina (en la de 0.4 milímetros de tamaño de partícula).

Las partículas que logran pasar, se van reteniendo en las capas subsecuentes. Aunque el tamaño de partícula de las capas que siguen es más grande y como consecuencia los espacios entre las piedras es más grande, aún así se van reteniendo las partículas que trae el agua.

La función de los diferentes tamaños de las piedras de la grava es para que el agua se distribuya uniformemente en todo el recipiente y las diferentes capas sirven para lo mismo. Otra función es para que las partículas no pasen por los huecos en el filtro. También los microorganismos que quedan vivos, van quedando en la superficie de cada una de las piedras de las capas de arena. Todo esto contribuye a que el agua salga más purificada saliendo sin partículas en suspensión, y por lo tanto no turbia, aunque con cierto grado de coloración.

2.7 Filtro de carbón activo.

A esta etapa el agua llega con un grado de purificación más alto, pero llega con una cierta coloración y olor. El agua llega a través de manguera de hule transparente. Con ayuda de una bomba que trabajará por intervalos de tiempo para llenar la tina de carga de los filtros, Primero el agua pasa por el primer filtro de carbón activo e inmediatamente por el segundo.

En el primer filtro al agua se le elimina una buena cantidad de olor y color, y para asegurarse, pasa a la segunda columna donde se lleva a cabo una segunda reducción de color y olor. Aquí en las columnas de carbón, en cada una de las partículas granuladas en su superficie se lleva a cabo una adsorción o retención de compuestos orgánicos en forma de partículas coloidales que producen coloración y olor en las aguas.

Las capas de arena que están en el fondo de cada una de las columnas de carbón, es para que el carbón no se pase con el agua, y al mismo tiempo, para que retenga algunas basuras que estén en suspensión en el agua. También en esta etapa el carbón retiene el cloro que trae el agua en forma de hipoclorito de sodio, de ésta manera el agua sale al final del segundo filtro libre de olor y color. Claro que en forma de iones el agua trae una cantidad grande de sales dañinas para el ser humano y demás seres vivos y para eliminarlas se requiere de otras etapas de tratamiento. Por lo que ésta agua únicamente se recomienda para riego y servicios de limpieza.

Finalmente el agua se recibe en una tina de plástico en donde llega por medio de una válvula de PVC de $\frac{1}{2}$ " de diámetro, de aquí se toma ya el agua para los propósitos que más convengan.

(Figura 2.3 Prototipo experimental completo)

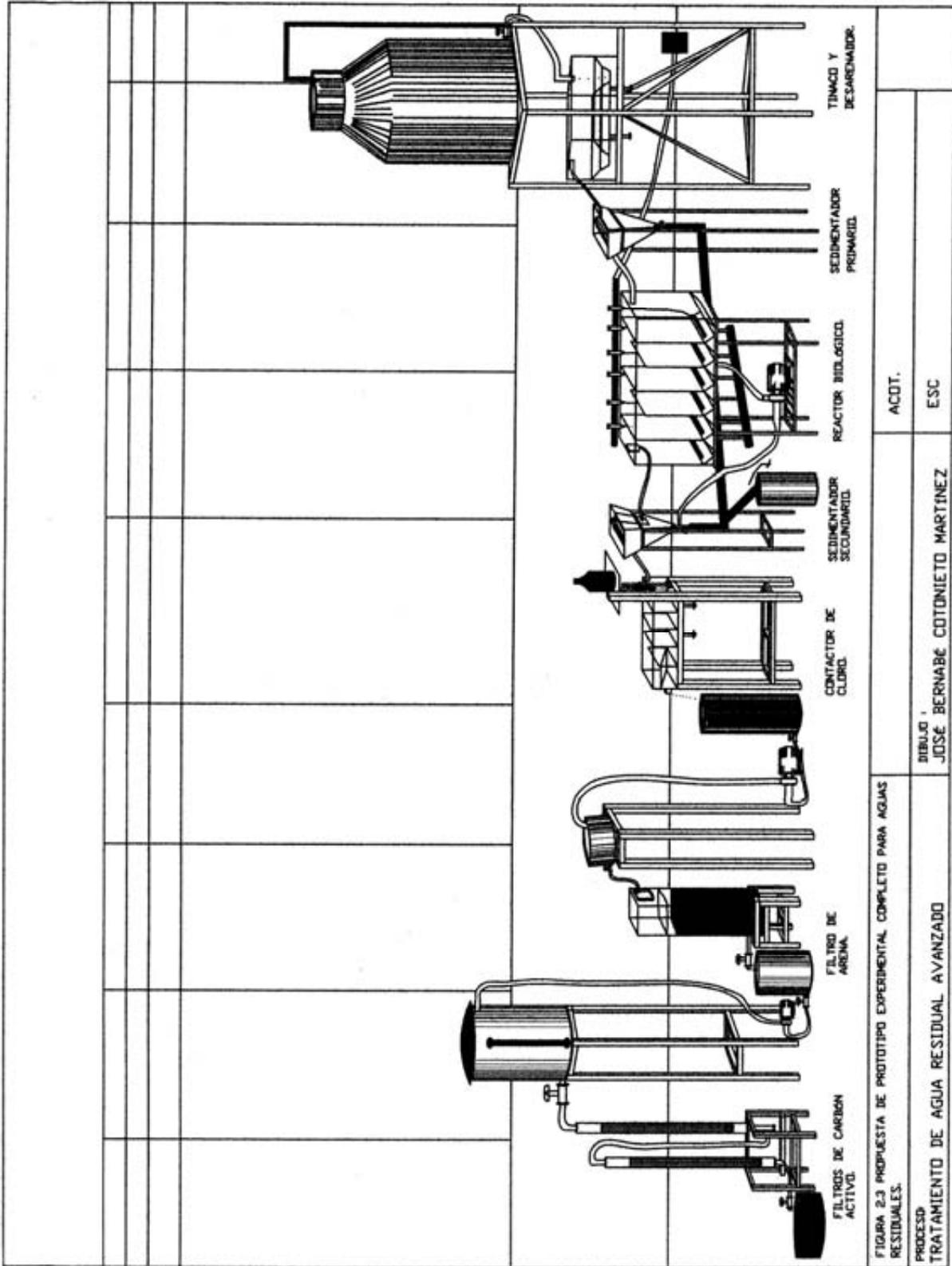


FIGURA 2.3 PROPUESTA DE PROTOTIPO EXPERIMENTAL COMPLETO PARA AGUAS RESIDUALES.

PROCESO:
TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL AVANZADO

BIBLIO:
JOSE BERNABE COTONIETO MARTINEZ

ACDT.

ESC

CAPITULO III

INDICACIONES DE OPERACIÓN

3.1 PASOS A SEGUIR PARA UNA OPERACIÓN ÓPTIMA DE TODO EL TREN DE PROCESOS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS.

Para la operación de la planta, primero se tiene que ajustar desde la salida de agua del tinaco, el flujo de agua, pero antes se tiene que llenar primero de agua residual el desarenador, la válvula de salida del tinaco se va a regular de tal manera que el flujo sea de 500 ml/min (utilizando un vaso de precipitados y un cronometro), una vez que se llene el recipiente para que se decante la arena que se encuentra presente en el agua.

Al ir aumentando el nivel del agua y cuidando que alcance el nivel donde se localiza el tubo de salida para que comience a bajar por gravedad a través de la manguera al sedimentador primario. Antes que llegue el agua del desarenador el sedimentador primario, el sedimentador debe estar lleno de agua residual hasta el tope del fondo de la caja colectora del sedimentador, Para que se acabe de llenar y empezar a derramarse por la misma caja colectora y pasar por medio de la manguera al reactor biológico.

El reactor biológico también debe estar hasta una cierta altura de nivel con agua residual para que cuando llegue el agua del sedimentador primario se acabe de llenar, y por gravedad el agua pase al sedimentador secundario. El aire que se alimenta al reactor se toma a partir de cada una de las válvulas que están en cada una de las divisiones del reactor.

Por medio de las válvulas se regula la cantidad de aire que se desee al momento de llevar a cabo pruebas de aereación, el tubo que se encuentra por debajo del reactor conectado a cada una de las válvulas, es para drenar el reactor cuando se quiera hacer limpieza.

Cuando se quiera recircular lodos del mismo reactor, se pone a trabajar la bomba que se encuentra en la parte de abajo del reactor, y se recircula cierta cantidad, según la persona que lleve a cabo las pruebas con el agua.

Si se recircula mucha cantidad de lodos al reactor los requerimientos de aire aumentarán. Cuando llega el agua al sedimentador secundario, este equipo ya debe tener agua residual hasta el borde de la parte inferior de la caja recolectora, para que se termine de llenar por si solo, y empiece a bajar por gravedad a la etapa de cloración. El sedimentador tiene una válvula en la parte inferior para drenar los lodos que se producen de vez en cuando, para que no se acumulen en el equipo. En la etapa de desinfección cuando el agua llegue del sedimentador secundario, el clorador debe contener agua residual hasta un cierto nivel. Para que cuando llegue el agua sedimentada, inmediatamente por medio de la bureta se regule la cantidad de hipoclorito de sodio que se va a agregar.

Va a ser una gota cada minuto, este goteo va a ser continuo, para eso se requiere que se esté llenando continuamente el recipiente que contiene al hipoclorito de sodio. El llenado se va a hacer cada tercer o cuarto día, debido a que está concentrado el hipoclorito. En la parte de abajo del clorador se encuentran unos drenes para cuando se quiere hacer limpieza en el equipo.

El agua pasa del clorador a una tina que la recibe, y de ahí por medio de una bomba, se manda a una tina de carga. Si no hay bomba, entonces con una cubeta se llena. La salida de la tina de carga, tiene una válvula con la que se regula la cantidad de agua que se requiere. También aquí el flujo va a ser de 500 ml/min para que concuerde con la entrada que viene desde el tinaco. La válvula de salida del filtro de arena, que es la etapa a la que llega el agua a partir de la tina de carga, debe estar cerrada. Así debe estar hasta que el filtro se llene ó también se puede agregar agua, con una cubeta, hasta

que alcance la marca del nivel que tiene el filtro hasta donde debe llegar el agua, y mantenerse ahí constantemente.

Cuando se alcanza el nivel marcado, se abre la válvula y se regula la salida con la entrada del agua al filtro, para que no se baje el nivel y así debe permanecer constantemente. El agua llega a una tina de plástico, y debe estar casi llena para alcanzar cierta altura y al salir a presión el agua le ayude a la bomba que está a la salida de la tina, a mandar el agua filtrada hacia la tina de carga de los filtros de carbón.

La tina de carga de los filtros de carbón, debe llevar una manguera que sirve como indicador de nivel de agua, para que cuando llegue a una altura suficiente, para que el agua baje con una presión suficiente, para que después de que se llene la primera columna, se llene por gravedad la segunda columna.

Para lograr que sea continuo el flujo a la entrada y salida de las columnas, primero, se tiene que llenar la primera columna y después la segunda, permitiendo que salga el aire que queda atrapado en la segunda columna, lo cual se logra instalando una tee de PVC de ½" a la entrada de la primera y segunda columna de carbón. En el orificio de en medio de la tee, se le pone un tapón de hule para desfogar cada que se quiera sacar el aire de las columnas para que se llene cada una de las columnas.

La entrada de la primera columna se debe regular con la salida de la segunda columna, por medio de las válvulas de entrada y salida, y sea continuo el flujo. El agua se recibe en una tina de plástico y de aquí se puede pasar a un recipiente mucho más grande para almacenar el agua o disponer directamente de ella para los propósitos de riego o limpieza de sanitarios.

Se le tiene que poner una malla a la válvula de retención que lleva la bomba en la succión para que retenga las basuras grandes, en la salida del sedimentador primario lleva una tee de PVC para que se tomen muestras cada determinado tiempo.

Lo mismo en la salida del sedimentador secundario y en la salida de la primera columna de carbón. En cada una de las divisiones del reactor biológico tiene una válvula de PVC para que se tomen muestras de agua cada determinado tiempo. Cada muestra es para que se hagan las pruebas fisicoquímicas pertinentes, para ver con que eficiencia trabaja cada uno de los dispositivos y además se pueden hacer pruebas microbiológicas para completar la verificación de la eficiencia. Cuando la eficiencia del filtro de arena ya bajó, se debe descargar cada una de las capas de arena y grava, lavarlas, separar cada tamaño de partícula, con las mallas. Después volver a cargar cada una de las capas, esto ocurrirá aproximadamente, cada tres meses, ya que la cantidad de sólidos en el agua con que se alimenta la planta, no es muy alta. La calidad del agua obtenida a la salida de la última etapa del tren de equipos se espera de un (75 a 85) % con respecto a la eliminación de sólidos y reducción de la DBO.

CAPITULO IV

DISEÑO DEL PROTOTIPO EXPERIMENTAL PARA AGUAS RESIDUALES

4.1 ETAPAS DE TRATAMIENTO.

Para la propuesta del prototipo experimental se requiere del diseño de una serie de etapas, en donde cada una va a contribuir a reducir básicamente: sólidos disueltos y en suspensión orgánicos e inorgánicos mejorando la calidad de la misma con respecto a como entra el agua sin tratar. Cada etapa se plantea en un diagrama de bloques (Figura 4.1).

4.2 SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE AGUA RESIDUAL.

Para alimentar constantemente el agua residual a todo el sistema, empezando por el desarenador se requiere de un recipiente de volumen grande suficiente para alimentar a todo el tren de equipos para lo cual se propone un: tinaco de plástico de 600 litros de capacidad mismo que se llenará por medio de una bomba centrífuga de 1 hp, que dure por lo menos una semana alimentando al sistema, de esta forma el proceso será continuo. Con el caudal que se va a manejar desde el inicio se observa que se requiere alimentar 216 litros por cada día de agua residual al tinaco para alimentar a cada una de las etapas de tratamiento. (Figura 4.2)

$$\text{Flujo: } 150 \text{ ml/minuto.} = 216 \text{ lts/día}$$

La altura a la que se colocará el tinaco debe ser suficiente para que el agua baje por gravedad y llegar con suficiente impulso al desarenador y subsecuentemente a las demás etapas del prototipo para ahorrar lo más que se pueda energía eléctrica que haría más costoso el sistema.

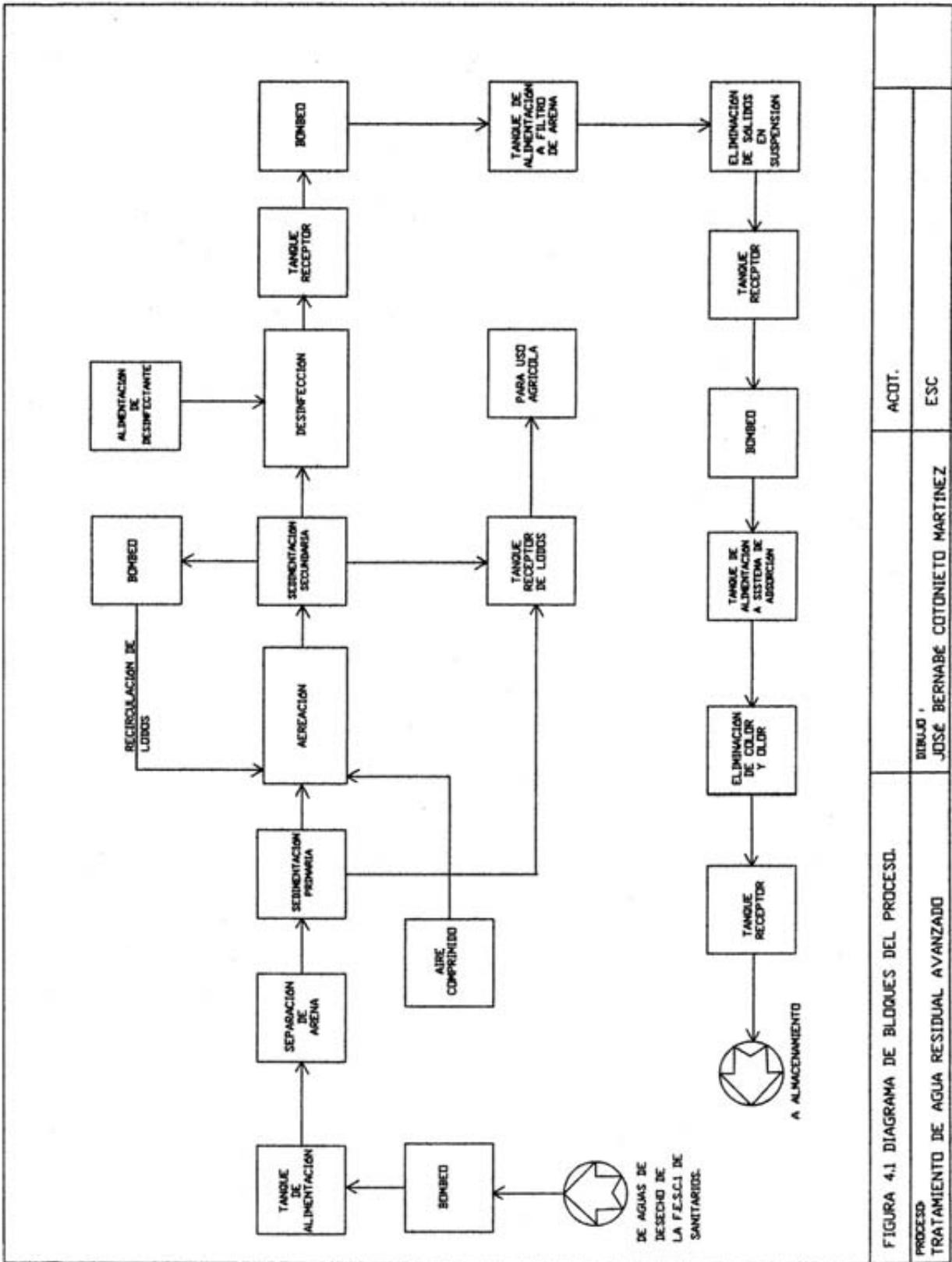


FIGURA 4.1 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL PROCESO.

PROCESO
TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL AVANZADO

BIBLIO
JOSÉ BERNABÉ COTONIETO MARTÍNEZ

ACOT.

ESC

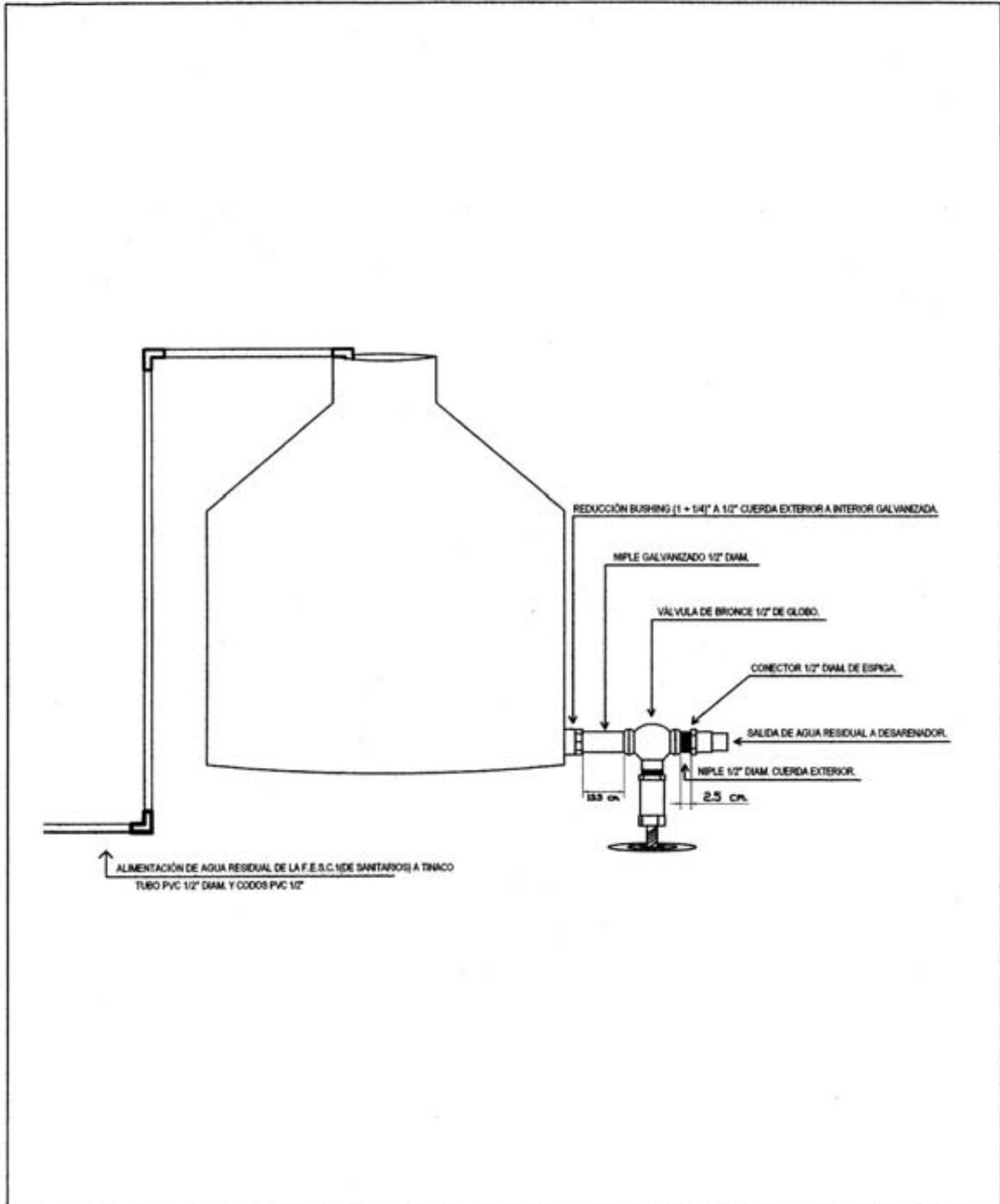


FIGURA 4.2 ACONDICIONAMIENTO DEL TINACO.		ACOT. CM	
PROCESO: TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL AVANZADO.	DEBIDO J. Bernabé Cotonieto Martínez	ESC	

4.3 DISEÑO DEL DESARENADOR EXPERIMENTAL.

4.3.1 Consideraciones de diseño.

El fondo va estar dispuesto de tal forma; que sus paredes más profundas van a tener una inclinación de 12° para que las arenas o sólidos puedan resbalar o concentrarse en el centro del dispositivo y de esta forma poder drenar los sólidos de vez en cuando. La forma que tendrá en la parte frontal es parabólica tratando de que las uniones de las paredes profundas tengan un aspecto suave o redondeado. El material a utilizar es acrílico con espesor de 2 mm se le dará un exceso en la altura que evitará derrames.

Después de manejar diferentes valores de altura y velocidad ascensional (V_a) de aguas y mantener constantes las medidas largo (L) y ancho (A) del recipiente y en base a la bibliografía^{8,19} se establecieron los siguientes valores con tamaño de partícula de aproximadamente 0.15 mm. de diámetro.

$$\begin{array}{lll} L = 0.40 \text{ m.} & V_a = 0.38 \text{ m/min.}^8 & R: \text{Tiempo de retención.} \\ A = 0.50 \text{ m.} & R = 0.50 \text{ min.}^{19} & \end{array}$$

En base a estos datos se llegó a que la altura del recipiente es de 0.20 m.

