



# **UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN ARQUITECTURA**

**CAMPO DE CONOCIMIENTO: TECNOLOGÍA**

**AGUAS GRISAS: RECOLECCIÓN, TRATAMIENTO, USO E INTEGRACIÓN EN  
LA EDIFICACIÓN HABITACIONAL**

**TESIS**

**QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE MAESTRO EN  
ARQUITECTURA**

**PRESENTA**

**JULIO CESAR OCHOA JIMÉNEZ**

**TUTOR**

**MTRO. SERGIO ALFONSO MARTÍNEZ GONZÁLEZ  
UNAM FES ARAGON**

**SINODALES**

**M. EN ARQ. FRANCISCO REYNA GÓMEZ  
FACULTAD DE ARQUITECTURA**

**M. EN ARQ. ENRIQUE BONIFACIO GALLARDO AMADOR  
FES ARAGÓN**

**DR. MIGUEL ARZATE PÉREZ  
FACULTAD DE ARQUITECTURA**

**M. EN ING. MARIO SOSA RODRÍGUEZ  
FES ARAGÓN**

**MÉXICO, D.F. NOVIEMBRE 2012**



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.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



**AGUAS GRISES: RECOLECCIÓN, TRATAMIENTO, USO  
E INTEGRACIÓN EN LA EDIFICACIÓN HABITACIONAL**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN  
ARQUITECTURA PRESENTA**

**JULIO CESAR OCHOA JIMÉNEZ**

**PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN ARQUITECTURA  
CAMPO DE CONOCIMIENTO: TECNOLOGÍA**



**INSTITUTO  
DE INVESTIGACIONES  
HISTÓRICAS**

NOVIEMBRE 2012

## **JURADO**

### **DIRECTOR DE TESIS**

MTRO. SERGIO ALFONSO MARTÍNEZ GONZÁLEZ

### **SINODALES**

M. EN ARQ. FRANCISCO REYNA GÓMEZ  
M. EN ARQ. ENRIQUE BONIFACIO GALLARDO AMADOR  
DR. MIGUEL ARZATE PÉREZ  
M. EN ING. MARIO SOSA RODRÍGUEZ

## **AGRADECIMIENTOS**

**A mis padres**

**Por ese amor, comprensión, confianza y apoyo que me brindan día a día. Arturo y María**

**A la UNAM**

**Por brindarme la oportunidad de superación y poder cumplir con este reto**

**Al Mtro. Serio Alfonso Martínez**

**Por su apoyo, paciencia y por compartir sus valiosos conocimientos, experiencia e interés en la realización de este trabajo.**

**Al Mtro. Francisco Reyna**

**Por su dedicación y gran riqueza de conocimientos que comparte con sus alumnos.**

**A los miembros del jurado**

**Por su apoyo para la realización de este documento**

**A mis profesores**

**Por la formación académica brindada**

**A mis amigos**

**Nallely, Lilia, Nydia, Aldo, Alejandro Castellanos, Giovanni y todos aquellos que compartieron conmigo la trayectoria por una de las mejores etapas de la vida.**



## Contenido

Introducción.....	iv
Objetivo.....	vii
Metodología.....	vii
Hipótesis.....	viii
1. ANTECEDENTES.....	1
1.1. El agua potable.....	1
1.1.1. El agua en México.....	4
1.1.1.1. La Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM).....	7
1.2. Calidad del agua potable.....	10
1.2.1. El agua y sus componentes.....	10
1.2.2. Determinaciones analíticas.....	11
1.2.3. Evaluación de la calidad del agua.....	16
1.3. Uso del agua potable.....	18
1.3.1. Uso para abastecimiento público.....	21
1.4. Historia del manejo de las aguas residuales.....	23
1.5. Características de las aguas residuales.....	26
1.5.1. Contaminantes presentes en las aguas residuales.....	28
1.5.2. Aguas Grises.....	31
1.6. Reglamentación y normatividad del agua.....	32
1.7. Métodos de tratamiento de las aguas residuales.....	34
1.7.1. Fases del proceso de tratamiento.....	35
1.7.1.1. Tratamiento Preliminar ó Pretratamiento.....	35
1.7.1.2. Tratamiento Primario.....	36
1.7.1.3. Tratamiento Secundario o Biológico.....	41
1.7.1.4. Tratamiento Terciario.....	41
1.7.2. Los Métodos de Depuración Blandos.....	41
1.7.3. Tratamiento primario avanzado (CEPT - TPA).....	43
1.7.4. Filtración.....	44
1.7.4.1. Mecanismos de filtración.....	45