Ecuaciones utilizadas para el dimensionamiento:

Capacidad

$$K = QR$$

Q: Caudal de agua ($\text{m}^3/\text{min.}$).
R: Tiempo de retención (minutos).
K: Capacidad teórica o volumen (m^3).

Caudal

$$Q = SV_a$$

S: Superficie horizontal (m^2).
Q: Caudal de aguas ($\text{m}^3/\text{min.}$).
 V_a : Velocidad ascensional de las aguas (m/min).

Superficie horizontal.

$$S = LA$$

L: Longitud útil (m).

A: Ancho de recipiente (m).

S: Superficie horizontal (m²).

Altura

$$H = RV_a$$

H: Altura (m).

R: Tiempo de retención (m).

V_a: Velocidad ascensional (m/min).

Capacidad o volumen

$$AHL = K$$

L: Longitud útil (m).

A: Anchura (m).

K: Capacidad teórica (volumen)(m³).

H: Altura (m).

Operaciones

Cálculo de la capacidad

$$K = AHL = (0.50 \text{ m})(0.20 \text{ m})(0.40 \text{ m})$$

$$K = 0.40 \text{ m}^3.$$

Cálculo de la superficie horizontal.

$$S = LA = (0.40 \text{ m})(0.50 \text{ m})$$

$$S = 0.2 \text{ m}^2.$$

Altura

$$H = V_a R = (0.38 \text{ m/min})(0.50 \text{ min})$$

$$H = 0.19 \text{ m}.$$

Caudal máximo de agua a manejar.

$$Q = \frac{K}{R} = \frac{0.04 \text{ m}^3}{0.50 \text{ min}}$$

$$Q = 0.08 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}$$

Comprobación con el área horizontal

$$S = \frac{Q}{V_a} = \frac{0.08 \text{ m}^3 / \text{min}}{0.38 \text{ m/min}}$$

$$S = 0.21 \text{ m}^2$$

El caudal de la base de diseño es de $5 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{min}$ (500 ml/min), con este dato salen dimensiones muy pequeñas, pero se puede manejar en el dispositivo aunque salio un caudal mayor. (Figura 4.3 Frente del desarenador con sus desniveles)

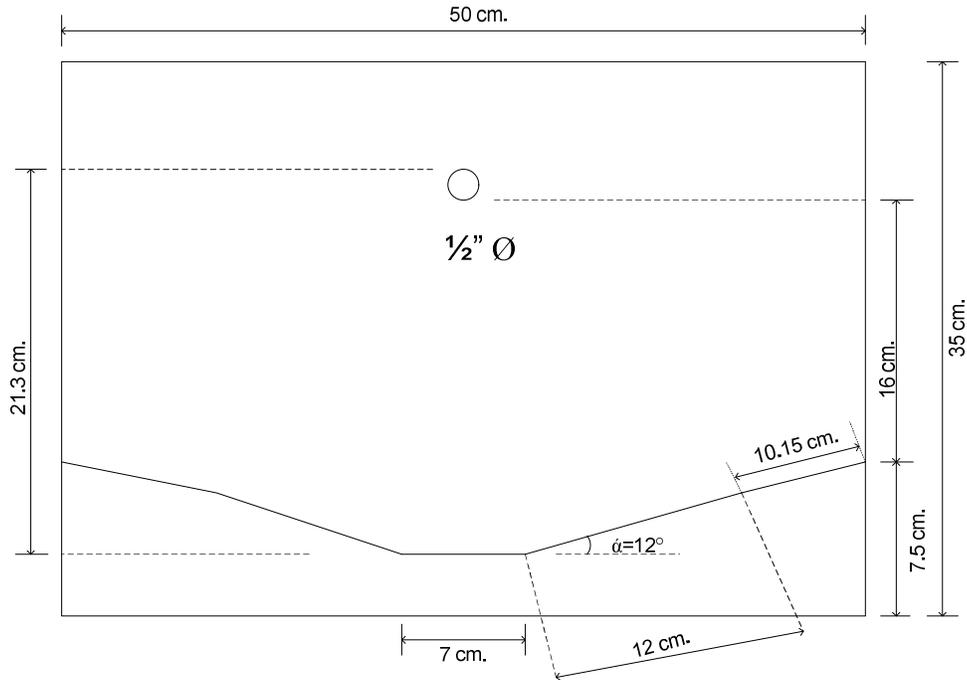


Figura 4.3 Frente del desarenador.

4.3.2 Material y características del desarenador.

Para este dispositivo se requiere de láminas de acrílico de tres milímetros de espesor, la forma desnivelada que tiene el fondo es; para que las partículas pesadas que trae el agua como piedras o sólidos orgánicos pesados se vayan hacia el fondo.

En la parte central donde convergen las laminas desniveladas se van a concentrar partículas y para drenar se colocan unos tubos de PVC de media pulgada para desalojar estas partículas. (Figura 4.4 Dispositivo completo)

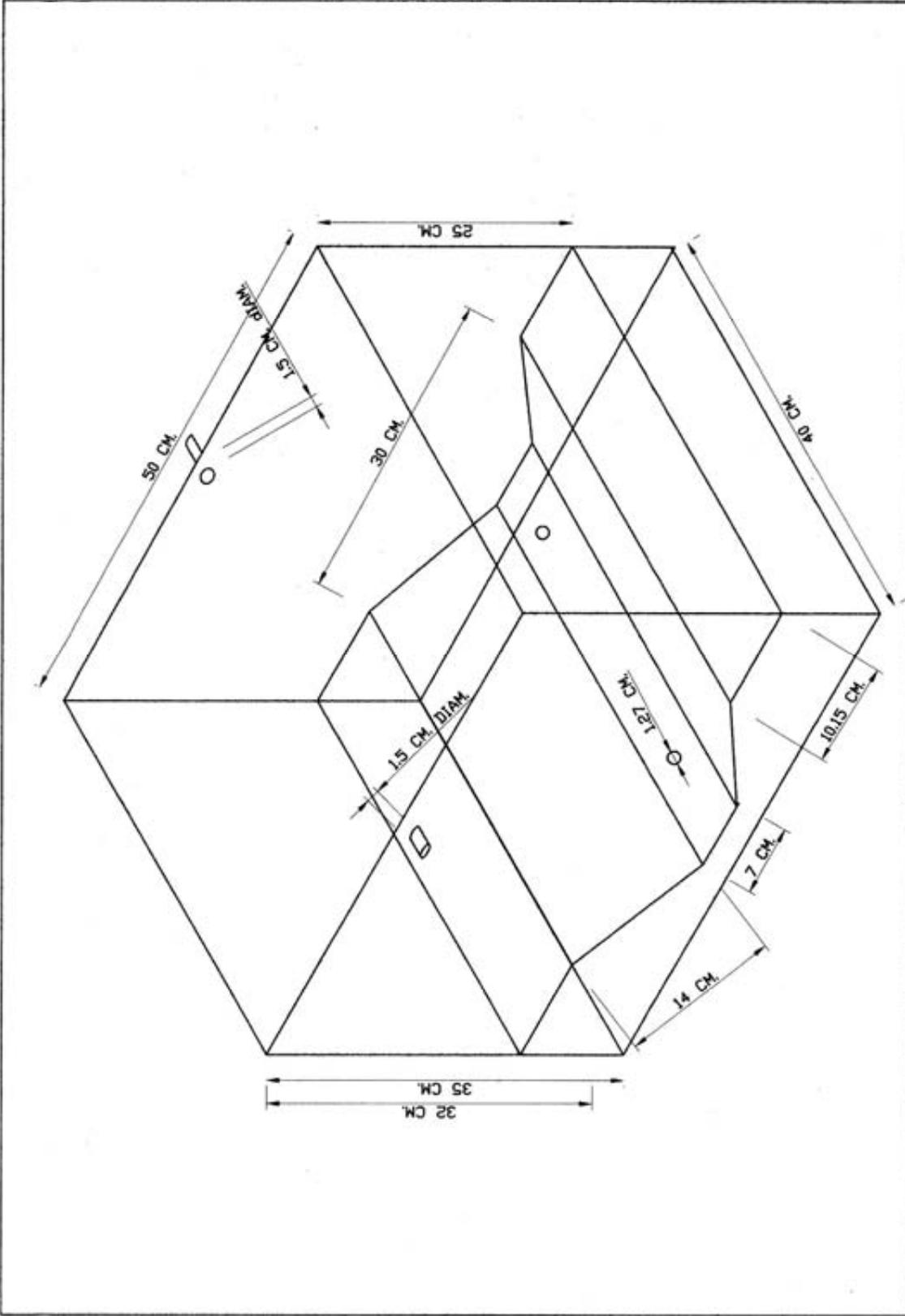


FIGURA 4.4 DESARENADOR. PROCESO: TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL AVANZADO	DIBUJO: JOSE BERNABE COTONIETO MARTINEZ	ACOT. CM ESC 1 : 5

4.4 DISEÑO DEL SEDIMENTADOR PRIMARIO EXPERIMENTAL

4.4.1 Consideraciones de diseño.

Si se consideran tiempos de sedimentación de tierra y de flóculos orgánicos, con diámetro para partículas sólidas; 0.1 mm., y flóculos de 3 mm como los indicados en la siguiente tabla:

Tabla 4.1 Tiempos de sedimentación y alturas alcanzadas por flóculos determinadas en el laboratorio de análisis de aguas de la F.E.S.C.

TIEMPO(MINUTOS)	DISTANCIA(CENTÍMETROS)
3.13	9.6
1.66	9.6
1.85	9.6

El tiempo promedio es de 2.21 minutos con velocidad de sedimentación de 4.34 cm/min, se establece una profundidad de 55 cm. Para el sedimentador no debe ser muy grande el dispositivo ya que es experimental:

$$(2.21 \text{ min}/9.6 \text{ cm})(55 \text{ cm}) = 12.66 \text{ min.}$$

Como se ve se necesita poco tiempo para sedimentar los sólidos y algunas partículas orgánicas. Pero es más conveniente para los sólidos orgánicos, tomar un tiempo alto de retención de 88 minutos, para que se asegure la clarificación del agua. Es conveniente una profundidad de 55 cm. para que contribuya a que la turbulencia causada al caer el agua de entrada no interfiera al momento de la sedimentación. Para que el volumen de sólidos sedimentados no afecte significativamente en la disminución de espacio para el resto del agua que va clarificándose. Las paredes del recipiente se colocarán con una inclinación de 71° con respecto de la horizontal.

De esta forma se asegura que los sólidos resbalen fácilmente y se vayan concentrando en el fondo del recipiente para drenarlos a periodos fijados en la práctica y de acuerdo a las cargas de sólidos del agua usada.

Usando los datos de la bibliografía ²⁰ de que se utilicen velocidades, para flujos menores a (600 gpd/ft²) ²⁰ para tanques de sedimentación para plantas de capacidad no mayor a 1 mgd y utilizando la ecuación:

$$S = \frac{(180)(\text{profundidad del tanque en ft})}{\text{retención en hrs.}}$$

$$S = \text{mgd} / \text{ft}^2$$

Se establecen las dimensiones del sedimentador y generalmente deberá tener una forma de pirámide regular troncada, ya que es apta para el fin que se persigue. En base a lo comentado los siguientes datos para el dimensionado del equipo son:

$$V = 50 \text{ lts.}$$

$$\text{Inclinación: mayor a } 60^\circ$$

$$Q = 0.5 \text{ lts /min} = 190.47 \text{ gpd.}$$

$$\text{Tr} = 88 \text{ min.} = 1.46 \text{ hrs.}$$

$$S = 600 \text{ gpd} / \text{ft}^2$$

$$\text{Profundidad} = 55 \text{ cm} = 1.80 \text{ ft.}$$

$$\text{Inclinación de paredes} = 71^\circ$$

Sustituyendo en la ecuación de diseño para calcular el área de la parte superior del recipiente:

$$600 \frac{\text{gpd}}{\text{ft}^2} = \frac{180(1.80 \text{ ft})}{1.46 \text{ hrs.}}$$

De aquí se obtiene que ft^2 es el área buscada, tiene un valor de 2.69 ft^2 y utilizando la figura de un cuadrado se tiene:

$$\text{Área} = (L)(L)$$

$$A = L^2 \quad L^2 = 2.69 \text{ ft}^2 \quad L = 1.64 \text{ ft} = 49.8 \text{ cm.} \quad \text{Aproximadamente} = 50 \text{ cm.}$$

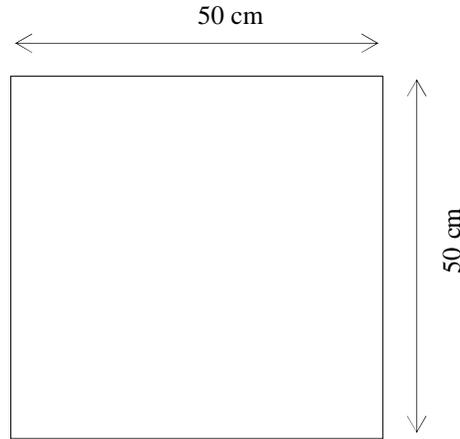


Figura 4.5 Base superior del sedimentador primario.

Base inferior.

Esta base va a ser un cuadro de $4.3 \times 4.3 \text{ cm}$ y altura de 2.5 cm la altura es para sujetar la válvula que se usara para el drenado de los sedimentos.

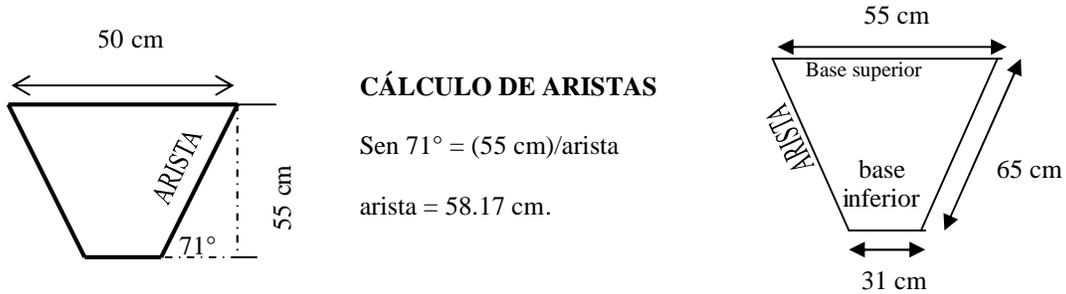


Figura 4.6 Aristas del sedimentador primario.

A las aristas inclinadas de 65 cm se adicionan 7 cm que sirven para cuando el nivel del agua por accidente rebase a la caja colectora y no se tire y de tiempo para controlar el nivel en exceso.

Cálculo del volumen del sedimentador

Para una figura piramidal truncada tenemos que:

$$V = (1/3)H (B+B' + (BB')^{1/2})$$

V: volumen.

H: altura.

B: área de base superior

B': área de base inferior

$$V=(1/3)(55 \text{ cm}) (2209 \text{ cm}^2 + 10.89 \text{ cm}^2 + ((2209 \text{ cm}^2) (10.89 \text{ cm}^2))^{1/2})$$

$$V = 43778.98 \text{ cm}^2$$

$$V = 43.778 \text{ lts.}$$

$$V \approx 44 \text{ lts.}$$

El volumen disminuyo poco con respecto al de 50 lts que se plantea al inicio. El volumen que se manejará en el equipo es de 44 lts. (Figura 4.7)

4.4.2 Material y características del Sedimentador primario.

Se requiere de láminas de acrílico de forma triangular truncada en la parte angosta. Y utilizando una media caña (de PVC) para evitar turbulencias del flujo proveniente del desarenador, colocando la salida en la parte de abajo para conectar al siguiente equipo.

4.5 DISEÑO DEL REACTOR BIOLÓGICO EXPERIMENTAL

4.5.1 Consideraciones de diseño.

Para el dimensionamiento del reactor se consideraron algunos datos experimentales como referencia (tomados de la cátedra del servicio social

sobre tratamiento de aguas de la F.E.S.C.) como; demanda química de oxígeno, sólidos totales, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos volátiles de la etapa de reacción biológica. También se observó que se depositaba una cantidad muy grande de lodos en un reactor pequeño utilizado en la misma cátedra, después de administrar aire por varios días.

El agua sedimentada se alimentaba al reactor, dicha agua era obtenida del interceptor poniente y algunas veces de los sanitarios de la F.E.S.C. Las características son: mal olor y alta carga de sólidos de apariencia oscura, a la salida del reactor el efluente salía transparente con una coloración ligeramente amarilla y con menor intensidad de olor. Por eso, algunos datos estimados como; sólidos totales, sólidos disueltos y DBO son en base a los resultados anteriores, para el dimensionamiento del reactor biológico.

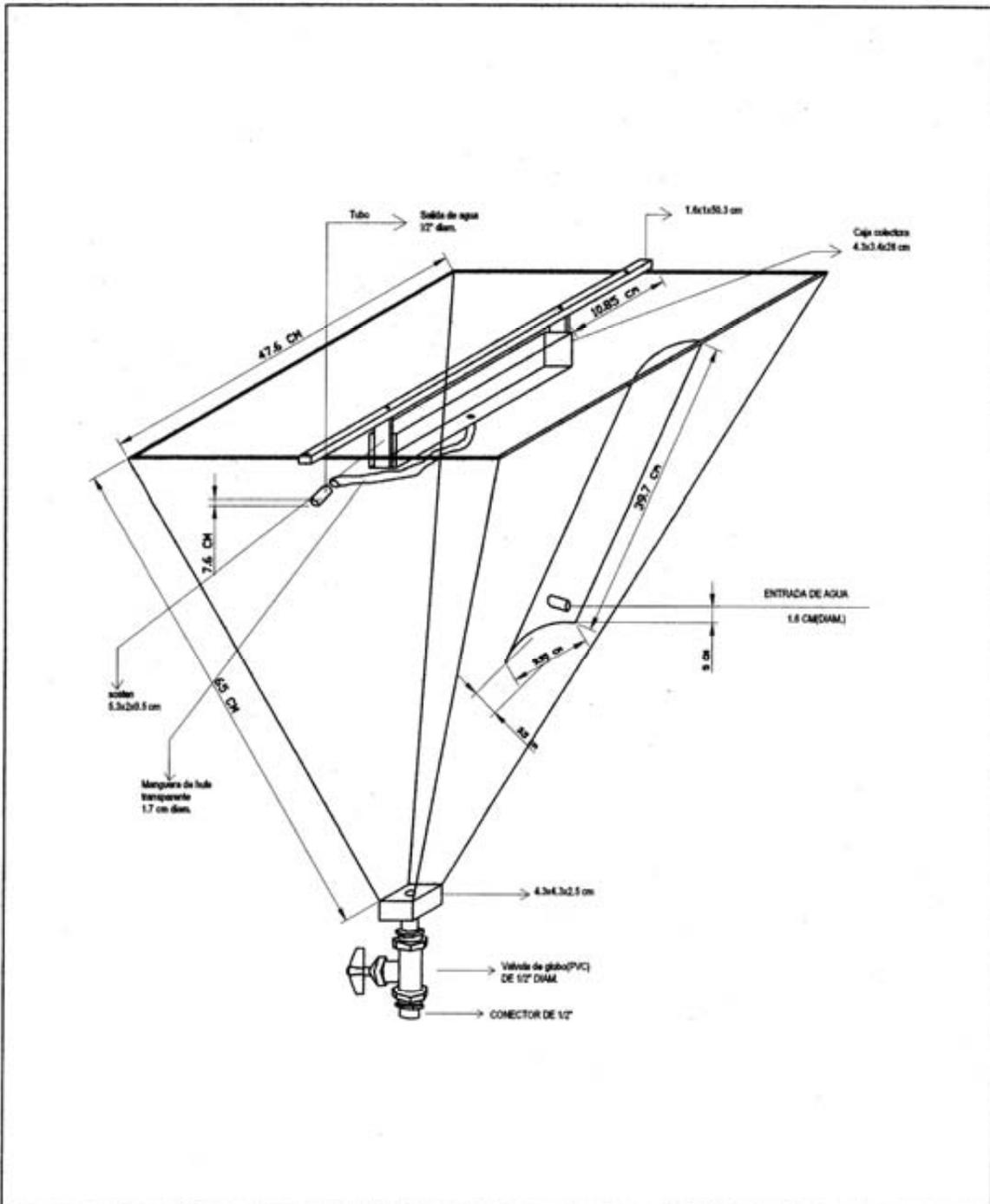


FIGURA 4.7 SEDIMENTADOR PRIMARIO.		ACOT. CM
PROCESO: TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL AVANZADO.	DIBUJO J. Bernabé Colonieto Martínez	ESC 1:6.5

Condiciones de entrada

Caudal: $0.5 \text{ lts/min} = 5 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{min} = 8.33 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{seg} = 72 \text{ m}^3/\text{día}$

Temperatura = 20°C

$\text{DBO}_{(\text{influyente})} = 400 \text{ mg/lit}$

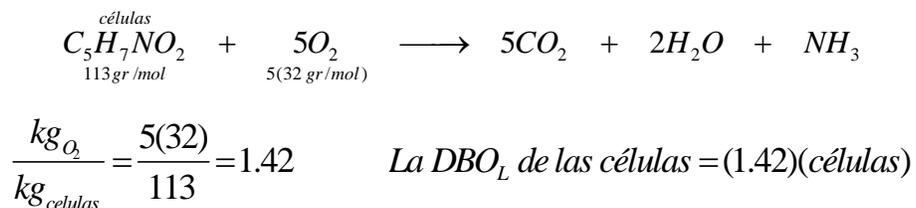
$\text{DBO}_{(\text{efluente})} = 40 \text{ mg/lit}$

1. Los sólidos suspendidos volátiles del afluente al reactor son despreciables.
2. Concentración del fango de retorno: sólidos suspendidos = 9177.17 mg/lit , Sólidos suspendidos volátiles = 7647.64 mg/lit
3. Sólidos suspendidos volátiles del líquido mezcla (SSVLM) $2674.64 \text{ mg/lit} = 0.80$ de los sólidos suspendidos totales del líquido mezcla (SSLM).
4. Tiempo de retención medio celular $\theta_c = 6$ días.
5. Régimen hidráulico del reactor = mezcla completa.
6. $Y = \frac{0.5 \text{ kg}_{\text{celulas}}}{\text{kg}_{\text{DBO}_5 \text{ utilizada}}}$ $K_d = 0.10/\text{día}$ y : constante de aparición celular.
 K_d : constante de desaparición celular.

Las constantes son para temperaturas comprendidas entre 20 y 25°C

7. El efluente contiene 30 mg/lit de sólidos biológicos, de los cuales el 70% es biodegradable. Este se convierte a partir de la demanda final a DBO_5 por medio del factor 0.68 para un valor de $k_d = 0.32/\text{día}$.
8. El agua residual contiene nitrógeno, fósforo y otros nutrientes a nivel de vestigios en cantidad suficiente para el crecimiento biológico.

La DBO_L de 1 mol de células se evalúa como:



1. Cálculo de la DBO₅ soluble en el efluente (que escapa del tratamiento).

$$DBO_{5 \text{ efluente}} = DBO_{5 \text{ soluble en afluente que escapa del tratamiento}} + DBO_{5 \text{ de sólidos biológicos del efluente}}$$

$$40 \text{ mg/l} = S + (30 \text{ mg/l})(0.70)(1.42)(0.68)$$

$$S = 19.7224 \text{ mg/l} = DBO_{5 \text{ (soluble) escapa del tratamiento}}$$

$$S = 19.7224 \text{ mg/l}$$

La eficiencia total en la planta será:

$$S_0 = DBO_1 \text{ sedimentada} = 400 \text{ mg/l}$$

$$S = DBO_2 \text{ en el efluente} = 40 \text{ mg/l}$$

$$E = \left(\frac{S_0 - S}{S_0} \right) (100) \qquad E_t = \left(\frac{400 \text{ mg/l} - 40 \text{ mg/l}}{400 \text{ mg/l}} \right) (100) \qquad E_t = 90\%$$

2. Cálculo del volumen del reactor.

$$V_R = \frac{YQ\theta_c(S_0 - S)}{X(1 + K_d\theta_c)} \quad (\text{SSVLM}) = X = 0.2674 \text{ mg/l} \qquad Y = 0.5 \text{ kg células}$$

$$\theta_c = 6 \text{ días.}$$

$$S_0 = 400 \text{ mg/l.}$$

$$S = 19.7224 \text{ mg/l.}$$

$$K_d = 0.10/\text{día.}$$

$$Q = 0.72 \text{ m}^3/\text{día} = 500 \text{ ml/min} = 5 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{min} = 8.33 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{seg.}$$

$$V_R = \frac{(0.5 \text{ kg células})(0.72 \frac{\text{m}^3}{\text{día}})(6 \text{ días})(400 - 19.7224) \frac{\text{mg}}{\text{lt}}}{(2674 \text{ mg/l})(1 + (\frac{0.10}{\text{día}})(6 \text{ días}))} \qquad V_R = 0.192 \text{ m}^3$$

3. Cálculo de la producción de fango. Expresada en kilogramos por día de sólidos suspendidos.

$$\frac{dx}{dt} = \frac{xv}{\theta_c} \quad \text{SSVLM} = X = 2674 \text{ mg/l} = 0.0026 \quad V_R = 0.192 \text{ lt} \quad \theta_C = 6 \text{ días}$$

$$\frac{XV}{\theta_c} = \frac{(0.08557 \frac{\text{kg}}{\text{lt}})(192 \text{ lt})}{6 \text{ días}} = 0.08557 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

$$\frac{dx}{dt} = \frac{XV}{\theta_c} = 0.08557 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

Y utilizando el dato del 80% de los sólidos suspendidos totales del líquido, mezcla (SSLM). Se calcula la producción final de fango.

$$\text{producción de fango} = \frac{0.08557 \text{ kg / día}}{0.80} \quad \text{ss} = \text{sólidos suspendidos}$$

$$\text{producción de fango} = 0.107 \text{ kg(ss) / día}$$

4. Cálculo de la purga. La cual se lleva a cabo a partir del reactor, despreciando los sólidos perdidos en el efluente de planta, el volumen de fango a purgar será:

$$Q_w = \frac{V}{\theta_c} \quad V_R = 0.192 \text{ m}^3$$

$$\theta_C = 6 \text{ días}$$

$$Q_w = \frac{0.192 \text{ m}^3}{6 \text{ días}}$$

$$Q_w = 0.032 \text{ m}^3 / \text{día}$$

5. Cálculo de la relación de recirculación.

$$Q = 0.72 \text{ m}^3 / \text{días} = 500 \text{ ml/min}$$

$$\text{Concentración de ssv en aereación} = 2674 \text{ mg/lt}$$

$$\text{Concentración de ssv en retorno} = 7647.64 \text{ mg/lt}$$

$$(\text{SSVLM})(Q+Q_r) = (\text{SSVR})Q_r$$

$$(2674 \text{ mg/lt})(Q+Q_r) = (7647.64 \text{ mg/lt})Q_r$$

$$\frac{(Q+Q_r)}{Q_r} = \frac{7647.64 \text{ mg/l}}{2674 \text{ mg/l}} \quad \frac{0.72 \text{ m}^3/\text{día}}{1.86} = Q_r \quad \frac{Q_r}{Q} = \frac{0.39 \text{ m}^3/\text{día}}{0.72 \text{ m}^3/\text{día}}$$

$$\frac{Q}{Q_r} + 1 = 2.86 \quad Q_r = 0.387 \text{ m}^3/\text{día} \quad \frac{Q_r}{Q} = 0.54 \rightarrow \text{relación de recirculación}$$

$$\frac{Q}{Q_r} = 1.86 \quad \frac{Q}{1.86} = Q_r \quad Q_r = 0.39 \text{ m}^3/\text{día}$$

6. Cálculo del tiempo de retención hidráulica para el reactor.

$$t = \frac{V}{Q} \quad V = 0.192 \text{ m}^3 \quad t = \frac{0.92 \text{ m}^3}{0.72 \text{ m}^3/\text{día}}$$

$$Q = 0.72 \text{ m}^3/\text{día} \quad t = 0.266 \text{ día}$$

$$t = 6.38 \text{ hrs.}$$

7. Cálculo de la necesidad de oxígeno. Sin contar la necesidad de oxígeno para la nitrificación en base a la demanda final (DBO_L).

$$\frac{\text{kg } O_2}{\text{día}} = \left(\frac{df}{dt} \right)_L - 1.42 \left(\frac{dx}{dt} \right)$$

$$\frac{df}{dt} = \frac{(DBO_{\text{afluente}} - DBO_{\text{soluble efluente}})Q}{\text{factor de conversión } O_2 \text{ para una } K \text{ conocida}}$$

$$\frac{\text{kg } O_2}{\text{día}} = \frac{(DBO_{\text{afluente}} - DBO_{\text{soluble efluente}})Q}{\text{factor de conversión } O_2} - 1.42(\text{producción de fango})$$

$$\frac{dx}{dt} = 0.08557 \text{ kg/día}$$

$$\frac{dx}{dt} = \text{producción de fango (SSVLM)}.$$

$$\frac{df}{dt} = \text{producción de fango (DBO soluble)}$$

$$DBO_{\text{afluente}} = 400 \text{ mg/l} = 0.4 \text{ kg/m}^3$$

$$DBO_{\text{soluble efluente}} = 19.7224 \text{ mg/l} = 0.0197 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Factor} = 0.68 \quad Q = 0.72 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$\frac{\text{kg } O_2}{\text{día}} = \frac{(0.4 - 0.0197) \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) (0.72 \frac{\text{m}^3}{\text{día}})}{0.68} - 1.42(0.08557 \frac{\text{kg}}{\text{día}})$$

$$\frac{\text{kg } O_2}{\text{día}} = 0.2807 \text{ kg/día}$$

8. Cálculo del volumen de aire.

DATOS

Necesidad de O₂ = 0.2807 kg/día

Densidad = 1.038 kg/m³

Contenido de O₂ en peso = 23.2 %

Temperatura aproximada = 20 °C

$$\text{Volumen de aire} = \frac{\text{flujo másico}}{(P_e)(\% \text{ peso } O_2)} \quad P_e = \text{peso específico.}$$

$$\text{Volumen de aire} = \frac{0.2807 \frac{\text{kg}}{\text{día}}}{(1.038 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3})(0.232)}$$

$$\text{Volumen} = 1.17 \text{ m}^3 / \text{día}$$

Si se toma como base de que la transferencia de O₂ se lleva a cabo con una eficiencia del 8 %, entonces la necesidad de aire es:

$$\text{necesidad real} = \frac{\text{necesidad de aire}}{\text{eficiencia de transferencia}}$$

$$\text{necesidad real} = \frac{1.17 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}}{0.08}$$

$$\text{necesidad real} = 14.6 \text{ m}^3 / \text{día}$$

$$\text{necesidad real} = 0.01016 \text{ m}^3 / \text{min} = 10.16 \text{ lt} / \text{min}$$

$$Q_{\text{aire}} = 14.6 \text{ m}^3 / \text{día}$$

El reactor biológico va a llevar en el fondo unos prismas triangulares, que servirán para que al bajar el agua se resbale por ahí, y cómo esto sucede, en ambos frentes de los prismas el agua sube y baja creando turbulencias que ayudan a que el agua se mezcle y ocurra una mejor aereación. También sirve para que no queden zonas muertas sin aerear. También llevará deflectores o mamparas en el interior para formar seis celdas y por cada celda una válvula para toma de muestra para ver el grado de tratamiento que ocurre según avanza el agua a través del reactor.

4.5.2 Medidas de los prismas triangulares.

Base: 12.4 cm.

Altura: 7 cm.

Aristas costados: 9.35 cm.

Estas medidas son para los
Prismas centrales

Volumen que ocupan los 5 prismas.

$$\text{Área} = bh/2$$

b: base

h: altura

Largo: 30.7 cm.

para un prisma:

$$\text{área} = (12.4 \text{ cm})(7 \text{ cm})/2$$

$$\text{área} = 43.4 \text{ cm}^2$$

$$\text{área} = 0.00434 \text{ m}^2$$

para 5 prismas

$$V_t = 5(0.00133238 \text{ m}^3)$$

$$V_t = 0.0066619 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen} = (0.00434)(0.307 \text{ m})$$

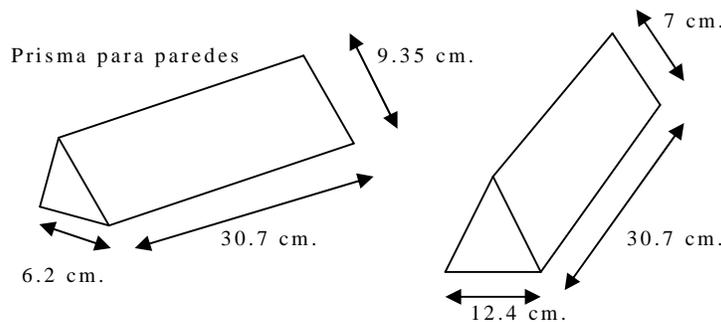
Volumen para los prismas

$$\text{volumen} = 0.00133238 \text{ m}^3$$

base: 6.2 cm.

Altura: 7 cm.

Arista lateral: 9.35 cm.



$$\text{Área} = (6.2 \text{ cm})(7 \text{ cm})/2$$

$$\text{Área} = 21.7 \text{ cm}^2$$

$$\text{Área} = 0.00217 \text{ cm}^2$$

$$\text{Volumen} = (0.00217 \text{ cm}^2)(0.307 \text{ m})$$

$$V = 0.000666 \text{ cm}^3$$

Para 2 prismas

$$2v = 2(0.000666 \text{ m}^3)$$

$$V_t = 0.001332 \text{ m}^3$$

Figura 4.8 Prismas internos del reactor para reducir zonas muertas.

Las siguientes medidas para el recipiente concuerdan con el volumen calculado anteriormente.

Largo: 121.1 cm. = 1.211 m. $V = abc$

Ancho: 31 cm. = 0.31 m.

Alto: 53.5 cm. = 0.535 m.

a: largo

b: ancho

c: altura

$$V = (1.211 \text{ m})(0.31 \text{ m})(0.535 \text{ m})$$

$$V = 0.2 \text{ m}^3$$

Cálculo del volumen libre:

$$V_t = 0.02 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen de 5 prismas} = 0.0066619 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen de 2 prismas} = 0.001332 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{libre}} = 0.2 \text{ m}^3 - 0.0066619 \text{ m}^3 - 0.001332 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{libre}} = 0.192 \text{ m}^3$$

El volumen de los deflectores no se tomo en cuenta ya que el espesor es pequeño. En cada celda va a llevar una válvula para alimentar con aire, al agua que pasa en ese momento por la misma.

4.5.3 Sistema de alimentación de aire al reactor biológico.

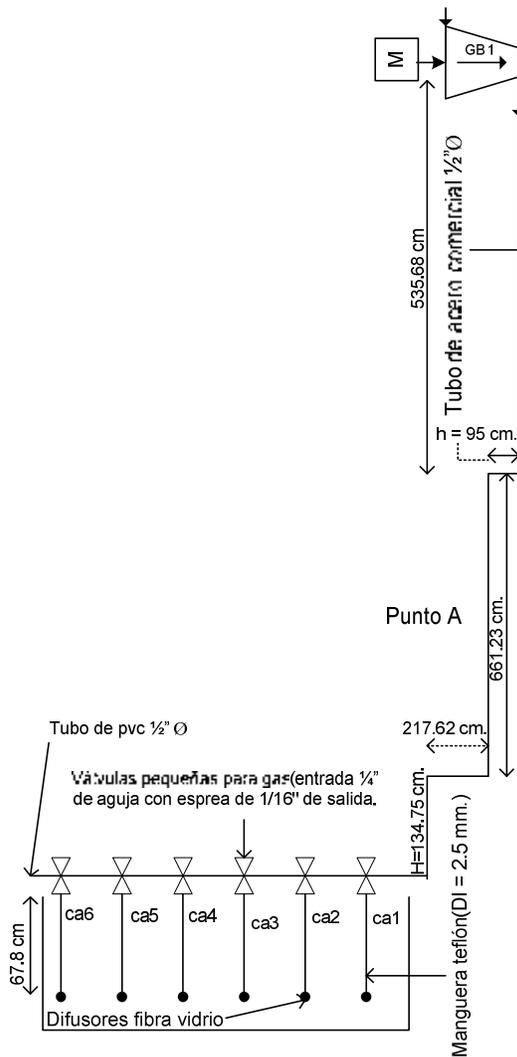


Figura 4.9 Reactor biológico experimental.

Para 3 difusores cubiertos de lodo en su superficie se necesita 0.1 kg/cm^2 de presión, para que fluya el aire a través de ellos y poder suspender los sólidos en la superficie del agua y mezclarlos en la misma agua.

Entonces para cada difusor se pierde:

$0.1/3 = 0.0333 \text{ kg/cm}^2$, que es útil para cuando se bloquean los difusores.

Para más seguridad se le dio 0.05 kg/cm^2 (50 %) para cada difusor, en pura pérdida de presión.

Sí se requiere 0.1 kg/cm^2 para que funcionen bien los difusores, entonces se adiciona 0.1 kg/cm^2 con $(0.05 \text{ kg/cm}^2)(6 \text{ difusores})$.

Presión de descarga total:

$$P_d = 0.1 + (0.05)(6)$$

$$P_d = 0.4 \text{ kg/cm}^2$$

Factores de conversiones a usar:

$$1 \text{ kg/ms} = 0.1 \text{ poise}$$

$$1 \text{ atm} = 1.0333 \text{ kg/cm}^2 = 10333 \times 10^{-4} \text{ kg/cm}^2.$$

Ecuación de Bernoulli:

$$\frac{\Delta z g}{g_c} + \frac{\Delta P}{\vartheta} + \frac{\Delta V^2}{2g_c} = \frac{-\Sigma F}{M} - \frac{pot}{M}$$

Relaciones matemáticas adicionales:

$$R_e = \frac{DV\vartheta}{\mu} \quad \frac{\Sigma F}{M} = \frac{f_d LV^2}{2g_c D} \quad V = \frac{4Ca}{\pi D^2} \quad f_d = 4f_f$$

Para flujo laminar:

$$f_f = \frac{16}{R_e}$$

$g_c = 9.81 \text{ kgm/s}^2 \text{kgf}$

D: diámetro (m).

V: velocidad (m/s).

ϑ : densidad (kg/m^3).

μ : viscosidad (kg/ms).

Consideraciones:

$$\frac{\Delta P}{\vartheta} = \frac{\Sigma f}{M} \quad Ca_A = Ca_1 + Ca_2 + Ca_3 + Ca_4 + Ca_5 + Ca_6 \quad z = 0 \quad V = 0$$

Entonces despreciando los términos de energía potencial y energía cinética de la ecuación de Bernoulli queda más reducida.

$$\frac{\Delta P}{\vartheta} = -\frac{\Sigma f}{M} - \frac{pot}{M} \quad \text{despejada:} \quad \frac{\Delta P}{\vartheta} + \frac{\Sigma f}{M} = -\frac{pot}{M}$$

Con la ecuación final se va a calcular la potencia del compresor.

Datos necesarios para el cálculo de la potencia del compresor.

$$P_s = 1 \text{ atm} = 10333 \text{ kg/m}^2$$

$$P_{d, \text{man}} = 0.4 \text{ kg/cm}^2 = 0.387 \text{ atm} = 4000 \text{ kg/m}^2$$

$$\mu = 0.0178 \times 10^{-3} \text{ kg/ms}$$

$$\rho = 1038 \text{ kg/m}^3$$

$$Ca_{A, \text{aire}} = 14.6 \text{ m}^3/\text{día} = 1.6898 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

Tubo de acero comercial, ced 40 (Figura 4.9)

$$\text{Diám.} = 1/2" \quad \text{ced 40} \quad \text{DI} = 1.58 \text{ cm} = 0.0158 \text{ m.} \quad T = 20^\circ\text{C}$$

Usando válvulas pequeñas de bronce de aguja (utilizadas en parrillas de gas)

$$K_c = 0.43 \quad \frac{\Sigma F}{M} = \frac{K_c V_2^2}{2g_c} \quad V_2 = \text{velocidad en el área más pequeña.}$$

Mangueras de hule transparente que alimentan el aire a través de difusores al agua (DI = 2.5mm = 2.5×10^{-3} m, manguera de teflón, figura 4.10)

Operaciones:

Velocidad en el punto A (antes de entrar el aire a cada válvula para gas)

$$Ca_A = 1.6898 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s} \quad V_A = \frac{4(1.6898 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s})}{\pi(0.0158 \text{ m})^2} \quad V_A = 0.862 \text{ m/s}$$

Caudal en cada manguera de teflón (DI = 2.5 mm.)

Considerando que el caudal del punto A se distribuye uniformemente en cada una de las mangueras que van conectados a los difusores de aire con todas las válvulas abiertas totalmente.

$$\frac{Ca_A}{6} = \text{caudal en cada manguera transparente, entonces: } V_1 = V_2 = V_3 = V_4 = V_5 = V_6$$

Por tanto la velocidad en cada manguera de teflón (DI=2.5 mm.) es:

$$\frac{1.6898 \times 10^{-4} \text{ m}^3 / \text{s}}{6} = 2.816 \times 10^{-5} \text{ m}^3 / \text{s}$$

Velocidad

$$V_1 = \frac{4Ca_1}{\pi D_1^2} = \frac{4(2.816 \times 10^{-5} \text{ m}^3 / \text{s})}{\pi(2.5 \times 10^{-3} \text{ m})^2} \quad V_1 = 5.736 \text{ m/s} \quad \text{misma velocidad en cada manguera de teflón.}$$

Pérdida por fricción en la línea de 1/2" o punto A.

Longitud tubo	17.77 m
5 codos 90° radio medio	$\frac{5(0.4) \text{ m}}$
longitud total	19.77 m

Reynolds:

$$R_e = \frac{DV\rho}{\mu} = \frac{(0.0158 \text{ m})(8.618 \times 10^{-5} \text{ m/s})(1038 \text{ kg/m}^3)}{0.0178 \times 10^{-3} \text{ kg/ms}}$$

$R_e = 79.403$ es régimen laminar y se usa la fórmula:

$$f_f = \frac{16}{R_e} = \frac{16}{79.403} \quad f_f = 0.202 \quad \text{y como } f_D = 4f_f, \quad f_D = 4(0.202), \quad f_D = 0.808$$

Entonces:

$$\frac{\sum F}{M} = \frac{f_D LV^2}{2g_c D}$$

$$\frac{\sum F}{M} = \frac{(0.808)(19.77 \text{ m})(0.862 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2(9.81 \frac{\text{kgm}}{\text{s}^2 \text{kg}})(0.0158 \text{ m})}$$

$$\frac{\sum F}{M} = 38.29 \frac{\text{kgm}}{\text{kg}}$$

Pérdida por fricción en válvulas para gas.

En cada válvula existe un $K_c = 0.43$, calculado a partir de la relación de diámetros entrada y salida (contracción) y consultando una gráfica. (CRANE)

Para una válvula.

$$\frac{\Sigma F}{M} = \frac{K_c V_2^2}{2g_c} = \frac{(0.43)(5.736 \text{ m/s})}{2(9.81 \text{ kgm/s}^2 \overline{\text{kg}})} \quad \frac{\Sigma F}{M} = 0.722 \overline{\text{kgm/kg}}$$

Para las 6 válvulas

$$\frac{\Sigma F}{m} = 6(0.722) = 4.33 \overline{\text{kgm/kg}}$$

Pérdida de energía por caída de presión:

$$\frac{\Delta P}{\vartheta} = \frac{(P_d - P_s)}{\vartheta}$$

$$P_{d, \text{ total}} = P_{\text{man}} + P_{\text{atm}} = (4000 + 10333) \overline{\text{kg/m}^2} \quad P_{d, \text{ total}} = 14333 \overline{\text{kg/m}^2}$$

$$\frac{\Delta P}{\vartheta} = \frac{(14333 - 10333) \overline{\text{kg/m}^2}}{1038 \text{ kg/m}^3}$$

$$\frac{\Delta P}{\vartheta} = 3.85 \overline{\text{kgm/kg}}$$

Caída de presión en una manguera de teflón.(DI = 2.5 mm).

$$\Delta P = \frac{\left(\frac{Ca}{11}\right)^2 (\vartheta_R) L \left(1 + \frac{3.6}{D} + 0.03D\right)}{D^5}$$

$$\vartheta_R = \frac{PM_{\text{gas}}}{PM_{\text{aire}}} \quad \vartheta_R = 1$$

D: diámetro(pulg)

Δp : en mmHg

Ca: caudal (m³/hr)

ϑ_R : densidad relativa.

Datos: Manguera de teflón (D.I. = 2.5 mm).

$$C_a = 2.816 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s} = 0.1014 \text{ m}^3/\text{hr}$$

$$D_1 = 2.5 \times 10^{-3} \text{ m} = 0.0984 \text{ pulg.}$$

$$L_1 = 62.8 \text{ cm} = 0.628 \text{ m.}$$

$$\Delta P = \frac{(0.1014 \text{ m}^3/\text{hr})^2 (1)(0.628 \text{ m}) \left(1 + \frac{3.6}{0.0984 \text{ m}} + 0.03(0.0984 \text{ m}) \right)}{11^2 (0.0984 \text{ m})^5}$$

$$\Delta P = 217.54 \text{ mmHg} = 2957.69 \frac{\overline{\text{kg}}}{\text{m}^2}$$

Para las 6 mangueras de teflón.(DI = 2.5 mm)

$$\Delta P_t = 6(2957.69 \frac{\overline{\text{kg}}}{\text{m}^2})$$

$$\Delta P_t = 17746.14 \frac{\overline{\text{kg}}}{\text{m}^2}$$

Pérdida por fricción en las 6 mangueras de teflón.(DI=2.5 mm)

$$\frac{\Delta P}{\rho} = \frac{\Sigma F}{M} = \frac{17746.14 \frac{\overline{\text{kg}}}{\text{m}^2}}{1038 \text{ kg} / \text{m}^3} \quad \rho = 1038 \text{ kg} / \text{m}^3$$

$$\frac{\Sigma F}{M} = 17.096 \frac{\overline{\text{kg}}}{\text{m}} / \text{kg}$$

4.5.4 Cálculo de la potencia hidráulica del compresor.

Recopilación de todas las pérdidas de energía para la ecuación de Bernoulli.