1.7.4.2.	Factores que influyen en la filtración.....	48
1.7.4.3.	Características del medio filtrante .....	48
1.7.5.	La desinfección.....	49
1.7.5.1.	Cloración .....	50
1.7.5.2.	Cloraminación .....	51
1.7.5.3.	Ozonización .....	52
1.7.5.4.	Permanganato potásico .....	52
1.7.5.5.	Peróxido de hidrógeno.....	52
1.7.5.6.	Bromo y sales de plata y cobre .....	52
1.7.5.7.	Radiación ultravioleta .....	52
1.7.5.8.	Carbón Activado.....	53
1.8.	Uso del agua tratada .....	55
1.9.	Plantas de tratamiento de aguas residuales municipales.....	58
2.	CASO DE ESTUDIO .....	69
2.1.	Planteamiento del tema.....	69
2.2.	Descripción de la zona. ....	72
2.3.	Descripción de la edificación para aplicación del sistema .....	75
3.	PROPUESTA DE DISEÑO .....	81
3.1.	Selección del sistema de tratamiento.....	81
3.2.	Calidad de las aguas grises.....	82
3.3.	Gastos de diseño .....	82
3.3.1.	Gasto de diseño a la entrada del sistema .....	83
3.3.2.	Gasto requerido para los usos propuestos del sistema .....	86
3.3.3.	Gastos del caso de estudio.....	90
3.4.	Propuesta de diseño del tren de tratamiento.....	91
3.4.1.	Tamizado .....	93
3.4.2.	Sedimentador o filtración gruesa.....	96
3.4.2.1.	Sedimentador.....	96
3.4.2.2.	Filtración gruesa.....	102
3.4.3.	Tratamiento primario avanzado .....	107
3.4.3.1.	Efecto de la coagulación en el comportamiento de un FGA.....	110



3.4.4.	Filtro lento de Arena .....	111
3.4.5.	Desinfección .....	120
3.4.5.1.	Carbón activado .....	120
3.4.5.2.	Cloración .....	123
3.4.6.	Aireación .....	127
3.5.	Integración del diseño en la edificación.....	128
	Conclusiones .....	134
	Apéndices.....	A-1
A.	Tabla de dotaciones NTC-RCDF 04 .....	A-1
B.	Encuesta .....	A-3
C.	Resumen de respuestas de la encuesta .....	A-5
D.	Detalles de malla de filtrado .....	A-11
E.	Recomendaciones constructivas generales .....	A-13
F.	Manual de operación y mantenimiento .....	A-14
F.1.	Tamizado .....	A-14
F.2.	CPTA-TPA.....	A-14
F.3.	Filtro grueso de grava (FGA) .....	A-15
F.4.	Filtro lento de arena.....	A-16
F.5.	Filtro de carbón activado .....	A-18
F.6.	Clorador.....	A-18
F.7.	Tanques de almacenamiento .....	A-19
G.	Costos de construcción del sistema .....	A-20
H.	Costos de mantenimiento .....	A-24
	Bibliografía .....	A-25





## Introducción

El agua se encuentra presente en numerosas actividades de la vida cotidiana (alimentación, trabajo, higiene, recreo, etc.) es utilizada en todo momento, pero, no puede ni debe olvidarse que es un recurso escaso, el cual se tiene que cuidar y utilizar de forma adecuada.

Cuando se refiere al agua potable se debe saber que es aquella que, bien en su estado natural o después de un tratamiento adecuado, se puede consumir o beber sin que se ponga en riesgo la salud. En general debe ser incolora, inodora, insípida, libre de microorganismos patógenos y de sustancias químicas dañinas.

La escasez de agua potable genera un índice a nivel mundial que se conoce como grado de presión hidrológico, este índice es alarmante y más aún, va en incremento, notándose de gran manera en las ciudades superpobladas, sea porque no cuentan con zonas de explotación propia o porque importa el agua de áreas aledañas provocando con esto un descontento social y un desequilibrio ecológico en las zonas de extracción del recurso.

Ante la escasez de agua se puede señalar una gran paradoja: si bien es el compuesto más abundante en el planeta también es el más escaso, esto debido a su distribución geográfica, ya que se concentra en las zonas templadas y en los trópicos húmedos y escasea en muchas zonas, como África, Medio Oriente, y en muchas ocasiones dentro de un mismo país se encuentran zonas con abundancia del recurso hídrico y zonas donde la escasez se llega a considerar como sequía.



Imagen 1. Escasez de agua. imagen tomada del sitio puritronic: <http://www.puritronic.com.mx> (Fecha de actualización: (5 de mayo del 2012)

Los organismos mundiales consideran que un país con escasez de agua es aquel que cuenta con menos de 1.000 m<sup>3</sup> disponibles por habitante por año y los países con 1.000 a 1.700 m<sup>3</sup> por persona por año se dice que viven en estado de estrés hídrico.