Pérdida de fricción en la línea de 1/2"

$$\frac{\Sigma F}{M} = 38.29 \frac{\overline{\text{kg}}}{\text{m}} / \text{kg}$$

Pérdida por fricción en las 6 válvulas.(usadas en parrillas de gas)

$$\frac{\Sigma F}{M} = 4.33 \bar{kg} \text{ m/kg}$$

Pérdida por fricción debido a la entrada y salida de presiones

(Presión de succión y descarga)

$$\frac{\Delta P}{\vartheta} = 3.85 \bar{kg} / \text{m}^2 / \text{kg}$$

4.5.5 Pérdida por fricción total debido a los tubos y mangueras.

$$\frac{\Delta P}{\vartheta} = 17.096 \bar{kg} \text{ m/kg}$$

$$\left(\frac{\Sigma F}{M} \right)_{total} = (38.29 + 4.33) \bar{kg} \text{ m/kg} \quad \left(\frac{\Sigma F}{M} \right)_{total} = 42.62 \bar{kg} \text{ m/kg.}$$

$$\left(\frac{\Delta P}{\vartheta} \right)_{total} = (3.85 + 17.098) \bar{kg} \text{ m/kg} \quad \left(\frac{\Delta P}{\vartheta} \right)_{total} = 20.943 \bar{kg} \text{ m/kg}$$

Entonces utilizando.(ecuación de Bernoulli)

$$\frac{\Delta P}{\vartheta} + \frac{\Sigma F}{M} = \frac{-pot}{M}$$

$$20.943 \bar{kg} \text{ m/kg} + 42.62 \bar{kg} \text{ m/kg} = -pot/M$$

$$\frac{pot}{M} = 63.563 \bar{kg} \text{ m/kg}$$

$$Ca_A = 14.6 \text{ m}^3/\text{día} = 1.6898 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\vartheta = 1038 \text{ kg/m}^3$$

Pasando a flujo másico el flujo volumétrico.

$$(1.6898 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s})(1038 \text{ kg/m}^3) = 0.175 \text{ kg/s}$$

$$W = 0.175 \text{ kg/s}$$

$$63.563 \text{ kg} \cdot \text{m/kg} (0.175 \text{ kg/s}) = 11.124 \bar{kg} \text{ m/s}$$

$$11.124 \bar{kg} \text{ m/s} = 80.387 \bar{lb} \text{ ft/s}$$

Potencia hidráulica

$$1 \text{ HP} = 550 \bar{\text{lb}} \text{ ft/s}$$
$$(80.387 \bar{\text{lb}} \text{ ft/s}) \left(\frac{1 \text{ HP}}{550 \bar{\text{lb}} \text{ ft/s}} \right) = 0.146 \text{ HP}$$

Potencia al freno.

Si el compresor tiene una eficiencia de 60%

$$\frac{0.146 \text{ HP}}{0.60} = 0.243 \text{ HP}$$
$$\text{Potencia} = 1/4 \text{ HP}$$

Requerimiento del tanque del compresor

Esto es un cálculo aproximado.

$$Ca_A = 14.6 \text{ m}^3/\text{día} = 0.608 \text{ m}^3/\text{hr} = 608 \text{ lts/hr}$$

Utilizando un tanque de 400 lts.

Tiempo que trabajara el reactor sin que se prenda el motor.

$$(400 \text{ lts}) \left(\frac{1 \text{ hr}}{608 \text{ lts}} \right) = 0.6578 \text{ hr.}$$

$$t = 39.47 \text{ minutos} \approx 40 \text{ minutos}$$

La potencia que se requiere para el compresor es pequeña, pero se puede usar de ½ HP, por si algún día se necesita aire para otros procesos.

El tanque propuesto para el compresor es adecuado para almacenar más de 400 litros de aire, ya que se puede comprimir a presiones altas y por eso se propone, con estas condiciones el reactor puede trabajar continuamente día y noche.

4.5.6 Material y características del tanque de aereación.

Para el tanque de aereación se utilizarán láminas de acrílico de forma rectangular, tubo de PVC, válvulas de PVC para toma de muestra y para drenar también válvulas de PVC, se usarán difusores de aire tubulares de

fibra de vidrio, manguera de teflón (DI = 2.5 mm) para conectar cada válvula de bronce(utilizadas en parrillas de gas), conectores.

Los triángulos que se ven al fondo del recipiente serán de acrílico como el resto del recipiente, la caja que recibe el agua de salida es también de acrílico. Los triángulos del fondo tienen la función de crear cierta turbulencia en el agua y además, no se queden partículas sólidas en los rincones del recipiente. A la salida de cada válvula se colocó un conector, para que el agua que salga en forma controlada, se muestree. Las válvulas del fondo son para drenar el agua cuando se requiera limpiar el recipiente. (Figura 4.10)

Los difusores de aire se colocan en la parte superior de cada uno de los triángulos para que contribuyan a la turbulencia del agua, estos ayudan a que no se sedimenten los lodos que se van formando durante la aireación, y los que se puedan pasar del sedimentador primario, y para que se lleve a cabo una distribución adecuada de la aereación.

Con respecto a las mamparas, unas van separadas de los triángulos y otras van pegadas a los triángulos. Este arreglo del recipiente, es debido a que sigue un patrón de flujo con recirculación completamente mezclado en el reactor.

Para la recirculación de los lodos que provienen del sedimentador secundario, se utilizará una pequeña bomba de aproximadamente 1/32 de HP (usadas en lavadoras). La succión de la bomba va al sedimentador secundario y la descarga al reactor, para recircular los lodos.

Los lodos se recircularán por intervalos de tiempo de acuerdo a lo que se requiera cuando esté trabajando, todas las válvulas para drenar desembocaran en un tubo de PVC de 2", ligeramente inclinado, hacia el sedimentador secundario.

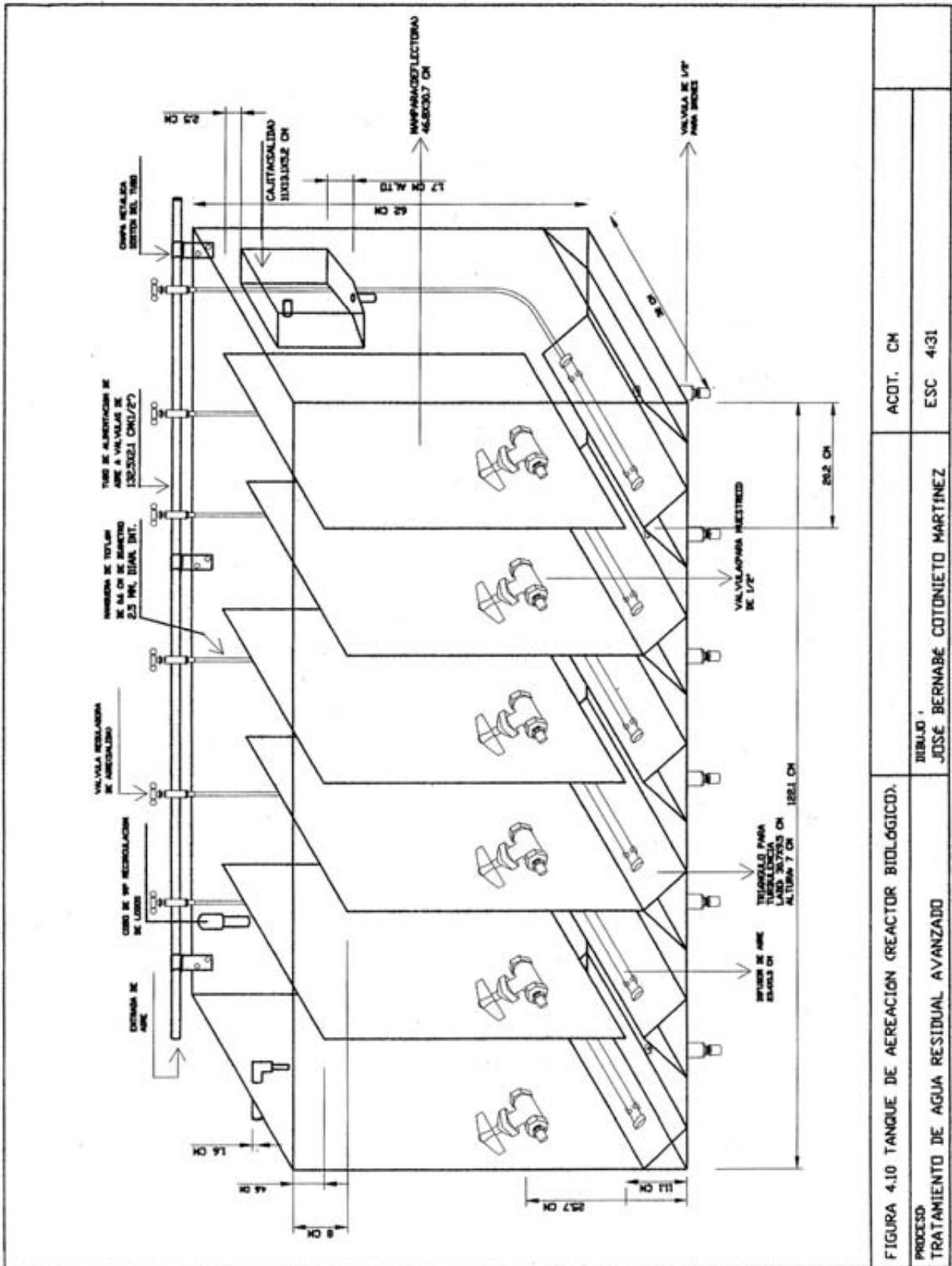


FIGURA 4.10 TANQUE DE AERACION (REACTOR BIOLÓGICO).

PROCESO:
TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL AVANZADO

LIBRO:
JOSÉ BERNABÉ COTONIETO MARTÍNEZ

ACOT. CH

ESC 4:31

4.6 DISEÑO DEL SEDIMENTADOR SECUNDARIO EXPERIMENTAL.

4.6.1 Consideraciones de diseño.

El efluente a la salida del reactor biológico contiene sólidos suspendidos que deben ser eliminados antes de que se disponga de tal efluente por descarga en aguas receptoras. Para este fin, se usan tanques de sedimentación secundarios o de asentamiento final. Estos tanques son de diseño similar a los sedimentadores primarios, y deben tener un coeficiente de sedimentación por unidad de superficie no mayor de $32.6 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{día}$ ($800 \text{ gal}/\text{ft}^2\text{día}$). Utilizando de nuevo la tabla de datos sobre: sedimentación de tierra y de flóculos orgánicos, diámetro para partículas sólidas 0.1mm , y flóculos de 3 mm . (Tabla 4.1).

Y como el sedimentador secundario sigue los mismos principios que el sedimentador primario, también se obtiene un agua clara con baja cantidad de sólidos suspendidos. El volumen es aproximadamente el mismo, el tiempo medio de sedimentación es de 2.21 minutos para una profundidad de 9.6 cm ., y velocidad de $4.34 \text{ cm}/\text{min}$. Se elige una profundidad de 54 cm ., para el sedimentador y utilizando los datos de la tabla 4.1, se obtiene el tiempo de sedimentación para 54 cm .

$$T_{sed} = (54 \text{ cm}) \left(\frac{1 \text{ min}}{4.34 \text{ cm}} \right) \quad T_{sed} = 12.44 \text{ min.}$$

Se observa que es poco tiempo el requerido para que sedimenten los sólidos, orgánicos y además en esta etapa los lodos son más densos precipitándose más fácilmente debido a que ya están estabilizados. Para asegurar que se precipiten totalmente, se toma un tiempo de retención de 88 minutos, por eso se adoptó una profundidad de 54 cm , para que se respete dicho tiempo de retención.

Además con esta profundidad se evita que la turbulencia afecte a la sedimentación, y el volumen de los sólidos sedimentados no disminuya notablemente el espacio del recipiente. Las paredes del recipiente van a estar colocadas a 71°. De esta forma se asegura que los sólidos resbalen fácilmente y se concentren en el fondo del recipiente, para posteriormente drenarlos o recircularlos al reactor según se requiera en la experimentación.

Manejando datos de la bibliografía²⁰, de que se usan velocidades de flujo menores a (600 gpd/ft²)²⁰ para tanques de sedimentación, para plantas de capacidad no mayor a 1 mgd (millón de galón por día) y utilizando la ecuación de diseño se tiene que:

$$S = \frac{(180)(\text{profundidad del tanque en ft})}{\text{retención en hrs}}$$

S: velocidad de flujo (gpd/ft²)

Ecuación con la cual se puede establecer las dimensiones del sedimentador. El cual va a tener forma de pirámide regular truncada ya que es apta ésta forma para el fin experimental que se persigue. En base a lo comentado, los datos para el dimensionamiento del equipo son:

V = 50 lts. El ángulo de inclinación debe ser mayor a 60°.

Q = 0.5 lts/min. = 190.7 gpd. (Caudal base para el diseño)

S = 600 gpd/ft².

Profundidad = 54 cm. = 1.77 ft.

Tr = 88 min. = 1.46 hrs.

Angulo de inclinación de paredes = 71°

Sustituyendo en la ecuación de diseño para calcular el área de la parte superior del recipiente:

$$S = \frac{(180)(\text{profundidad del tan que en ft})}{\text{retención en hrs}}$$

$$600 \frac{\text{gpd}}{\text{ft}^2} = \frac{(180)(1.77 \text{ ft})}{1.46 \text{ hrs.}} \quad A = 2.74 \text{ ft}^2 \quad A: \text{área.}$$

Y utilizando la figura de un cuadrado se tiene que:

$$\text{Área} = (\text{lado})(\text{lado})$$

$$A = L^2$$

$$2.74 \text{ ft}^2 = L^2$$

$$L = 1.65 \text{ ft.}$$

$$L = 50.2 \text{ cm.}$$

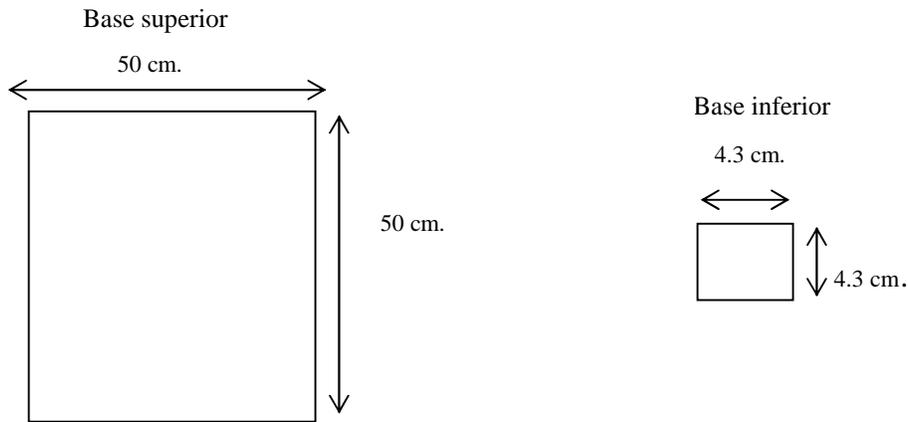


Figura 4.11 Base superior e inferior del sedimentador secundario.

4.6.2 Base inferior.

Esta base va a ser un cuadrado de 4.3x4.3 cm y altura de 2.5 cm esta altura es para poder sujetar fuertemente la válvula, que se usará para el drenado de los sedimentos.

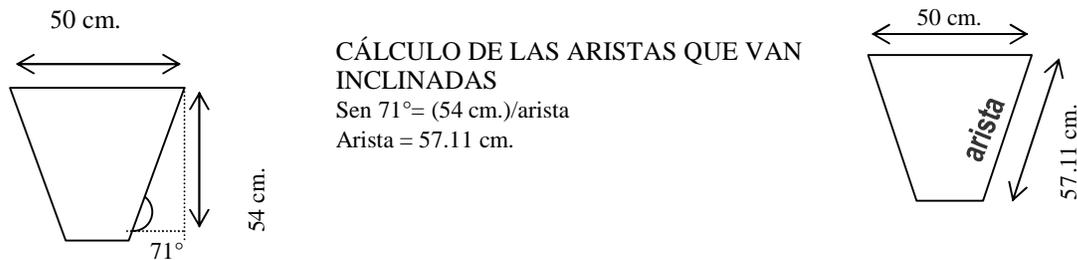


Figura 4.12 Aristas del sedimentador secundario.

Las aristas inclinadas se cortan a 65 cm. de longitud para cubrir la caja colectora y rebasarla. Estos centímetros adicionales que son alrededor de 8, sirven para cuando el nivel del agua, por accidente, rebase a la caja colectora, y no se tire enseguida y dando tiempo a controlarse el nivel en exceso.

4.6.3 Cálculo del volumen del sedimentador secundario.

Para una figura piramidal truncada se usa:

$$V = (1/3)h(B+B'+(BB')^{1/2})$$

V: Volumen.

h: Altura.

B: Área de base superior.

B': Área de base inferior.

$$B = (47 \text{ cm})(47 \text{ cm}) = 2209 \text{ cm}^2$$

$$B' = (3.3 \text{ cm})(3.3 \text{ cm}) = 10.89 \text{ cm}^2$$

$$V = (1/3)(54 \text{ cm})(2209 \text{ cm}^2 + 10.89 \text{ cm}^2 + ((2209 \text{ cm})(10.89 \text{ cm}))^{1/2})$$

$$V = 43625.36 \text{ cm}^3 \qquad V = 43.625 \text{ litros} \approx 44 \text{ litros}$$

Como se observa, el volumen disminuyó poco con respecto al volumen de 50 lts. que se planteo al principio. Por tanto éste es el volumen que se va a manejar en el equipo. (Figura 4.13)

4.6.4 Material y características del sedimentador secundario.

Se requiere de láminas de acrílico en forma de triángulo truncado. Un pedazo de tubo de PVC cortado longitudinalmente y de 10 cm. de diámetro, una tee de PVC de 1/2", una válvula de paso de 1/2" de PVC, con sus respectivos conectores. Los lodos que se depositen en el fondo, se drenan por la válvula y la tee sirve para recircular los lodos al reactor biológico.

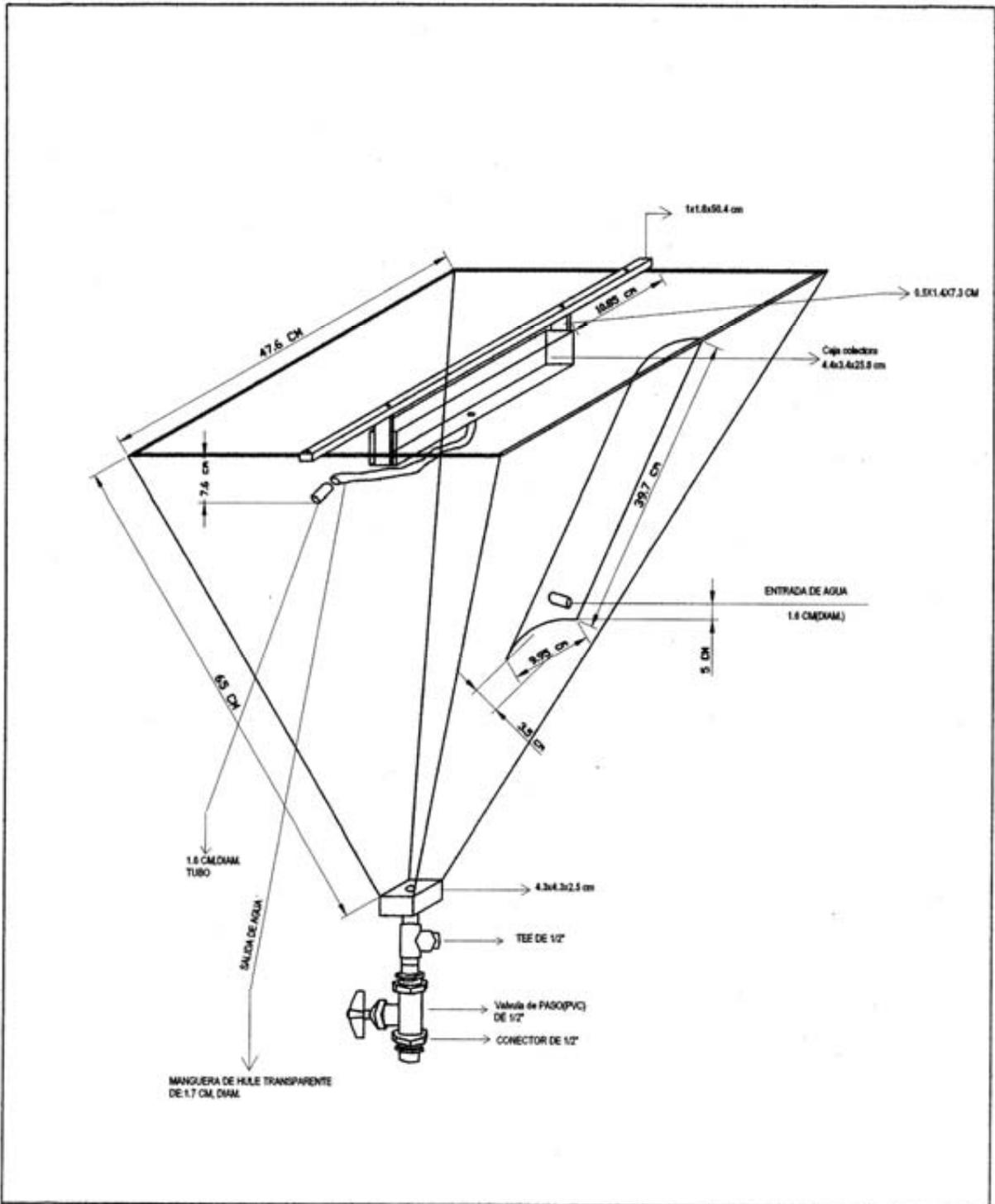


FIGURA 4.13 SEDIMENTADOR SECUNDARIO.		ACOT. CM
PROCESO: TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL AVANZADO.	DIBUJO J. Bernabé Colonieto Martínez	ESC 1:6.5

4.7 DISEÑO DEL CONTACTOR DE CLORO EXPERIMENTAL.

4.7.1 Consideraciones de diseño.

Para el dimensionamiento del dispositivo, se toma como base un caudal de 500 ml/min y un tiempo de retención de 40 minutos de hipoclorito de sodio en el recipiente, para que se elimine una gran cantidad de microorganismos dañinos. En la bibliografía²¹ se recomienda menor tiempo²¹, al igual que se recomienda un intervalo de dosificación de cloro de 2 a 5 mg/lit para el caso de una planta de fangos activados.