El problema del estrés hídrico va en incremento a medida que aumenta la población y se intensifica el uso de agua para los diversos usos, la escasez va convirtiéndose rápidamente en algo cada vez más habitual a nivel mundial, si a esto se le suma los efectos del calentamiento global que está provocando modificaciones en el clima y por lo tanto cambios en el ciclo hidrológico y distribución del agua a nivel mundial, se va acentuado en muchas partes del mundo provocando que aumenten los niveles de estrés llegando al grado de sequía.

México enfrenta actualmente graves problemas de disponibilidad, desperdicio y contaminación del agua. Las fuentes, los manantiales, las cuencas o cañadas están en acelerada vía de extinción, hay cambios de clima y de suelo, inundaciones, sequías y desertización, y estos problemas presentan una tendencia de incremento, acentuándose al no buscar soluciones a largo plazo, o en el caso de algunos gobiernos a ignorar o minimizar esta gran problemática.

México es considerado un país con estrés hídrico moderado, sin embargo no todo el país vive la situación de manera igual, mientras que en el sur se cuenta con 25,843 m<sup>3</sup> de agua por habitante



al año, en el centro es decir la región correspondiente a la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) se cuenta con solo 190 m<sup>3</sup> de agua por habitante al año, por lo cual la ZMVM se considera como la zona de mayor escasez de agua.

El abastecimiento de agua potable a la ZMVM ha sido siempre un problema de vital importancia desde épocas pasadas, y hoy más que nunca ejemplifica los retos que se presentan debido al alto nivel de estrés hídrico que vive. La demanda de agua para los más de 20 millones de personas que habitan en el área, significan un desafío formidable para quienes tienen la responsabilidad de abastecer a esta población. Como el agua superficial en la Cuenca de México es escasa, la principal fuente de abastecimiento para la ciudad es el Acuífero de la Ciudad de México, localizado en el subsuelo del área metropolitana. Aunque el volumen de agua almacenada es muy grande, su calidad es susceptible de sufrir un serio deterioro, debido a la permanente actividad que tiene lugar sobre el acuífero, amén de los problemas que ocasiona la sobreexplotación del agua del acuífero relacionados con el hundimiento del suelo.

Debido a la sobrepoblación que presenta la ZMVM la demanda de agua es superior a la que se extrae de la cuenca lo cual obliga al gobierno a sobreexplotar el manto acuífero deteriorando a un más la calidad del agua, y a importar agua de otras cuencas para cubrir las necesidades. Esto implica un gasto energético enorme aparte de afectar la zona de donde se importe el agua tanto física como socialmente al reducir la dotación de la zona afectada y la calidad de vida de las personas, generando conflictos por el control del recurso.

Los principales usos que el hombre hace del agua son domésticos, industriales y agrícolas. En todos ellos, cuando el agua después de ser utilizada retorna al ambiente, lo hace siempre como agua residual, ya que contiene sustancias extrañas o formas de energía que modifican su calidad.

En este marco el consumo de agua potable para los diversos usos domésticos se denota como dotación, que es la cantidad de agua que se consume en promedio durante el día por una persona, esta será la cantidad de agua que el gobierno tienen que garantizar para que la población realice sus actividades cotidianas.

Dentro de la dotación los rubros generales considerados son:

- ❖ Aseo corporal,
- ❖ Descarga del excusado
- ❖ Bebida
- ❖ Lavado de ropa
- ❖ Riego de patios y jardines
- ❖ Limpieza general
- ❖ Cocina
- ❖ Lavado de automóviles

En este punto es donde se establece la diferencia de la calidad del agua necesaria para cada una de las actividades donde algunas requieren agua potable y otras se pueden realizar con agua tratada o no potable siempre y cuando ésta cumpla con los requerimientos presentados en la norma que aplique a cada uno de los usos del agua.

En este trabajo se trata de aprovechar la facilidad con la que se realiza la división de las aguas residuales domésticas<sup>1</sup> en aguas negras y aguas grises, conjugado con la diferencia de calidad de agua que se requiere para cada una de las actividades del hogar (agua potable y agua no potable).

---

<sup>1</sup> Las aguas residuales, principalmente las domésticas se pueden subdividir en aguas negras (procedentes de los inodoros, con materia fecal) y aguas grises (procedentes de lavados en general como: cocinas, lavamanos, duchas, conteniendo detergentes, restos de alimentos, materia orgánica y otros contaminantes).



Se aprovechan estos factores para reducir los contaminantes presentes en el agua a tratar facilitando el tratamiento para esa fracción de agua.

Siguiendo el principio de la separación de las aguas residuales por tipo de contaminante, el tratamiento se simplifica. Siendo esta simplificación en operaciones y procesos unitarios, y por lo tanto en el costo y espacio necesario para el sistema de tratamiento.