Pero se maneja la máxima concentración de hipoclorito, que es de 8 mg/lit, es para asegurar la eliminación de los microorganismos. Al mismo tiempo se eliminarán los malos olores que trae el agua al salir de la etapa biológica, el recipiente lleva mamparas o láminas, para que el fluido a su paso se encuentre con ellas y se produzca turbulencia. La última mampara es menos alta, su función es que el agua se derrame y caiga en una rampa, que acelera el fluido y finalmente llegue con velocidad más alta, y choque con un canal de salida que llevará el fluido al recipiente recolector del agua clorada. La dosificación de cloro se le aplicará desde antes de la primer mampara, para que se mezcle al mismo tiempo que cae el influente. Toda ésta serie de choques producirá una mezcla de cloro y agua junto con el tiempo de residencia establecido.

4.7.2 Dosificación de hipoclorito de sodio.

$$Q = V/T \quad \text{volumen requerido de recipiente.}$$

$$Q = 0.5 \text{ lts/min} \quad V = QT$$

$$T = 40 \text{ minutos.} \quad V: \text{volumen}$$

$$T: \text{ tiempo de residencia.} \quad \left(\frac{0.5 \text{ lts}}{\text{min}} \right) (40 \text{ min}) = 20 \text{ lts} = V$$

$$Q: \text{ caudal} \quad (20 \text{ lts}) \left(\frac{1000 \text{ cm}^3}{1 \text{ lt}} \right) = 20000 \text{ cm}^3$$

El volumen de 20 litros, es para el recipiente que contiene el agua residual y el hipoclorito que se va a ir adicionando para que se mezcle. Este volumen se toma de referencia para obtener las medidas del recipiente. Para obtener dichas medidas del recipiente se recurre a la fórmula de un paralelepípedo, y manejando diferentes iteraciones se hacen las operaciones matemáticas, hasta obtener el volumen calculado con el caudal manejado, y hasta que las medidas obtenidas se ajusten a un dimensionamiento adecuado.

El equipo no debe ser muy grande, ni muy pequeño, para no usar mucho material y debe ser bien aprovechado el dimensionamiento para que exista una mezcla adecuada del hipoclorito de sodio y el agua.

4.7.3 Cantidad de hipoclorito de sodio necesario.

Densidad = 1.5 gr/cm³ (real)

Hipoclorito de sodio

13.5 gr ——— 100 gr disol.

x ——— 1.5 gr disol.

Pureza = 13.5 %

x = 0.2025 gr/ml

$$\left(\frac{8 \text{ mg}}{\text{lt}}\right)\left(\frac{1 \text{ gr}}{1000 \text{ mg}}\right)\left(\frac{0.5 \text{ lts}}{\text{min}}\right)\left(\frac{1 \text{ ml}}{0.2025 \text{ gr}}\right) = 0.01975 \text{ ml/min}$$

Caudal de hipoclorito de sodio

$$Q = 0.01975 \text{ ml/min}$$

Por cada 40 minutos se le adicionará al recipiente con el agua.

$$\left(\frac{0.01975 \text{ ml}}{\text{min}}\right)(40 \text{ min}) = 0.79 \text{ ml de hipoclorito de sodio}$$

El hipoclorito se va a adicionar por medio de una bureta de 20 cm de longitud. La adición del hipoclorito va a ser goteando por medio de la

bureta, una gota cada 30 segundos. El recipiente contenedor del hipoclorito de sodio será de 3 litros, y estará por encima del contactor para que baje por gravedad el hipoclorito de sodio, el ajuste del goteo se hace por medio de la llave de paso de la bureta y un cronómetro. Para unir la bureta con el recipiente de hipoclorito se hace con manguera de hule.

4.7.4 Diseño del recipiente contactor de cloro.

$V = LAH$ después de una serie de iteraciones se llegó a las dimensiones más adecuadas, teniendo como base 20 lts de volumen las medidas del recipiente son:

V: Volumen $L = 50 \text{ cm.}$ $A = 20 \text{ cm.}$ $H = 20 \text{ cm.}$
L: Largo estas medidas dan como resultado 20 lts.
H: Altura $V = (50 \text{ cm})(20 \text{ cm})(20 \text{ cm})$ $V = 20000 \text{ cm}^3$
A: Ancho

Con un 50% adicional de altura a las mamparas y paredes, para evitar que salpique el hipoclorito cuando cae, y por si se llegará a rebasar el nivel de 20 cm y derramarse el agua. El espacio por el que fluirá el agua es de 4 cm., suficiente para que se cree turbulencia y se mezcle el hipoclorito con el agua. El número de mamparas es de 5, pero la última medirá 20 cm de altura y los 4 restantes, miden 30 cm de altura. La rampa de salida es de 12 cm de ancho, longitud de 24.41 cm y con la inclinación de 35° , suficiente para que el agua baje con una velocidad alta y ayude al mezclado. La última mampara es para que se derrame el agua y ayude al mezclado. Para llegar a las medidas de la rampa de salida, fue por medio de iteraciones, hasta que se ajustó al ancho del recipiente y manejando diferentes inclinaciones, hasta que quedaron 35° finalmente. Cálculo de la altura de la rampa con las demás medidas deducidas:

$$\tan 35^\circ = \frac{h}{20 \text{ cm.}}$$

$$h = 14 \text{ cm.}$$

$$c^2 = a^2 + b^2$$

$$c^2 = (14 \text{ cm})^2 + (20 \text{ cm})^2$$

$$c = 24.41 \text{ cm.}$$

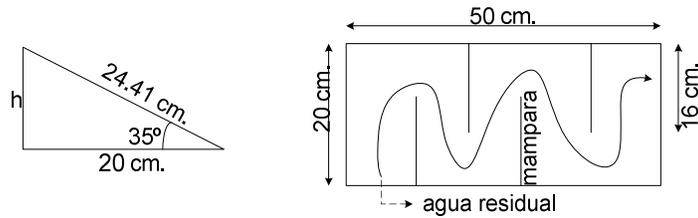


Figura 4.14 Trayectoria del agua residual en el contactor de cloro.

4.7.5 Características finales del contactor de cloro.

Material	: acrílico transparente	Hipoclorito de sodio
Espesor	: 3 mm.	Densidad: 1.5 gr/cm ³
Tiempo	: 40 min.	Pureza: 13.5 %
Retención	Para 7 días se necesita 198.576 ml de hipoclorito de sodio.	
Volumen	: 20 lts.	
Caudal	: 0.0197 ml/min de hipoclorito de sodio.	
Caudal	: 0.5 lts/min de agua proveniente del sedimentador.	

Mamparas

Número: 4
 Altura: 30 cm.
 Ancho: 16 cm.
 Espacio libre de flujo: 4 cm.

Derramadero

altura: 20 cm.
 Ancho: 20 cm.

Recipiente del contactor

Longitud: 62 cm.
 Altura: 30 cm.
 Ancho: 20 cm.

Recipiente contenedor de cloro

Capacidad: 3 litros
 Material: plástico

Rampa de salida

Inclinación: 35°
 Longitud: 24.41 cm.
 Altura: 14 cm.
 Ancho: 12 cm

Canal de salida

Longitud : 20 cm.
 Ancho: 6 cm.
 Altura: 8 cm.

Bureta

Capacidad: 20 ml.

Material: Vidrio

Material adicional

Barra de metal de soporte universal

1 nuez

Unas pinzas para bureta.

Un trozo de manguera de hule transparente de ½”.

4.7.6 Material y características del contactor de cloro.

Para el clorador se requieren: Láminas de acrílico, Una varilla de soporte universal. La rampa de salida se coloca a una altura de 14 cm y forma un ángulo de 40°. La altura del canal de salida es suficiente para que el agua no se derrame cuando esté bajando por la rampa, Se usará una bureta de 20 mililitros (se puede mandar a hacer) para controlar la adición del hipoclorito de sodio en forma de goteo.

El recipiente para el hipoclorito de sodio es de 2 litros, el contactor de cloro se colocará a una altura inferior al sedimentador secundario. (Figura 4.15)

Recipiente receptor de agua clorada.

El recipiente receptor de agua clorada, será una tina de plástico común y corriente. Para acondicionarla, se colocará una válvula de PVC de ½" en un extremo y por la parte inferior para que el agua salga por la presión hidrostática. Dicha presión le ayudará a la bomba que se colocará para alimentar el agua clorada a la siguiente etapa de tratamiento.

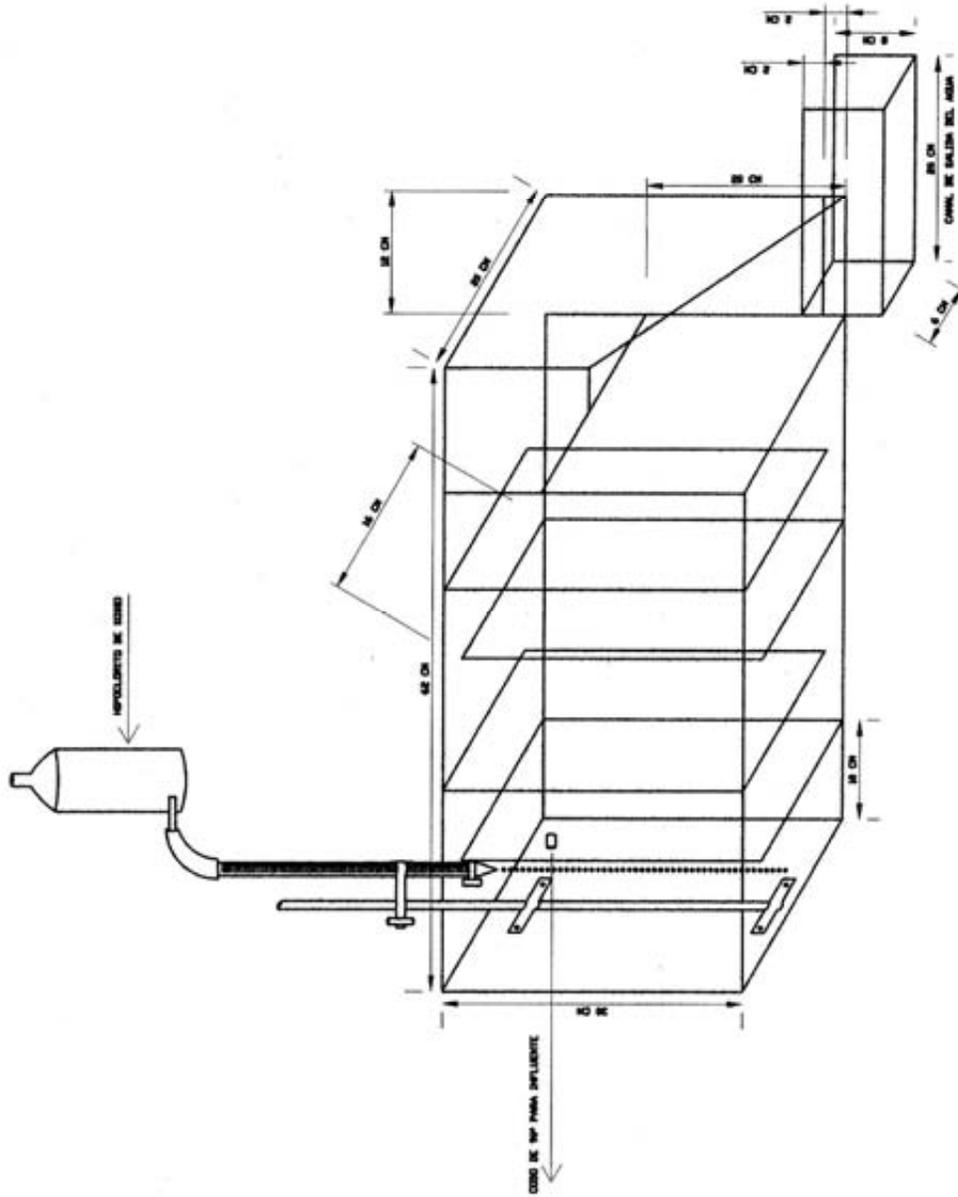


FIGURA 4.15 CONTACTOR DE CLORO.

PROCESO:
TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL AVANZADO

DEBILLO 1
JOSE BERNABÉ COTONIELO MARTINEZ

ACOT. CM

ESC 1:61:10

4.8 DISEÑO DEL FILTRO DE ARENA EXPERIMENTAL.

4.8.1 Consideraciones de diseño.

El filtro de arena que se propone, es lento debido a que la velocidad de operación del agua en el interior del filtro es baja, además de que el agua baja por gravedad. El ajuste de las dimensiones se va a hacer de acuerdo al flujo de agua de interés, que es de 500 ml/min y tomando algunos otros criterios para que el filtro opere adecuadamente.

Datos de la bibliografía²⁰ para iniciar el dimensionamiento.

Velocidades de operación: (3-9) mgd por acre, usualmente de 5 a 6 mgd, con una eliminación de bacterias del 98 %, alta efectividad para eliminar sabores y olores.

Arena

Espesor de la cama de arena: 18 - 36 in.

Tamaño efectivo de la arena: 0.20 - 0.40 mm.

Coefficiente de uniformidad: 1.6 – 3.0 mm.

Cuando empieza a disminuir la velocidad de salida del agua: la limpieza se lleva a cabo removiendo la arena desde la parte superior del lecho, a una profundidad de ½ a 1 pulgada.

Grava

Espesor de la cama: 12 in (graduada).

Las partículas deben estar graduadas y colocadas en mantos de unas 3 in de espesor.

Las más gruesas de 2 a 3 in en el fondo.

El lecho superior de aproximadamente: 0.10 in.

Operaciones para el dimensionamiento del filtro de arena.

Velocidad de operación: 6 mgd/acre.

Recomendada por la bibliografía ⁽²⁰⁾, velocidad intermedia 3-9 mgd/acre, no debe ser muy baja ni alta por que interfiere en la eficiencia del sistema.

Cálculo

$$\left(\frac{6 \times 10^6 \text{ gal}}{\text{acre día}}\right) \left(\frac{3.78 \text{ lts}}{1 \text{ gal}}\right) \left(\frac{\text{día}}{24 \text{ hr}}\right) \left(\frac{1 \text{ hr}}{60 \text{ min}}\right) \left(\frac{1 \text{ acre}}{4047 \text{ m}^2}\right) = 3.89 \frac{\text{lts/min}}{\text{m}^2}$$

Q = 0.5 lts/min de trabajo.
1 acre = 4047 m²

4.8.2 Cálculo del área de flujo de agua.

$$\left(\frac{0.5 \text{ lts}}{\text{min}}\right) \left(\frac{1 \text{ m}^2}{3.89 \text{ l/min}}\right) \left(\frac{(100 \text{ cm})^2}{1 \text{ m}^2}\right) = 1280 \text{ cm}^2$$

El área de flujo del agua a través del filtro se va ajustar a un rectángulo. Después de una serie de iteraciones se llega a las dimensiones siguientes (figura 4.16). Las dimensiones no están muy desproporcionadas.

Como se observa el área de flujo es de 1280 cm² y utilizando la fórmula de área para un rectángulo se observa que el área con las dimensiones obtenidas, concuerda con el área calculada.

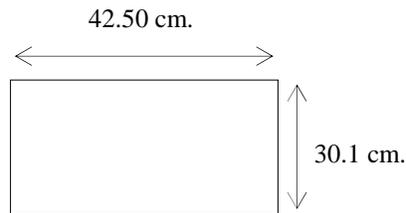


Figura 4.16 Superficie del filtro

$$\text{Área} = (42.50 \text{ cm})(30.1 \text{ cm}) = 1279.25 \text{ cm}^2$$

El siguiente paso es determinar la altura del recipiente en base a las camas o lechos de arena y grava.

4.8.3 Espesores de las camas de arena.

En la bibliografía²⁰ se recomienda de 18-36 in, pero se va a seleccionar de 18 in, debido a que el agua viene sedimentada y con tratamiento de estabilización (biológico). Se trata de un agua relativamente limpia con pocos sólidos en suspensión, y disueltos.

Camas de arena.

$$(18 \text{ in}) \left(\frac{2.54 \text{ cm}}{1 \text{ in}} \right) = 45.72 \text{ cm.}$$

La siguiente graduación de tamaño de partículas, se seleccionó en base a que el agua viene relativamente limpia de la etapa biológica, no se utilizo partículas más pequeñas de 0.4 mm debido a que se corre el riesgo que la velocidad de flujo se vea afectada y se disminuya mucho.

Este tipo de filtro es lento por las condiciones de trabajo antes citadas, y si no se tiene cuidado en el dimensionamiento y proporción de arena, las condiciones para un filtro lento se van a alterar y la velocidad, puede disminuir mucho en el interior del filtro.

Graduación

Tamaño de manto

Manto # 1: 1.5 mm.	19.72 cm.
Manto # 2: 1.0 mm.	16 cm.
Manto # 3: 0.4 mm.	10 cm.

Como el filtro es por gravedad va a estar abierto.

Nivel de agua sobre la arena: 10 cm.

Espacio libre a partir de los 10 cm y hacia arriba: 20 cm.

Las condiciones mencionadas anteriormente, son para poder colocar otros aditamentos como una cajita colectora de agua para que alimente al filtro. También sirven para evitar que el agua al caer sobre la arena no ocasione un pozo sobre la misma.

4.8.4 Espesores de las camas de grava.

En la bibliografía ²⁰ se recomienda de 12 in por lo tanto es con el que se va a trabajar.

$$(12 \text{ in}) \left(\frac{2.54 \text{ cm}}{1 \text{ in}} \right) = 30.48 \text{ cm.}$$

Tabla 4.2 Granulometría.

Graduación (Tamaño de partícula en cm.)	Tamaño de manto (Espesor en cm.)
Manto # 1: 5.08	7.62
Manto # 2: 2.5	7.62
Manto # 3: 1	7.62
Manto # 4: 0.254	7.62

Son 4 mantos que se van a formar empezando desde el fondo con el manto de mayor tamaño de partícula. A la altura del filtro se le dará 4 cm adicional para poder introducir el sistema de drenaje. Con estas graduaciones de arena y grava se busca que exista una buena distribución de agua en toda la superficie y que los sólidos sean en su mayor parte retenidos en las piedras tanto de grava como de arena y funcione satisfactoriamente el filtro.

4.8.5 Sistema de drenaje inferior.

Diámetro de los orificios: 1/4 - 3/4 in (6.35 - 19.05 mm).

Espaciamiento de los orificios: 3-12 in (7.6 - 30.5 cm) entre centros.

Espaciamiento de las laterales: cercano, aproximadamente al espacio entre los orificios. (bibliografía²²)

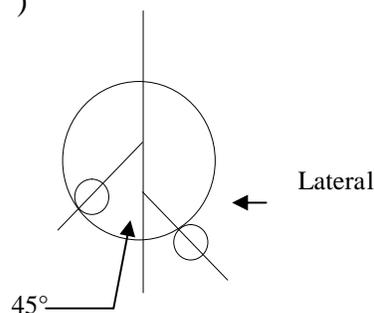


Figura 4.17 Acondicionamiento de una lateral del filtro de arena.

Los orificios van a 45° con respecto a la vertical, hacia abajo.

1 acre = 4047 m²

1 gal = 3.785 lts.

1 mgd (1 millón de galones por acre por día) = 0.935 m³ por m² por día.

Datos de la bibliografía²² para el dimensionamiento del sistema de drenaje: la relación del porcentaje de área de orificios de las laterales del sistema de drenaje con respecto del área del filtro es de 0.5 – 0.2 %.

A continuación se en listan otra serie de datos.

1. Relación del área del orificio al área del lecho lavado: $((1.5 - 5) \times 10^{-3}) : 1$
2. Relación del área de la lateral al área de los orificios en servicio: (2 - 4):1
3. Relación del área de la tubería principal al área de las laterales en servicio: (1.5 - 3): 1
4. Diámetro de los orificios: 1/4 - 3/4 in (6.35-19.05 mm).
5. Espaciamiento de los orificios: 3 - 12 in (7.6-30.5 cm) entre centros.
6. Espaciamiento de las laterales: cercano, aproximadamente al espacio entre los orificios.

A partir de estos datos se toma como base para el dimensionamiento del drenaje inferior. También tomando de base otros criterios para poder reducir el tamaño de los tubos, así como los orificios y espaciamiento de laterales.

4.8.6 Diseño del sistema de drenaje.

El espacio entre laterales se tomará de 7.6 cm.

Longitud a partir del frente del filtro y 7 mm antes de que toque la pared de atrás (a lo largo de los 42.5 cm.) es de 41.8 cm.

Número de laterales: $\frac{41.8\text{ cm}}{7.6\text{ cm}} = 5.5 \approx 6$ laterales.

El diámetro de los orificios de las laterales es de 6.4 mm. Este diámetro es para que la suma de las áreas de todos los orificios de las laterales, estén dentro del rango de porcentaje de área con respecto al área del filtro. Cada lateral mide 14 cm y cada orificio está en la mitad de cada una a 8 cm, por eso el espacio entre laterales es de 7.6 cm.

Cálculo del porcentaje de área de orificios de las laterales con respecto al área del filtro:

Área de un orificio:

$$A = \pi R^2$$

R: radio

Diámetro interno: 6.4 mm.

$$A = \pi \left(\frac{0.64\text{ cm}}{2} \right)^2$$

$$A = 0.321\text{ cm}^2$$

Área total de los orificios:

Número de orificios: 12

$$\text{Área total} = 12(0.321\text{ cm}^2)$$

$$\text{Área total} = 3.86\text{ cm}^2$$

Área total del filtro:

Como es un rectángulo se tiene que:

$$\text{Área filtro} = (30.1\text{ cm})(42.5\text{ cm})$$

$$\text{Área filtro} = 1279.25\text{ cm}^2.$$

Cálculo del porcentaje con respecto al área del filtro.

$$\left(\frac{100\%}{1279.25\text{ cm}^2} \right) (3.86\text{ cm}^2) = 0.302\%$$

Como se observa el porcentaje de área de orificios de las laterales cae dentro del rango de lo establecido por la bibliografía²².

El diámetro de las laterales así como el del múltiple y el diámetro interno, de los orificios centrales que se encuentran entre laterales, fueron establecidos con criterio.

Los orificios que van por debajo de las laterales quedan a 270°, la decisión de colocar un solo orificio por lateral, es por que el sistema es pequeño y el filtro de agua es pequeño y por gravedad y se cumple el porcentaje del área requerido. El múltiple se deja 40 cm libre de longitud para que posteriormente se le coloque una válvula de PVC ½" con conector y de esta manera manejar el flujo que más convenga. (Figura 4.18)

4.8.7 Datos finales del dimensionamiento del filtro de arena.

Recipiente del filtro

Altura: 110.2 cm.
 Ancho: 30.1 cm.
 Largo: 42.5 cm.
 Diámetro interno: 1.5 cm.

Caja colectora

Altura: 14 cm.
 Ancho: 10 cm.
 Largo: 15 cm.
 Espacio hueco en
 Borde superior: 2.5 cm.

Orificio

Altura: 7.3 cm.
 Y queda centrado
 con respecto a los
 Extremos.

Material

Acrílico transparente
 Espesor acrílico: 5 mm

Sistema de drenaje inferior

Longitud de laterales. 14.05 cm.
 Longitud de múltiple: 80.7 cm.

Tabla 4.3 Granulometría.

Grava Manto(#).	Tamaño de Partícula(cm).	Espesor de Manto(cm).
1	5.08	7.62
2	2.5	7.62
3	1.0	7.62
4	0.25	7.62

Tabla 4.4 Granulometría.