Por lo que en este trabajo se presenta la evaluación de la factibilidad de instalar un sistema de tratamiento de aguas grises en la edificación habitacional, con tecnología de bajo costo, apropiada al medio urbano y a la edificación tipo de los habitantes de la zona de Cd. Nezahualcóyotl. Pensado desde la concepción de la edificación con un criterio de diseño sustentable.

El sistema que se propone debe de proporcionar la calidad de agua que satisfaga la norma NOM-003-SEMARNAT-1997 la cual establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público. Asimismo, la tecnología que contenga el tren de tratamiento deberá ser no solo eficiente si no económica y sencilla en su manejo<sup>2</sup>.

Dicho sistema de tratamiento permitirá darle más de un uso al agua que suministra la red municipal, esto logrado a través del uso discriminatorio de calidad del compuesto, de acuerdo a las distintas actividades que se dan dentro de la edificación habitacional.

Cumpliendo con lo anteriormente explicado, este trabajo tiene la siguiente estructura.

Capítulo 1 Antecedentes: en este capítulo se desarrolla el marco contextual del agua potable desde un punto de vista mundial hasta un nivel de la ZMVM. También se aborda la calidad del agua potable, como se determina está y los distintos usos para los que se utiliza el agua.

En este capítulo además se abordan las aguas residuales presentando los distintos tratamientos de aguas, dividiéndolos en procesos y operaciones unitarias, asimismo, muestra los distintos usos que tiene el agua tratada y la normatividad que rige de acuerdo al uso que se le quiera dar al agua.

Capítulo 2 Caso de estudio: en este capítulo se trata específicamente la caracterización de la zona de estudio, abarcando desde datos relevantes del municipio de cd. Nezahualcóyotl hasta la edificación tipo, presentando las características del proyecto arquitectónico para concatenar el sistema de tratamiento.

Capítulo 3 Propuesta de diseño: en este capítulo se lleva a cabo la selección del sistema de tratamiento y la caracterización de las aguas grises de la edificación, de esta manera, se calculan los gastos de la edificación de acuerdo a la normatividad, a un cuestionario que se realiza para la obtención de datos relevantes, a la investigación bibliográfica y al proyecto arquitectónico propio de la edificación.

Además en este capítulo se lleva a cabo el cálculo del sistema de tratamiento propuesto, presentando detalles de cada proceso y operación del sistema, también se integran los planos y detalles correspondientes a la integración del sistema a la edificación

En el capítulo de conclusiones se presenta la síntesis del estudio bibliográfico con resultados propios elaborados en la investigación.

Por último se presentan los apéndices con datos que sirvieron de base para el desarrollo de este trabajo de investigación.

---

<sup>2</sup> El propósito es que el usuario final, sea capaz de manejar y dar mantenimiento menor al sistema.



## Objetivo

### General

- Diseñar un sistema de tratamiento de aguas grises, aplicable en la edificación habitacional en un área urbana de nivel socioeconómico medio, para generar un ahorro considerable del agua potable que se consume en las actividades cotidianas.

### Particulares

- Describir la problemática del agua potable.
- Diferenciar los usos del agua, así como la calidad requerida de acuerdo a las distintas actividades consuntivas dentro de la edificación habitacional.
- Proponer un tren de tratamiento de modo que el usuario final sea capaz de mantenerlo operando y realizar el mantenimiento.
- Diseñar un tren de tratamiento para eliminar los contaminantes presentes en las aguas grises que cumpla con la normatividad aplicable.
- Concatenar al diseño de la edificación habitacional el sistema de captación y tratamiento de aguas grises.
- Fomentar el uso eficiente del agua que se utiliza dentro de la edificación habitacional.
- Ampliar la bibliografía referente al reuso del recurso hídrico a nivel habitacional urbano

## Metodología

Primeramente es establecido el estado del arte mediante la investigación de tipo bibliohemerográfico, donde se realizó la recolección de datos haciendo uso de libros, folletos, revistas, páginas de internet y cualquier otro tipo de información impresa y electrónica, pertinente al tema de investigación.

Posteriormente la información recopilada se analizó y sistematizó, de tal forma que permitió tener una visión sistémica del fenómeno que se investigó. Al llevar a cabo este análisis se pudieron establecer datos importantes sobre el agua potable y agua tratada. En esta etapa es importante resaltar que se encontró una escasa bibliografía referente al tema de estudio (Aguas grises: recolección, tratamiento, uso e integración en la edificación habitacional), ya que la mayoría de la información obtenida está enfocada a plantas de tratamiento de aguas residuales municipales e industriales, de gran caudal y con altos índices de contaminación, y en contraparte se encontraron datos referente a poblaciones pequeñas y a nivel habitacional aplicadas en un área rural.