Grava Manto(#).	Tamaño de Partícula(mm).	Espesor de Manto(cm).
1	1.5	7.62
2	1.0	7.62
3	0.4	7.62
		7.62

Nivel del agua: 10 cm.

Material: arena y grava usada en construcción.

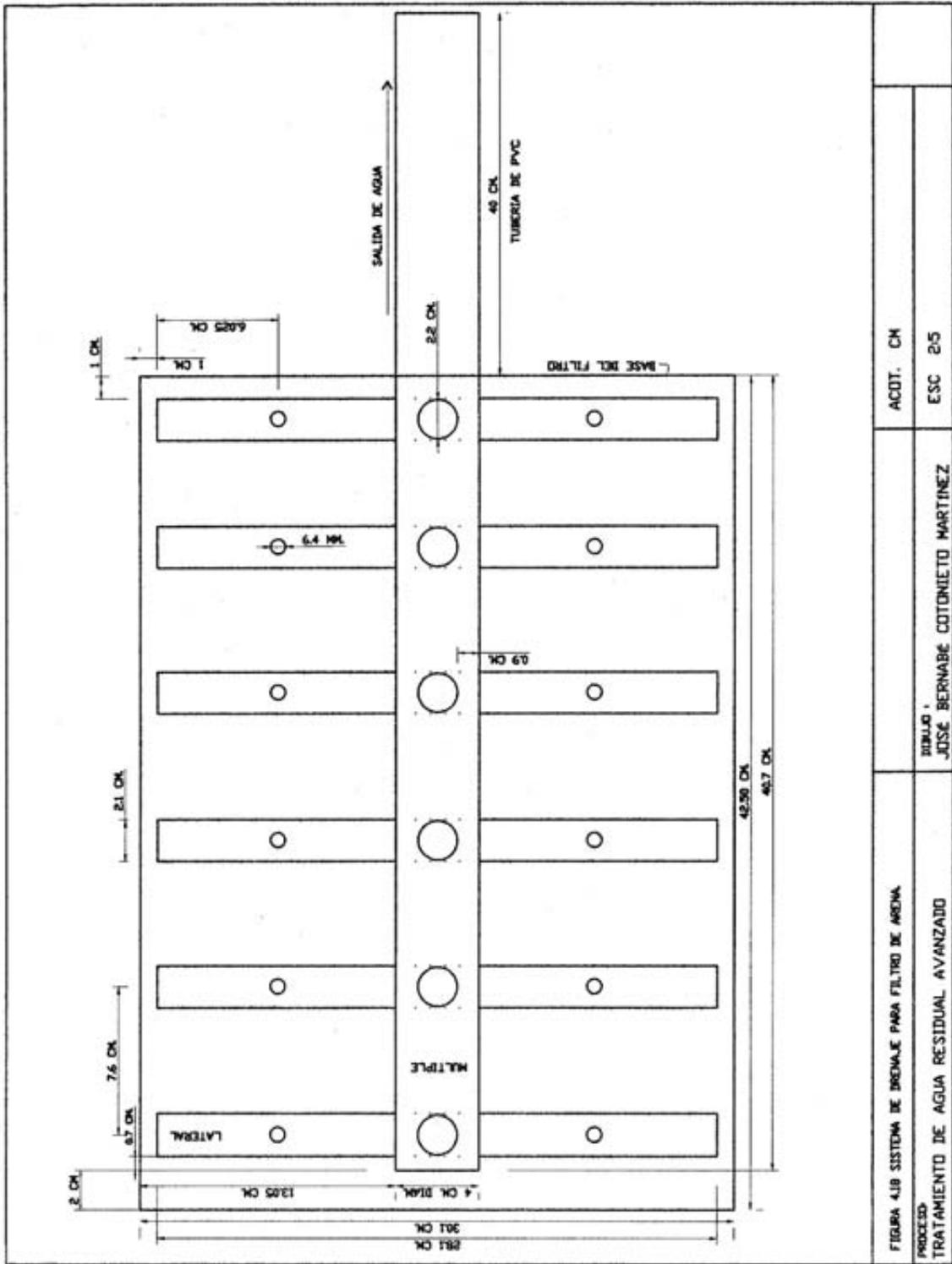


FIGURA 4.18 SISTEMA DE DRENAJE PARA FILTRO DE ARENA

PROCESO:
TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL AVANZADO

DISEÑO:
JOSÉ BERNABÉ COTONIETO MARTÍNEZ

ACOT. CM

ESC 2/5

Laterales

Diámetro interno de orificios: 6.4 mm.

Distancia de extremo a orificio: 6.025 cm.

Para tapar los extremos de cada lateral se usan tapas de plástico.

Diámetro de los orificios centrales entre laterales: ½"

Estos orificios son para recoger el agua hacia el múltiple.

Todos los orificios se colocan a 270°

Diámetro de lateral: ½"

Material: PVC

Múltiple

Diámetro: 40 mm.

Material: PVC

Se requiere un tapón de 40 mm para tapar el extremo que queda dentro del recipiente. Al final del tubo se requiere de una válvula de globo de PVC, de ½" con dos conectores.

Un tapón de 40 mm de PVC.

Un cople de 40 mm de PVC.

El filtro se coloca a 50 cm de altura sobre el piso.

4.8.8 Mallas para tamizar la arena y la grava.

Las siguientes mallas son para separar los diferentes tamaños de arena y grava para cargar el filtro de arena.

Arena

MALLA(partícula de 1.5 mm)

Largo: 40 cm.

Ancho: 40 cm.

Alto: 5. cm.

Espesor: 2 cm.

Marco: de madera

Tela: metálica (comercial)

Arena

MALLA(partícula de 1 mm)

Largo: 40 cm.

Ancho: 40 cm.

Alto: 5 cm.

Espesor: 2 cm.

Marco: de madera

Tela: metálica (comercial).

Arena

MALLA(partícula de 0.4 mm)
Largo: 50 cm.
Ancho: 30 cm.
Alto: 5 cm.
Espesor: 2 cm.
Marco: de madera.
Tela: metálica (comercial).

Grava

MALLA(partícula de 2.5 cm)
Largo: 40 cm.
Ancho: 40 cm.
Alto: 5 cm.
Espesor: 2 cm.
Marco: de madera.
Tela: metálica (cobre)

Grava

MALLA(partícula de 1 cm)
Largo: 40 cm.
Ancho: 40 cm.
Alto: 5 cm.
Espesor: 2 cm.
Marco: de madera.
Tela: metálica (cobre)

Grava

MALLA(partícula de 0.25 cm)
Largo: 40 cm.
Ancho: 40 cm.
Alto: 5 cm.
Espesor: 2 cm.
Marco: de madera
Tela: metálica (comercial).

Grava

MALLA(partícula de 0.5 cm)
Largo: 40 cm.
Ancho: 40 cm.
Alto: 5 cm.
Espesor: 2 cm.
Marco: de madera.
Tela: metálica (cobre).

Figuras: 4.19, 4.20, 4.21, 4.22, 4.23, 4.24 y 4.25.

El primer manto consta de una capa de grava con una altura de 30.48 cm pero a su vez consta de cuatro mantos con diferentes alturas. El primer manto consta de grava con tamaño de partícula de 5.08 cm de diámetro se van acomodando, piedra por piedra, para que queden bien distribuidas en toda la superficie y cubra todo el drenaje.

El segundo manto, es de grava, con un diámetro de cada partícula de 2.5 cm y se acomoda distribuyéndose en toda la superficie cubriendo toda la superficie. El tercer manto consta de grava con tamaño de partícula de 1 cm de diámetro y se acomoda con cuidado para que no queden espacios.

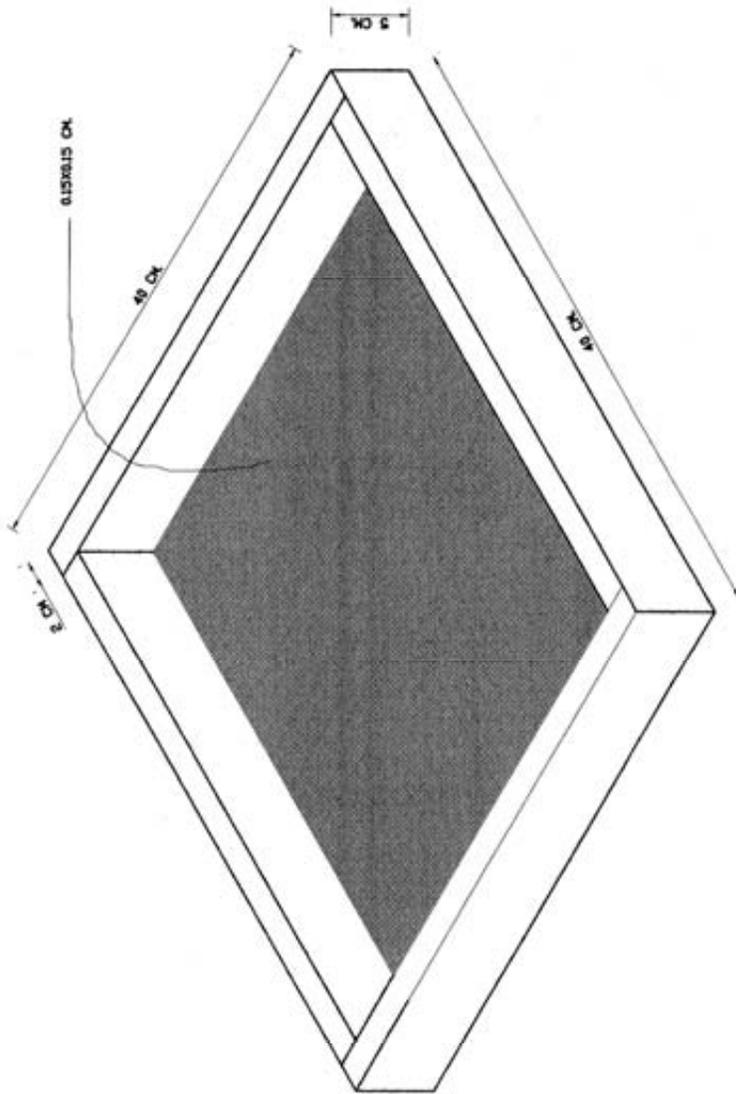


FIGURA 4.19 MALLA (PARTICULA DE 1.5 MM).

PROCESO:
TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL AVANZADO

DIBUJO:
JOSÉ BERNABÉ COTONIETO MARTÍNEZ

ACOT. CM

ESC 1 : 4

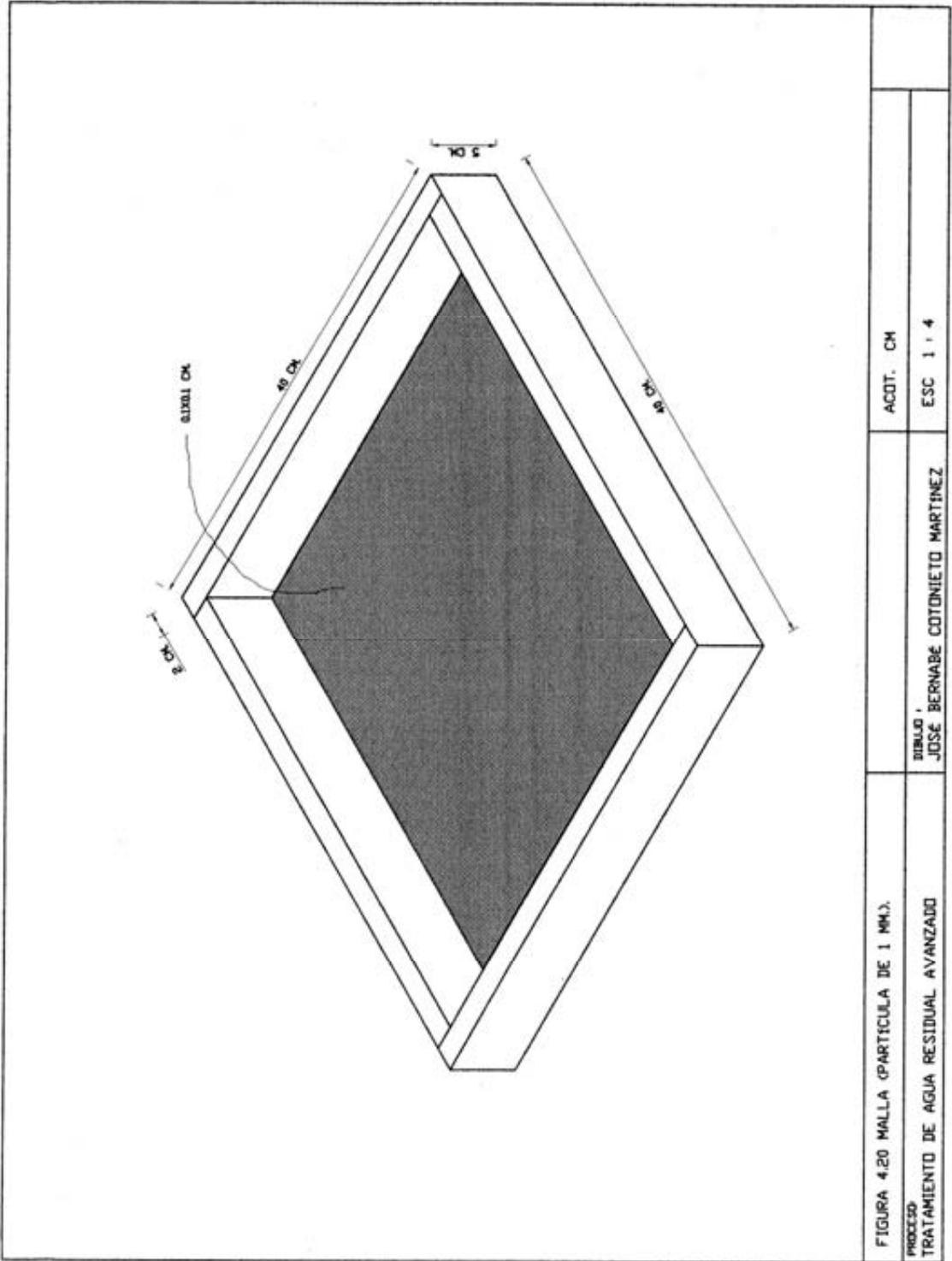


FIGURA 4.20 MALLA (PARTÍCULA DE 1 MM).

PROCESO:
TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL AVANZADO

DIBUJO:
JOSÉ BERNABÉ COTONIETO MARTÍNEZ

ACOT. CM

ESC 1 : 4

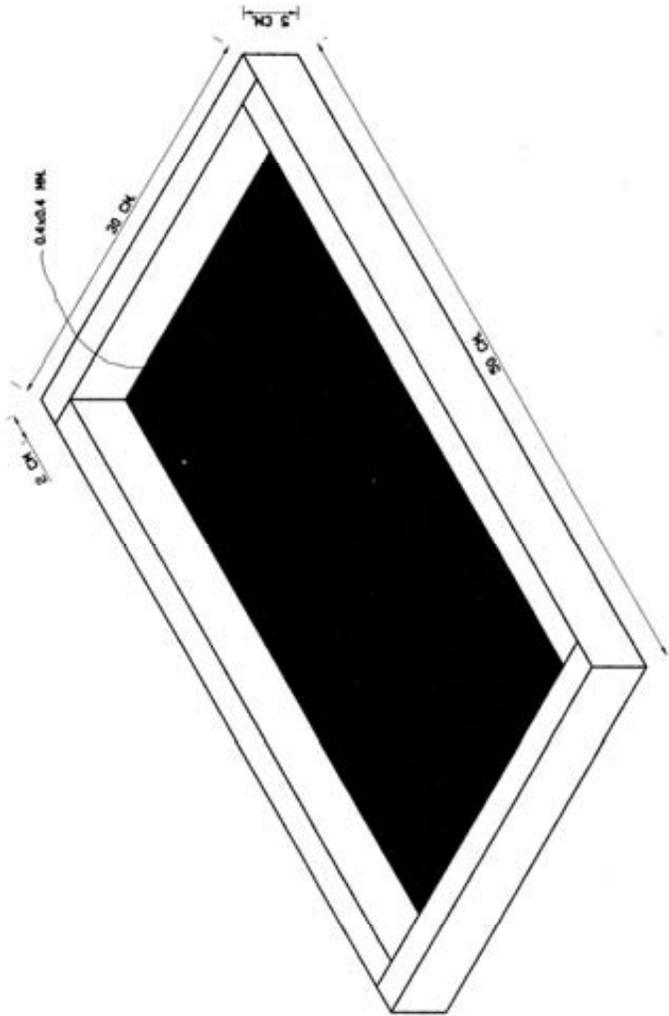


FIGURA 4.21 MALLA (PARTÍCULA DE 0.4 MM.).

PROCESO:
TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL AVANZADO

DIBUJO:
JOSÉ BERNABÉ COTONIETO MARTÍNEZ

ACOT. CM

ESC 1 : 4

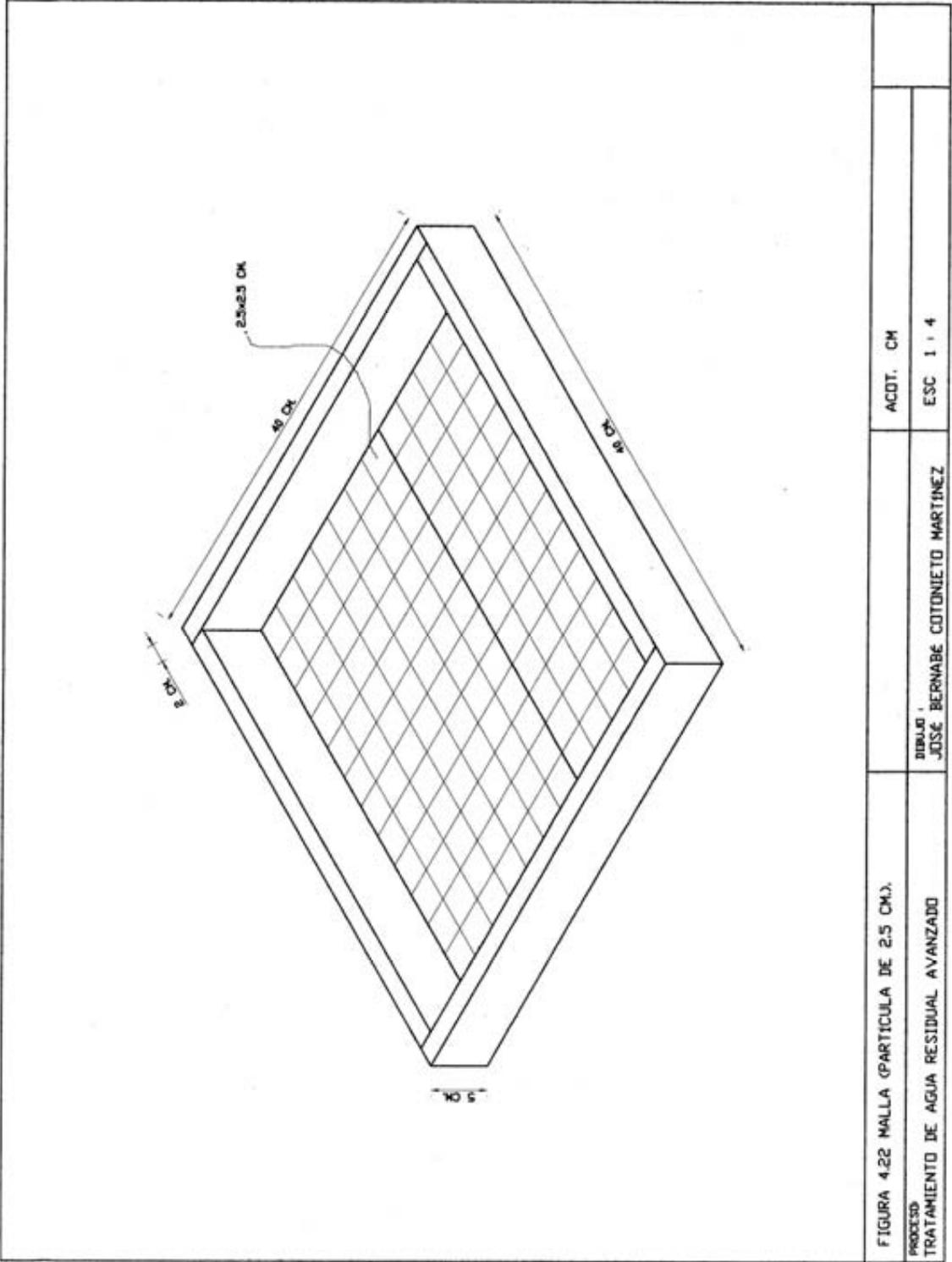


FIGURA 4.22 MALLA (PARTICULA DE 2.5 CM).

PROCESO:
TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL AVANZADO

DIBUJO:
JOSE BERNABE COTONIELO MARTINEZ

ACOT. CM

ESC 1 : 4

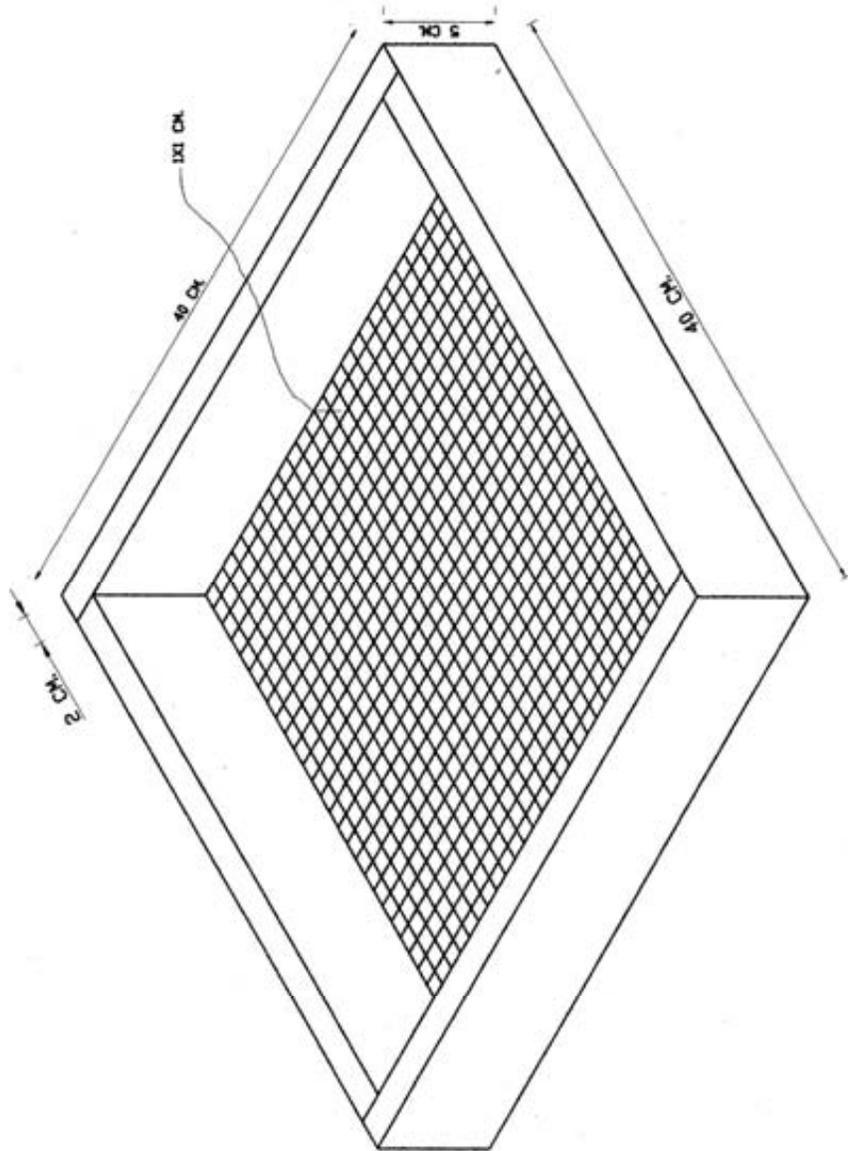


FIGURA 4.23 MALLA (PARTICULA DE 1 CM.).