Los datos obtenidos en esta primera etapa se utilizaron para contextualizar el problema del desabasto de agua potable en la ZMVM, para caracterizar el agua potable, las aguas residuales y las aguas grises, además se analizó la reglamentación y normatividad en materia de agua,



asimismo, se investigaron los tratamientos preliminares, primarios, secundarios, terciarios, el tratamiento primario avanzado, los métodos de filtración y desinfección.

Con el análisis de los métodos de tratamiento se obtuvo un panorama amplio de las tecnologías y técnicas que son posibles de aplicar en el tratamiento de aguas grises dentro de la edificación habitacional en la ZMVM.

Posteriormente se realizó una investigación bibliohemerográfico y de campo, referente a la factibilidad de selección del caso de estudio, por lo cual se visitó el Palacio municipal de ciudad Nezahualcóyotl para corroborar el uso de suelo, así como, la cantidad de área ocupada por el rubro habitacional en el municipio y el nivel socioeconómico que tiene la población, entre otros datos que se presentan en el tema 2.2., asimismo, se investigó si existe en el municipio alguna normatividad local referente al tema en estudio, encontrándose que no se cuenta con ninguna norma. Resultando en esta etapa la delimitación de la zona de estudio.

A continuación ya comprobada la factibilidad de la zona, se procedió a seleccionar el caso de estudio, eligiendo un lote de 215 m<sup>2</sup>, creándose un proyecto arquitectónico, en el cual se implementó el sistema de tratamiento de aguas residuales.

Acto continuo se consideraron los factores presentados en el tema 3.1 para seleccionar las operaciones y procesos unitarios que componen el sistema de tratamiento, con los parámetros establecidos se procedió a realizar los cálculos pertinentes como son los gastos de diseño y de las diferentes etapas del tren de tratamiento. Los cálculos se fundamentan en tablas, que se presentan oportunamente obtenidas de la investigación bibliohemerográfica, modelos matemáticos, la técnica de la encuesta mediante el instrumento del cuestionario cuyos datos se procesaron con métodos de la estadística descriptiva.

La etapa final de conclusiones. Es una síntesis del estudio bibliográfico con los resultados propios obtenidos en las etapas anteriores y conclusiones.

## **Hipótesis**

Si se integra y aplica un sistema de tratamiento de aguas grises desde la concepción del proyecto ejecutivo de la edificación habitacional en la Zona Metropolitana del Valle de México, con el análisis de técnicas y tecnologías aplicables a la vivienda urbana, entonces se obtendrá un ahorro en la cantidad de agua potable que se consume dentro de la edificación, dirigiéndose el proyecto hacia la sustentabilidad y acrecentando la cultura del agua.



## 1. ANTECEDENTES

### 1.1. El agua potable

El agua potable<sup>3</sup> es vital, desde la antigüedad se consideraba “el agua como la fuente o principio de todas las cosas”<sup>4</sup>, todo lo que conocemos necesita agua para vivir.

El agua es esencial para la vida, su presencia y sus características permitieron la evolución en este planeta. Sin el agua ningún ser vivo podría existir, es el recurso más precioso y debe tratarse como tal. Las civilizaciones antiguas fueron fundadas siempre junto a los recursos hídricos debido a las ventajas que el recurso les proporcionaba para su desarrollo.

El agua se encuentra presente en numerosas actividades de la vida cotidiana (alimentación, trabajo, higiene, recreo, etc.) se utiliza en todo momento, pero, no se debe olvidar que es un recurso escaso, que hay que cuidar y utilizar de forma adecuada.

El agua presenta una paradoja: si bien es el elemento más abundante en el planeta también es el más escaso, debido a su distribución geográfica, ya que se concentra en áreas templadas y en los trópicos húmedos y escasea en zonas como África, Medio Oriente y en muchas ocasiones se puede encontrar dentro de un mismo país zonas con abundancia y zonas donde el recurso hídrico presenta escases alta.

La tierra es un planeta cubierto en un 70% por agua de la cual, el 97 % está en los océanos en forma de agua salada y el 3% restante es agua dulce. Casi toda está almacenada en los mantos acuíferos profundos, en hielo, en nieve permanente, en los grandes lagos y ríos y menos del 1% de toda el agua dulce se encuentra en la atmósfera, por lo tanto, está disponible como agua de lluvia en el proceso cíclico conocido como el ciclo hidrológico.