PROCESO:
TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL AVANZADO

TITULO:
JOSÉ BERNABÉ COTONIETO MARTÍNEZ

ACOT. CM

ESC 1 : 4

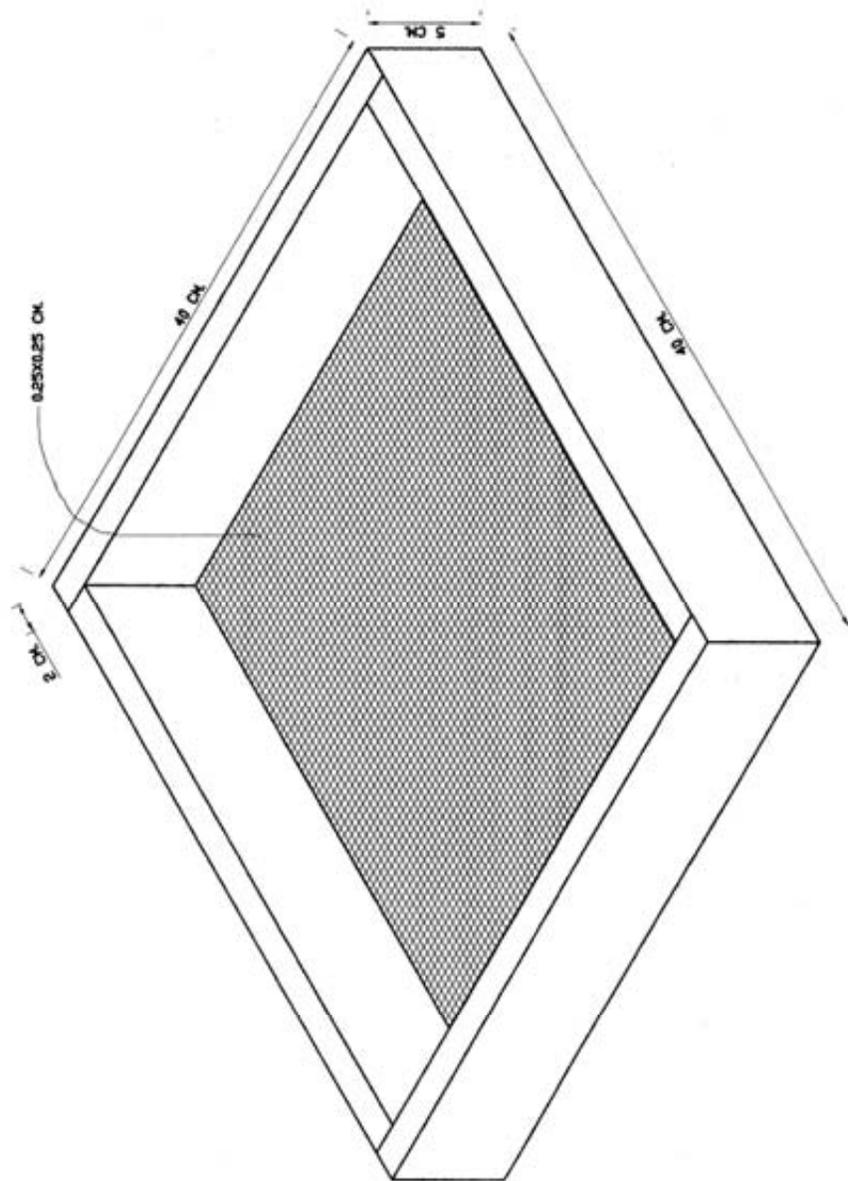


FIGURA 4.24 MALLA (PARTICULA DE 0.25 CM.).

PROCESO:
TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL AVANZADO

DIBUJADO:
JOSÉ BERNABÉ COTONIETO MARTÍNEZ

ACOT. CM

ESC 1 : 4

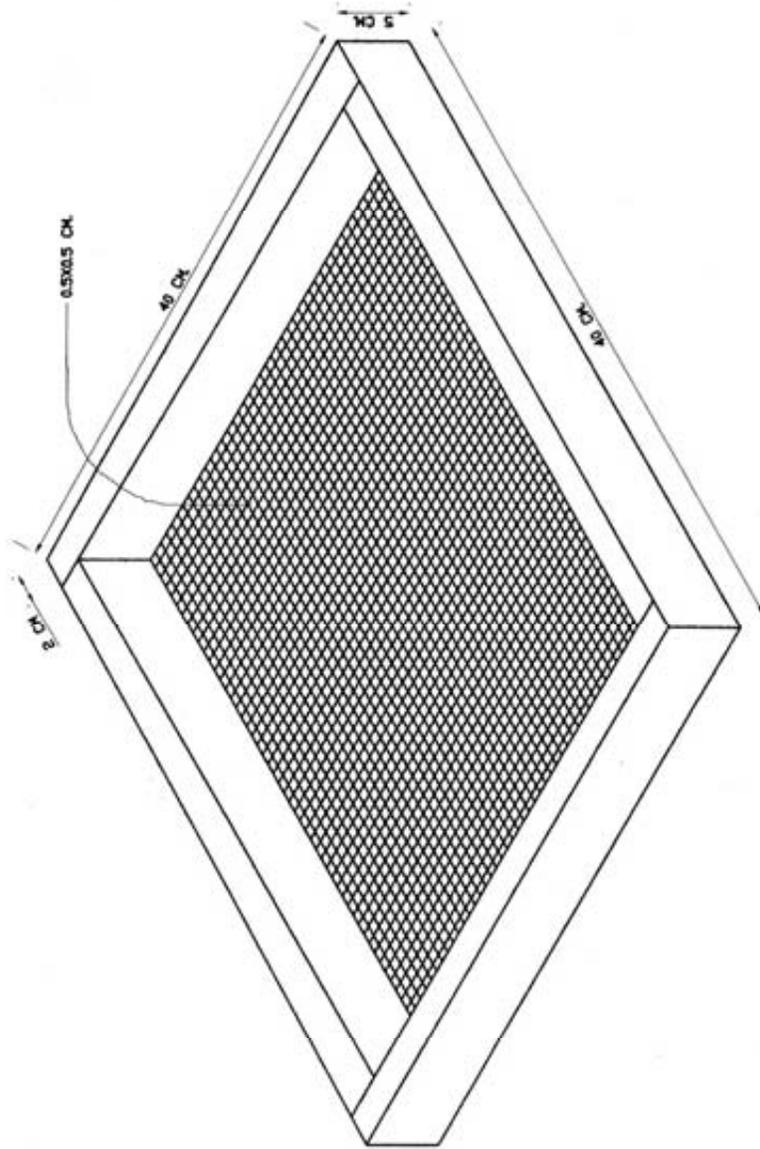


FIGURA 4.25 MALLA (PARTICULA DE 0.5 CM.).

PROCESO:
TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL AVANZADO

BIBLIO I:
JOSE BERNABE COTONIETO MARTINEZ

ACOT. CM

ESC 1 : 4

El cuarto manto consta de grava con tamaño de partícula de 0.25cm de diámetro. El cuarto manto se deja caer desde arriba al azar cubriendo la superficie totalmente y además por las orillas.

La siguiente capa tiene una altura de 45.72 cm, consta de 3 mantos de arena. El primer manto consta de arena con tamaño de partícula de 1.5 mm de diámetro. El segundo manto consta de arena con tamaño de partícula de 1 mm de diámetro, este manto, al igual que el primero, se adiciona al azar pero teniendo cuidado de que se cubran bien los espacios en toda la superficie del recipiente. El tercer manto consta de arena con tamaño de partícula de 0.4 mm. de diámetro y se agrega al azar teniendo cuidado de que cubra bien los huecos en toda la superficie para que funcione bien el filtro.

Cada uno de los mantos de grava tienen una altura de 7.62 cm, la altura del primer manto de arena mide 19.72 cm, el segundo mide 16 cm y el tercero mide 10 cm. El nivel de agua a que debe estar por encima del último manto es de 10 cm, para que al caer el agua desde la caja colectora evite que se produzca un pozo en el manto de arena y ocasione un daño mayor, esta altura posteriormente se va a variar de acuerdo a las pruebas que se hagan.

Es importante que cada manto de grava y arena estén bien distribuidos en toda la superficie, ya que si no cumple con este requisito el agua puede pasar con arena fina y salir por la válvula de salida del filtro. (Figura 4.26)

Una vez ya cargado el filtro con la grava y arena, se agrega agua hasta que cubra la última capa de arena y se deja salir el agua para que de esta forma se laven todos los mantos. Esta operación se repite varias veces para que se laven todos perfectamente, se suspenderá esta operación cuando se observe que el agua de salida del filtro sale limpia, y que no esté turbia.

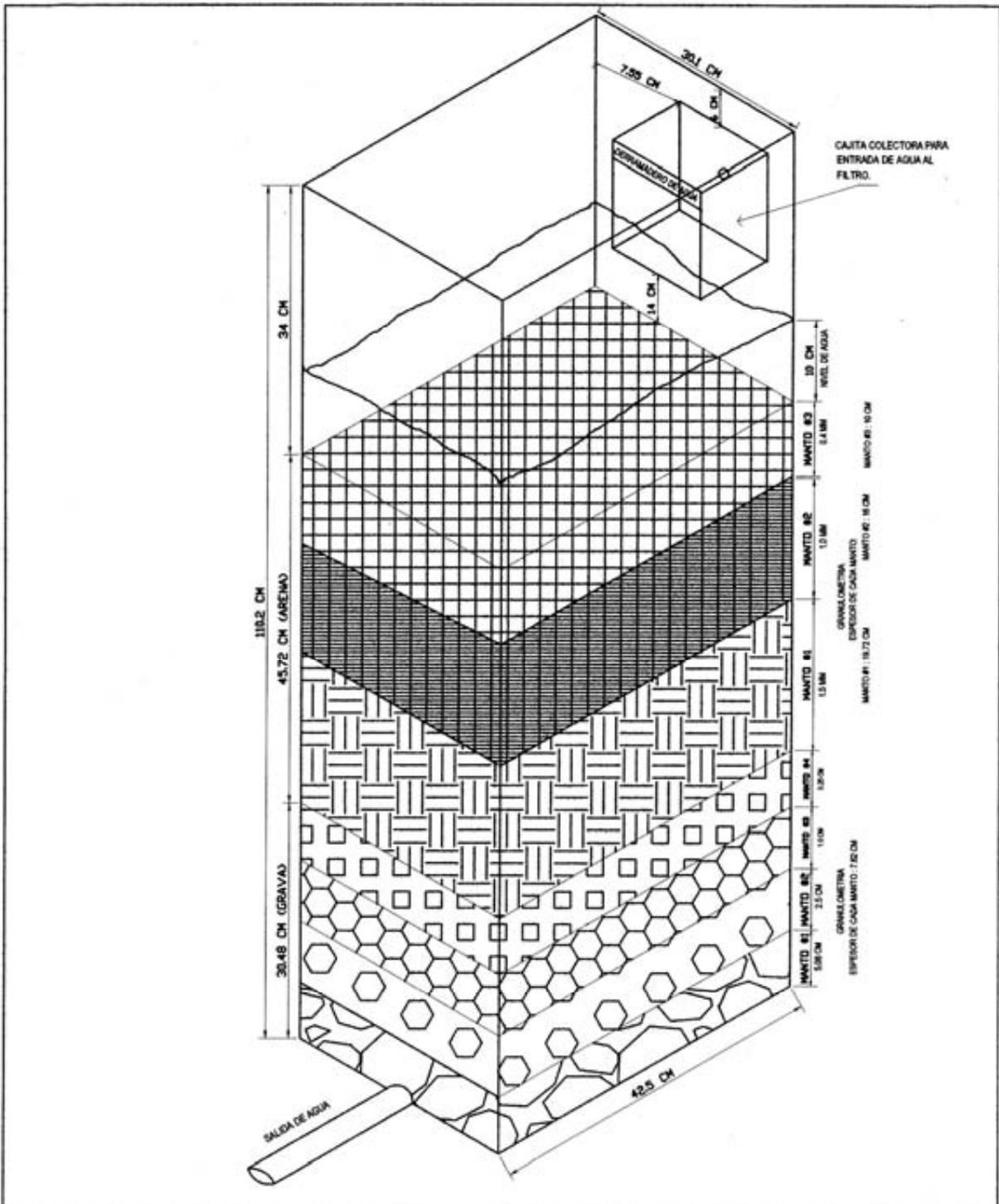


FIGURA 4.26 FILTRO DE ARENA (DISTRIBUCIÓN DE CAPAS DE ARENA Y GRAVA)		ACOT. CM
PROCESO: TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL AVANZADO.	DIBUJO J. Bernabé Colonieto Martínez	ESC 1:5:10

Material para el sistema de drenaje del filtro de arena.

Para el sistema se necesita tubo de PVC de 40 mm de diámetro, tubo de PVC de ½".

Material para la caja colectora de entrada al filtro.

Se requiere lámina de acrílico de 0.5 cm de espesor. (Figuras: 4.27 y 4.28).

Recipiente receptor de agua filtrada del filtro de arena.

El recipiente será de plástico común, para acondicionarlo, se le pondrá una válvula de PVC de ½" en un extremo en la parte inferior. Se utilizará una bomba para alimentar al recipiente de carga de los filtros de carbón. Esta bomba y la que alimenta al recipiente de carga del filtro de arena, son de tipo centrífugo.

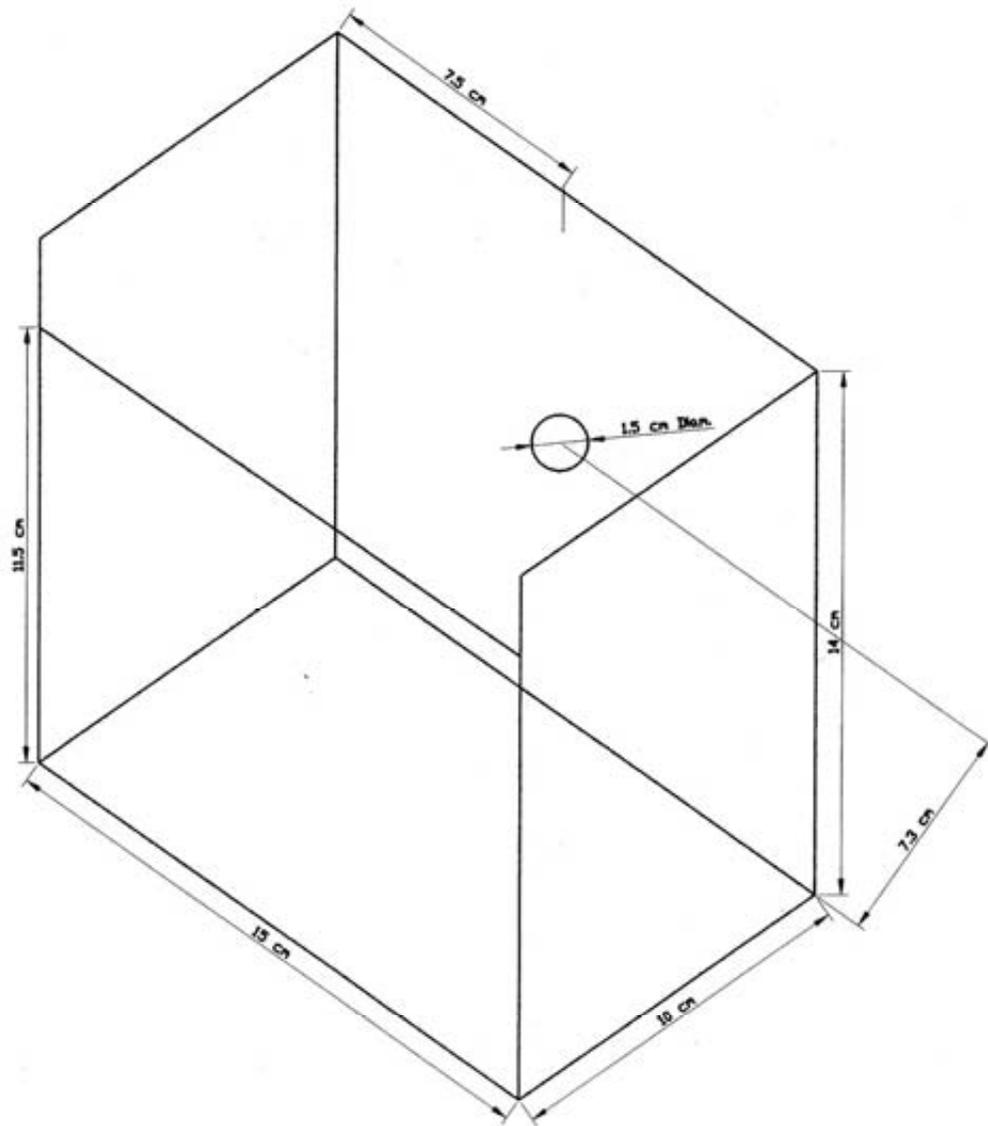


FIGURA 4.27 CAJITA COLECTORA DE ENTRADA AL FILTRO DE ARENA.

ACOT. CM

PROCESO:
TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL AVANZADO.

DIBUJO
J. Bernabé Cotonieto Martínez

ESC 6:10

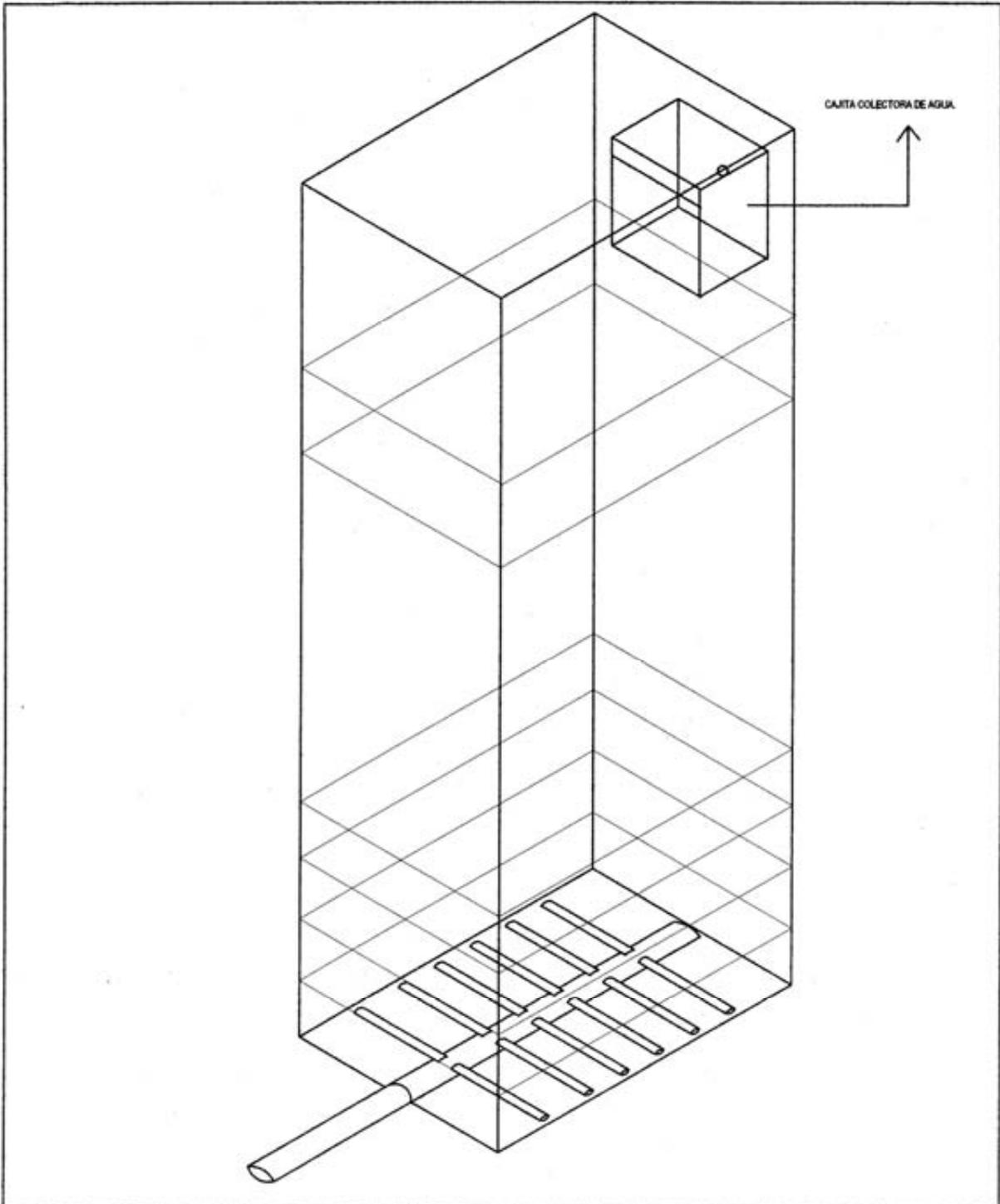


FIGURA 4.28 SISTEMA DE DRENAJE EN EL FILTRO DE ARENA Y CARITA COLECTORA DE AGUA.		ACOT. CM	
PROCESO: TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL AVANZADO.	DIBUJO J. Bernabé Cotonieto Martínez	ESC 1:5:10	

4.9 DISEÑO DE COLUMNAS DE ADSORCIÓN EXPERIMENTALES.

4.9.1 Consideraciones de diseño.

La finalidad de las columnas de carbón activo: es para eliminar en cantidades considerables el olor y el color que presenta el agua residual después de pasar por una serie de etapas de tratamiento. El dimensionamiento que se utiliza, es para tratar un flujo de 500 ml/min de agua residual ya tratada. Y para eso se toma en cuenta los datos de la bibliografía²³, se tiene que hacer debido a que no se tienen datos de laboratorio reales del agua a tratar. Por eso es experimental, para obtener datos importantes.

Datos de la bibliografía ²³.

Carbón activo

- 1) Con partículas de carbón que van de 0.2 - 4 mm, se obtienen velocidades de 0.5 gpm/ft³.
- 2) Cuando los lechos de 1.52 a 3.05 m, filtran agua a velocidades de 1.76 a 3.53 Lpm/m² (5 a 10 gpm/ft²), los tiempos de contacto son de 1.7 minutos con rendimientos de 50 al 90 % de las materias extractables del carbón por cloroformo (CCE).