El ciclo hidrológico es un conjunto de fenómenos físicos en los que concurre el agua. Este se inicia con la evaporación que se produce en los depósitos acuíferos y en los campos. El vapor de agua resultante se eleva a las capas superiores de la atmósfera, donde la menor temperatura condensa el vapor de agua formando las nubes, estas se siguen condensando hasta formar las gotas de agua que caen por gravedad en diversas formas de



Imagen 2. El Ciclo del Agua. Imagen tomada del sitio <http://ga.water.usgs.gov/edu/watercyclespanishhi.html> (Fecha de actualización: 8 de febrero del 2011)

<sup>3</sup> Agua potable: es aquella que en su estado natural o des pues de un tratamiento adecuado, es apta para el consumo humano y no produce ningún efecto perjudicial para la salud. Se considera que debe estar limpia, transparente, sin sabor, sin olor y en general libre de contaminantes.

<sup>4</sup> (FERNÁNDEZ Cepedal, 2000)



precipitación (lluvia, granizo o nieve). No toda el agua que se precipita llega a alcanzar la superficie, una porcentaje se evapora en su caída y la que alcanza la superficie escurre por el suelo o se infiltra hacia el interior de la tierra, circulando después por los ríos o por el subsuelo, alimentando, depósitos subterráneos, lagos y mares. El agua se transporta a los océanos que son susceptibles a la evaporación, el resto lo toman los vegetales o se evapora, para reiniciar el proceso. (Ver Imagen 2)

El agua en los seres vivos se encuentra tanto intracelular como extracelularmente. El agua intracelular es la que está en el interior de las células y representa aproximadamente 2/3 del agua que contiene un ser vivo y el agua extracelular representa el tercio restante. Esta última se encuentra bañando las células o circulando en forma de sangre, linfa, savia, etc.

El agua representa entre el 50 y el 90% de la masa de los seres vivos (aproximadamente el 75% del cuerpo humano es agua; en el caso de las algas el porcentaje ronda el 90%, y en las medusas es de alrededor del 95%).

Se estima que en la superficie de la Tierra hay alrededor de 1, 386, 000,000 km<sup>3</sup> de agua, esta cantidad incluye el agua dulce y el agua salada y se distribuye de la siguiente manera (Ver Tabla 1). Esta tabla muestra un estimado de la distribución del agua en la tierra<sup>5</sup> y se observa que es de forma desigual lo que provoca que los países cuenten con mayor o menor disposición del recurso hídrico para su aprovechamiento en las diferentes actividades.

Tabla 1 Estimación de la distribución mundial del agua				
Situación del agua	Volumen en km <sup>3</sup>		Porcentaje	
	Agua dulce	Agua salada	de agua dulce	de agua total
Océanos y mares	-	1.338.000.000	-	96,5
Casquetes y glaciares polares	24.064.000	-	68,7	1,74
Agua subterránea salada	-	12.870.000	-	0,94
Agua subterránea dulce	10.530.000	-	30,1	0,76
Glaciares continentales y Permafrost	300.000	-	0,86	0,022
Lagos de agua dulce	91.000	-	0,26	0,007
Lagos de agua salada	-	85.400	-	0,006
Humedad del suelo	16.500	-	0,05	0,001

<sup>5</sup> (GLEICK, 2011)



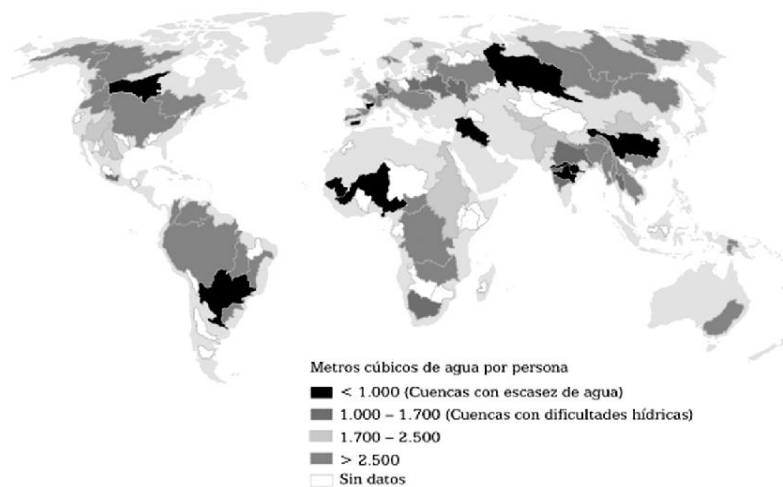
Tabla 1 Estimación de la distribución mundial del agua continuación

Situación del agua	Volumen en km <sup>3</sup>		Porcentaje	
	Agua dulce	Agua salada	de agua dulce	de agua total
Atmósfera	12.900	-	0,04	0,001
Embalses	11.470	-	0,03	0,0008
Ríos	2.120	-	0,006	0,0002
Agua biológica	1.120	-	0,003	0,0001
Total agua dulce	35.029.110		100	-
Total agua en la tierra	1.386.000.000		-	100