4.9.2 Dimensionamiento de columnas.

Para empezar, se toma el valor más bajo de la velocidad de filtración con el valor de 5 gpm/ ft².

Cálculos

$$\frac{5 \text{ gpm}}{\text{ft}^2} = \frac{0.132 \text{ gpm}}{A} \qquad r^2 = \frac{0.0264 \text{ ft}^2}{3.1626}$$

$$A = \frac{0.132 \text{ gpm}}{5 \text{ gpm} / \text{ft}^2} \qquad A = 0.0264 \text{ ft}^2 \qquad r = 0.0916 \text{ ft}$$

$$A = \pi r^2 \qquad (0.0916 \text{ ft}) \left(\frac{30.48 \text{ cm}}{1 \text{ ft}} \right) = 2.79 \text{ cm}$$

Diámetro de la columna: $D = 5.58 \text{ cm}$. (a partir de $r = 0.0916 \text{ ft}$)

Tamaño de partícula de carbón a usarse es: 2.5 mm de diámetro con densidad de 0.4 gr/ml .

Cantidad de carbón a usar.

$$\text{Densidad} = 0.40 \text{ gr/ml} = 0.40 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Área de la sección del filtro} = 0.0264 \text{ ft}^2$$

$$V = Ah \qquad A: \text{área} \qquad h = 80 \text{ cm}$$

h : altura V : Volumen

$$(80 \text{ cm}) \left(\frac{1 \text{ ft}}{30.48 \text{ cm}} \right) = 2.62 \text{ ft}$$

$$V = (0.0264 \text{ ft}^2)(2.62 \text{ ft})$$

$$V = 0.069 \text{ ft}^3$$

$$\left(\frac{0.40 \text{ gr}}{\text{cm}^3} \right) \left(\frac{(30.48 \text{ cm})^3}{\text{ft}^3} \right) (0.069 \text{ ft}^3) = 781.54 \text{ gramos de carbón para una columna.}$$

Para las dos columnas es:

$$= 2(781.54 \text{ gramos})$$

$$= 1563.08 \text{ gramos, de carbón granular con diámetro de } 2.5 \text{ mm.}$$

Se va a utilizar una columna de 1.6 metros de longitud de puro lecho, pero se va a dividir en dos de 80 cm de longitud con diámetro de 5 cm ó aproximadamente. Cada columna va a llevar en la parte superior 20 cm libres, para expansión del lecho y sistema de conexión. En la parte de abajo va a llevar 20 cm libres para sistema de conexión y soporte.

4.9.3 Sistema de drenaje.

En la parte inferior lleva un soporte de acrílico de 5 mm de espesor, y una serie de orificios de 2.5 mm de diámetro. Los orificios son para que pase el agua y al mismo tiempo no se pasen las partículas de arena. En la parte superior e inferior del filtro lleva un tapón del mismo material, el superior

es para que ahí se alimente el agua que pasará por el lecho de carbón, el tapón inferior para que el agua salga ya tratada.

En la parte inferior el filtro llevará 4 capas de arena para evitar que el carbón salga junto con el agua.

Datos finales del filtro de carbón.

Longitud: 120 cm.
 Diámetro: 5 cm.
 Longitud de lecho = 80 cm.
 Material: Vidrio pyrex.
 Entrada y salida del filtro:
 Tubo de 1/2" diámetro.
 Material tubo: PVC.

Soporte (placa circular en el fondo):
 Diámetro: 4.8 cm.
 Espesor: 5mm.
 Material: Acrílico transparente.
 barrenos en el soporte con
 diámetro: 2.5 mm.

Tabla 4.5 Granulometría de arena.

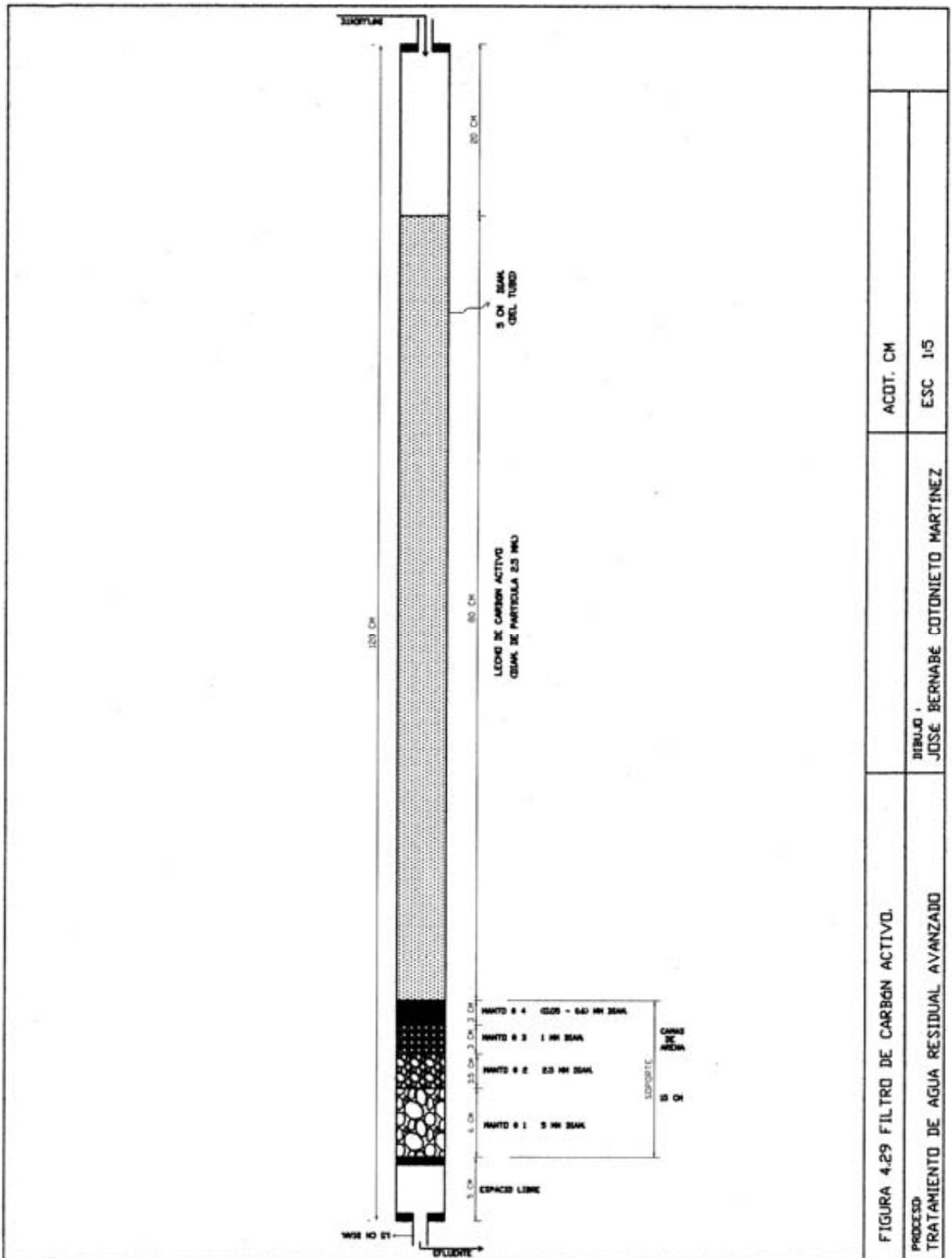
Tapón superior e inferior:
 Diámetro: 4.8 cm.
 Diámetro de barreno: 1.5 cm.
 Espesor: 5 mm.
 Material: Acrílico transparente.
 Espacio libre en el fondo: 5 cm.

Manto (#)	Tamaño de Partícula(mm)	Espesor De Manto(cm)
1	5.0	6.0
2	2.5	3.5
3	1.0	3.0
4	0.4	2.5

Todos los datos anteriores funcionan para la segunda columna, por que son iguales. Se conectarán en serie, una enseguida de la otra para que esté el agua más tiempo en contacto con el carbón y sea más eficiente el sistema de tratamiento. (Figura 4.29)

Recipiente de carga de agua de filtro de carbón.

En uno de los extremos y en la parte inferior se coloca una válvula de paso de PVC de 1/2" para alimentar a los filtros de carbón. Para recibir agua en el recipiente de carga, se tiene que colocar un pedazo de tubo de PVC de 1/2" en la parte posterior del recipiente y en la parte superior, el recipiente es de plástico común.



4.9.4 Material y características de las columnas de adsorción.

Se necesitan 2 tramos de tubo de vidrio pyrex de 5 cm de diámetro y longitud de 120 cm y los extremos deben estar fundidos para que no corten, y 5 cm hacia adentro se le hace una endidura alrededor. La cual va hacia adentro para que se forme un borde interior, para que sirva de tope y detenga el lecho por medio de un soporte. (Figura 4.29)

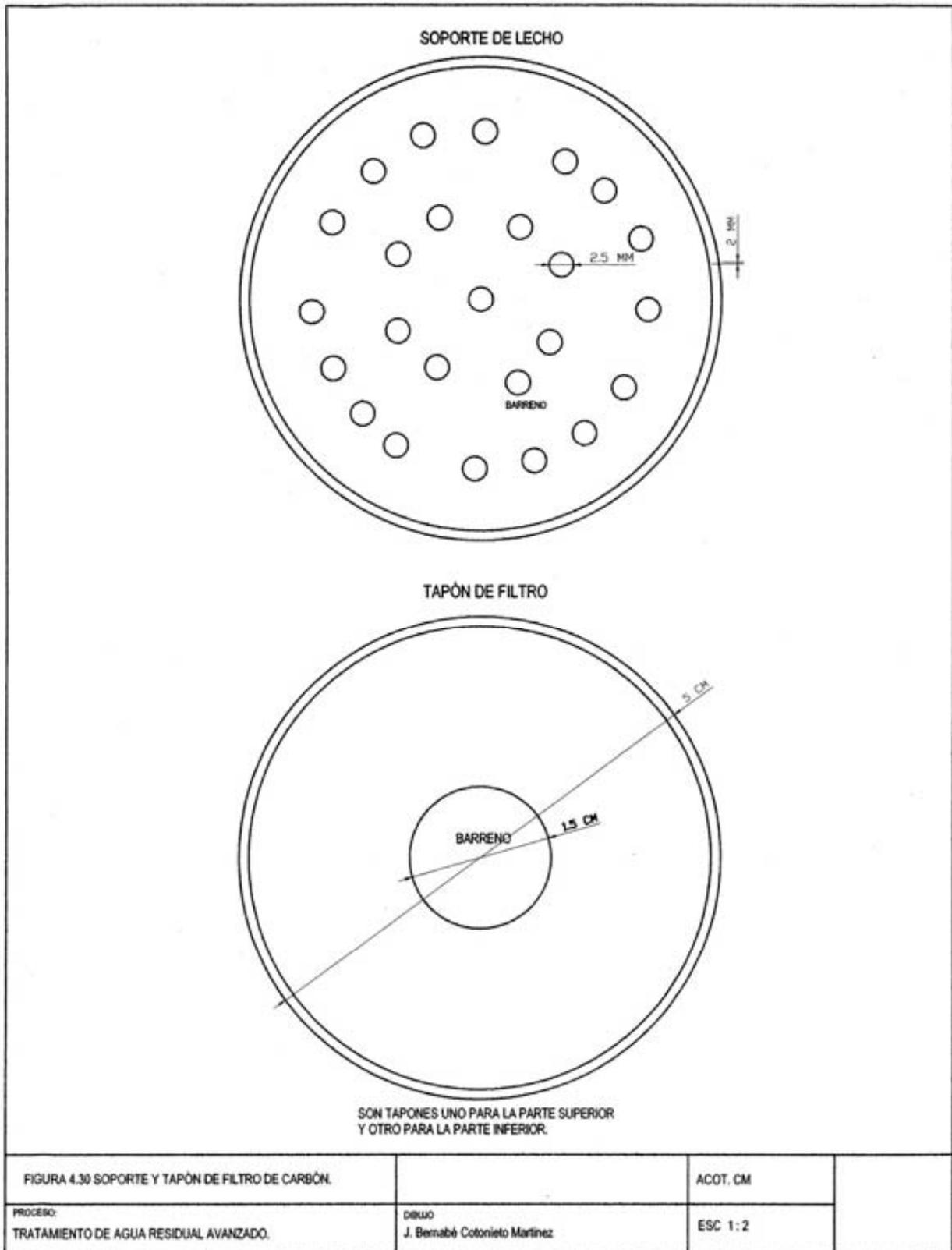
Lo anterior se hace en las dos columnas, también se requiere 4 tapas de acrílico con un diámetro de 5 cm espesor de 5 mm, un orificio central de 1.5 cm de diámetro en cada uno de estos orificios se coloca un pedazo de tubo de PVC de ½". (Figura 4.30)

Se requieren dos soportes circulares de acrílico de 5 cm de diámetro y se colocarán varios orificios de 2.5 mm de diámetro, como se muestra en el dibujo. La finalidad es formar lechos para retener el carbón activo, primero se agrega grava de 5 mm de diámetro, hasta la altura de 6 cm. El segundo lecho es de arena de 2.5 mm de diámetro y una altura de lecho de 3.5 cm, después se agrega arena de 1 milímetro de diámetro y una altura de 3 cm Y por último se agrega arena con diámetro entre 0.05 y 0.6 mm y una altura de 2.5 cm.

Al final se agrega carbón activo que tiene 2.5 mm de diámetro y una altura de lecho de 80 cm. Se coloca una columna más alta que la otra para que el agua llegue por gravedad a la segunda.

Tina receptora de agua filtrada de filtros de carbón.

Esta tina será de plástico común y corriente, se colocará a la salida de los filtros de carbón, para recibir el agua filtrada.



CONCLUSIONES

Se pretende obtener un rendimiento del 90 % en general para todo el tren de dispositivos que conforman el prototipo a implementar en un futuro si es que se llevara a cabo la construcción. Este rendimiento es basado en cada etapa de tratamiento como; digestión biológica donde se obtiene un 90 % en la reducción de la DBO del agua residual, cloración de acuerdo a la cantidad hipoclorito de sodio (0.79 ml/40 min.) se espera un 100 % en la eliminación de gérmenes además de que influye también la geometría del recipiente para tal resultado.

En la etapa de filtración de arena de acuerdo a especificaciones de la bibliografía ²⁰ y de acuerdo a la distribución de materiales filtrantes (arena y grava) y a la geometría del recipiente se espera una eficiencia del (90 al 100) % en la eliminación de sólidos del agua. En la etapa de filtración por carbón activo se espera un rendimiento del 90% en la eliminación de partículas coloidales que dan coloración al agua. Esto se basa en recomendaciones descritas en la bibliografía ²³.

Si se llevara a cabo la construcción se podría comprobar cada uno de los resultados o por lo menos una aproximación, se utilizaría agua residual de la F.E.S. Cuautitlán 1, además se podrían obtener datos fisicoquímicos (DBO, DQO, OD, sólidos suspendidos, etc.). Y si se utilizará agua residual de la F.E.S.C. 1 serían más confiables los datos para utilizarlos en la construcción de una planta para tratar los efluentes de la escuela. Algunos datos como; tiempos de sedimentación de sólidos y flóculos se llevaron a cabo en el laboratorio de tratamiento de aguas de F.E.S.C.1 y fueron retomados como referencia.

El agua se utilizaría para riego de jardines y limpieza de sanitarios, pisos, además realizar ensayos en campos agrícolas en la F.E.S. Campo 4, también serviría para que estudiantes de las áreas de química llevaran a cabo prácticas de laboratorio sobre análisis de aguas.

NOMENCLATURA DE TÉRMINOS

Floculación: Aglutinación de partículas sólidas y que forman grumos más pesados que el agua precipitándose.

Anular: Relativo al anillo o que tiene su figura.

Drenar: Desalojar líquidos o sólidos de algún recipiente.

Difusor: Objeto en forma de cilindro poroso o tubo delgado con perforaciones para inyectar aire uniformemente en agua residual.

Mampara o deflector: Pared para dividir en dos o más espacios un recipiente y que sirve para crear turbulencias en el agua residual.

Tamizar: Partículas separadas a diferentes diámetros por medio de mallas.

Tamices: Mallas mecánicas o plásticas con diferente tamaño de orificio para separar partículas sólidas de diferente tamaño.

Mgd: Millón de galones por día.

Absorber: Gas que se retiene en el interior de un líquido.

Adsorber: Gas o partículas coloidales que se adhieren fuertemente en los poros de un sólido.

Ssvlm: Sólidos suspendidos volátiles del líquido mezcla.

Sslm: Sólidos suspendidos del líquido mezcla.

F_d: Factor de fricción de Darcy.

F_f: Factor de fricción de fanning.

Patógenos hídricos: Microorganismos que existen en aguas residuales y que causan enfermedades.

Antracita: Partículas pequeñas de carbón fósil, utilizadas para eliminar partículas coloidales de las aguas residuales.

Diatomácea: Sólidos compuestos a base de organismos unicelulares de dimensiones variables, de entre 2 μ y 20 μ . Su principal característica es la presentación de un caparazón silíceo depositado sobre la pared celular.

Adsorbato: Sustancia que se fija físicamente a la superficie de otra sustancia sólida.

Coagulación: Aglomeración de partículas en suspensión.

CCE: Materiales extractables del carbón por cloroformo.

Carbón activo: Carbón pulverizado o granular con propiedades físicas para adsorber polvos o partículas coloidales en suspensión.

PPM: Partes por millón.

DBO₅: Demanda bioquímica de oxígeno determinado a los 5 días.

Achaflanar: Hacer plana la unión interna que forma, (unión entre paredes a 90°, y que son las laterales).

ABS: Siglas del inglés para referirse al copolímero que se fabrica con acrilonitrilo, butadieno y estireno y que tiene mejores propiedades físicas y químicas que el tradicional poliestireno.

PVC: Cloruro de polivinilo.

Algicida: Sustancia que impide el crecimiento o que destruye las algas; cloro, hipocloritos, sulfato de cobre, etc.

Viricida: Agente químico o físico capaz de destruir virus.

Gasto: Es la relación que hay entre el volumen de líquido que fluye por un conducto y el tiempo que tarda en fluir. $G = V/t$

Múltiple: Tubería por donde sale el agua filtrada, generalmente se construye de un diámetro más o menos grande y que forma parte del sistema de drenaje de un filtro de arena.

Laterales: Tubos de diámetro menor al múltiple que se soldan o incrustan a las orillas del múltiple y que se encargan de captar el agua filtrada y mandarla al múltiple para concentrarse en volúmenes grandes.

Saran: Tela con que se cubren los difusores de aire para inyectar aire a los reactores biológicos, la tela esta hecha de material plástico en forma de malla con tamaño de poro pequeño para que el aire se difunda a través de las aguas residuales en forma uniforme.

BIBLIOGRAFÍA

1. Francis Unda Opazo, Sergio M. Salinas Cordero, Ingeniería Sanitaria Aplicada a Saneamiento y Salud Pública, Editorial Limusa, México, D.F., 2000.
2. Mendoza Roca José Antonio, María Teresa Montañés Sanjuán, Antonio Eduardo Palomares Gimeno, Ciencia y Tecnología del Medio Ambiente, Editorial Servicio de publicaciones, España, Valencia, 1998.
3. De Pablo Ribas Joan, Ramón Sans Fonfría, Ingeniería Ambiental Contaminación y Tratamientos, Editorial Alfa Omega Marcombo, Colombia, Bogota, 1999.
4. Arboleda Valencia Jorge, Arnul Rendón Soto, Teoría y Práctica de la purificación del Agua, Volumen I, Editorial McGraw-Hill, Colombia, Bogota, 2000.
5. Capurro S. Luis F., Ricardo Vergara R., Presente y Futuro del Medio Humano, Editorial, Continental, México, D.F., 1975.
6. Arboleda Valencia Jorge, Arnul Rendón Soto, Teoría y Práctica de la purificación del Agua, Volumen II, Editorial McGraw-Hill, Colombia, Bogota, 2000.
7. T.H., Tebbutt, Fundamentos de Control de Calidad del Agua, Editorial Limusa, México, D.F., 1999.
8. H. Ferrero José, Depuración Biológica de las Aguas, Editorial Alhambra, España, Madrid, 1974.
9. Romero Rojas Jairo A., Potabilización del Agua, Editorial Alfaomega Grupo Editor, México, D.F., 1999.

10. Rigola Lapeña Miguel, Tratamiento de Aguas Industriales Aguas de Proceso y Residuales, Editorial Alfaomega Grupo Editor, Colombia, Bogota, 1999.
11. Gray N.F., Calidad del Agua Potable Problemas y Soluciones, Editorial Acribia, España, Zaragoza, 1994.
12. A. Winkler Michael, Tratamiento Biológico de Aguas de Desecho, Editorial Limusa, México, D.F., 1999.
13. Seoanez Calvo Mariano, Aguas Residuales Urbanas Tratamientos Naturales de Bajo Costo y Aprovechamiento, Editorial Ediciones Mundi-Prensa, España, Madrid, 1999.
14. McCallion John, N. Frank Kemmer, Manual del Agua, su Naturaleza, Tratamiento y Aplicaciones, Volumen I, Editorial, McGraw Hill, México, D.F. 1990.
15. McCallion John, N. Frank Kemmer, Manual del Agua, su Naturaleza, Tratamiento y Aplicaciones, Volumen II, Editorial, McGraw Hill, México, D.F. 1990.
16. McCallion John, N. Frank Kemmer, Manual del Agua, su Naturaleza, Tratamiento y Aplicaciones, Volumen III, Editorial, McGraw Hill, México, D.F. 1990.
17. Zepeda C. Sergio, Manual de Instalaciones Hidráulicas, Sanitarias, Gas, Aire Comprimido y Vapor, Editorial, Limusa, México, D.F. 1995.
18. Valiente Barderas Antonio, Problemas de Flujo de Fluidos, Editorial Limusa, México, D.F. 1990.
19. Herman E. Hilleboe, Manual de Tratamiento de aguas Negras, Editorial, Limusa, México, D.F. 1976.
20. Hardenberg W.A., B. Rodie Edward, Ingeniería Sanitaria, Editorial, Continental, México, D.F., 1975

21. Metcalf-Eddy, Tratamiento y Depuración de las aguas residuales, Editorial, Labor, España, Madrid, 1981.
22. Maskew Fair Gordon, Geyer John Charles, Okun Daniel Alexander, Ingeniería Sanitaria y de Aguas Residuales, Purificación de Aguas y Tratamiento y Remoción de Aguas Residuales, Tomo III, Editorial, Limusa, S.A. México, D.F. 1988.
23. Maskew Fair Gordon, Geyer John Charles, Okun Daniel Alexander, Ingeniería Sanitaria y de Aguas Residuales, Purificación de Aguas y Tratamiento y Remoción de Aguas Residuales, Tomo II, Editorial, Limusa, S.A. México, D.F. 1988.
24. www.es.wikibooks.org/wiki/Ingenier%C3%ADa_de_aguas_residuales/desinfecci%C3%B3n_de_las_aguas_residuales.
Ingeniería de Aguas Residuales/Desinfección de las aguas residuales,
24 de noviembre del 2006.
25. www.prodigyweb.net.mx/bservin/aguas_residuales.html, Tratamiento de Aguas Residuales. Bernardo Servin Massieu, 2008.