Fuente: GLEICK, P. H. (8 de Febrero de 2011). Earth's water distribution. Recuperado el 19 de Marzo de 2011, de U.S.G.S: <http://ga.water.usgs.gov/edu/waterdistribution.html>

La desigual distribución del agua provoca que un país sufra de escasez y de acuerdo a la Organización de las Naciones Unidas (ONU), un país con escasez de agua es aquel que cuenta con menos de 1.000 m<sup>3</sup> disponibles por habitante por año, puesto que no es suficiente para proporcionar una adecuada alimentación y/o para respaldar el progreso económico y los países con 1.000 a 1.700 m<sup>3</sup> por persona por año se dice que viven en estado de estrés hídrico moderado, puesto que presentan dificultades para suministrar adecuadamente el recurso a toda la población en general. (Ver Mapa 1)

A medida que aumenta la población se intensifica el uso de agua para los diversos usos, aunado a los efectos del calentamiento global que está provocando la modificación del ciclo hidrológico y la distribución del recurso hídrico a nivel mundial, se acentúa en muchas partes del mundo el nivel de sequía provocando que la escasez se convierta rápidamente en algo cada vez más habitual.



Mapa 1 Metros cúbicos de agua por persona. Imagen tomada de BROOKS, D. B. (2004). Agua. Manejo a nivel local, Ottawa, Canadá, Alfa Omega





### 1.1.1. El agua en México

De acuerdo con el Mapa 1, México se considera como una de los países con dificultades hídricas al ser catalogado como un país con estrés moderado en general, aunque dentro del país existen zonas con un grado de escasez plenamente identificadas, como es el caso en particular en la ZMVM la cual se considera como la zona de mayor escasez de agua.

La Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), es el Organismo encargado de regular lo concerniente a los recursos hídricos y a la administración, gestión y custodia de las aguas nacionales, desempeña sus funciones a través de 13 organismos de cuenca (antes conocidos como Gerencias Regionales).

En México se dividen las regiones hidrológicas en 13 zonas para fines administrativos y de preservación de las aguas nacionales. Estas regiones Hidrológico-Administrativas están formadas por agrupaciones de cuencas, consideradas las unidades básicas de gestión de los recursos hídricos las cuales se muestran en el Mapa 2<sup>6</sup>



Mapa 2 Regiones Hidrológico-Administrativas y sus sedes. Imagen tomada de, Comisión Nacional del Agua. (2010). Estadísticas del Agua en México. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

De acuerdo a la CONAGUA la zona con mayor cantidad de agua es el sureste, la cual concentra el 68% del recurso del país. Aquí se asienta el 23% de la población total. En el resto del país la situación es de distintos grados de escasez. Dentro de este panorama entre el 40 y 50% del agua se desperdicia por la mala calidad de la red abastecedora. Se calcula que hay 11 millones de mexicanos, de más de 105 millones, que no tienen acceso a este líquido. Del total de agua usada la agricultura usa el 76% y de esa suma se pierde aproximadamente el 60%. De 653 acuíferos, 102 de

<sup>6</sup> (COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, 2010)



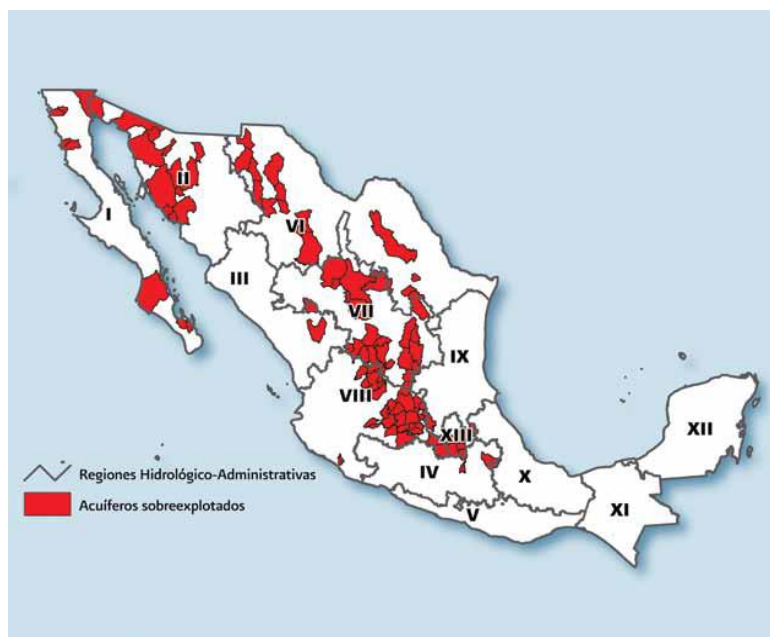
los más importantes están sobre explotados. La CONAGUA estima que sólo 6% de ellos no están contaminados, mientras diversos investigadores, como Oscar Monroy, de la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM) señalan que todos están contaminados.<sup>7</sup>

En el contexto anterior se observa que México enfrenta actualmente graves problemas de disponibilidad, desperdicio y contaminación del agua, esto debido a que las fuentes, los manantiales, las cuencas o cañadas están en acelerada vía de extinción, hay cambios de clima y de suelo, inundaciones, sequías y desertización, a una mala gestión administrativa, a una carente cultura del agua y a la distribución natural del recurso hídrico.

Según datos de la CONAGUA en el 2009, la disponibilidad natural de agua por habitante al año en el país fue de 4,312 m<sup>3</sup>. Lo cual nos coloca según la ONU en un país con sin dificultades hídricas, sin embargo, esta se distribuye de manera desigual en el territorio ya que mientras en el sur del país, Chiapas específicamente, se contó con 25,843 m<sup>3</sup> por habitante al año, en el centro del país, es decir la zona comprendida por la ZMVM se contó con solo 190 m<sup>3</sup> por habitante al año.

La desigual distribución del agua provoca que del centro del país hacia el norte se presente una explotación desmedida de los acuíferos, lo cual provoca un aumento sustancial en el número de acuíferos sobreexplotados, se considera que al 31 de diciembre de 2008 había 101 acuíferos sobreexplotados, de estos se extrae el 58% del agua subterránea para todos los usos<sup>8</sup>. (Ver Mapa 3)

Un indicador que nos proporciona la intensidad de uso de los recursos hídricos es el grado de presión que se ejerce sobre el recurso hídrico. Este se calcula como el porcentaje que representa el agua utilizada para usos consuntivos<sup>9</sup> respecto al agua renovable. Se considera que si el porcentaje es mayor al 40% se ejerce una fuerte presión sobre el recurso.



Mapa 3 Acuíferos sobreexplotados por Región Hidrológico-Administrativa, 2008. Imagen tomada de, Comisión Nacional del Agua. (2010). Estadísticas del Agua en México. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

<sup>7</sup> (DIARIO LA JORNADA, 2005)

<sup>8</sup> (COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, 2010)

<sup>9</sup> Los usos consuntivos son aquellos en los que el agua es transportada a su lugar de uso y la totalidad o parte de ella no regresa al cuerpo de agua, por ejemplo el riego agrícola o el uso industrial. Por el contrario un ejemplo de uso no consuntivo lo constituye el volumen que se emplea en la generación de energía en las hidroeléctricas.



El país en su conjunto experimenta un grado de presión del 17.4%, lo cual se considera de nivel moderado; sin embargo, la zona norte y noroeste del país experimenta un grado de presión fuerte al observarse un grado de presión entre el 40 y 100% y la zona centro presenta un grado de presión muy fuerte al mostrar un grado de presión mayor a 100% sobre el recurso<sup>10</sup>. (Ver Mapa 4 y Tabla 2)



Mapa 4 Grado de presión sobre el recurso hídrico por Región Hidrológico-Administrativa, 2008. Imagen tomada de, Comisión Nacional del Agua. (2010). Estadísticas del Agua en México. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Tabla 2 Grado de presión sobre el recurso hídrico, por Región Hidrológico-Administrativa, 2008

No.	Región Hidrológico Administrativa	Volumen total de agua concesionado (millones de m3)	Agua renovable media (millones de m3)	Grado de presión (%)	Clasificación del grado de presión
I	Península de Baja California	3,510	4,626	75.9	Fuerte
II	Noroeste	7,609	8,323	91.4	Fuerte
III	Pacífico Norte	10,439	25,627	40.7	Fuerte
IV	Balsas	10,703	21,680	49.4	Fuerte
V	Pacífico Sur	1,351	32,794	4.1	Escasa
VI	Río Bravo	9,234	11,937	77.4	Fuerte
VII	Cuencas Centrales del Norte	3,833	7,884	48.6	Fuerte
VIII	Lerma Santiago Pacífico	14,162	34,160	41.5	Fuerte
IX	Golfo Norte	4,747	25,543	18.6	Moderada
X	Golfo Centro	4,957	95,866	5.2	Escasa
XI	Frontera Sur	2,190	157,754	1.4	Escasa
XII	Península de Yucatán	2,368	29,645	8.0	Escasa
XIII	Valle de México	4,650	3,514	132.3	Fuerte
<b>TOTAL NACIONAL</b>		<b>79,752</b>	<b>459,351</b>	<b>17.4</b>	<b>Moderada</b>

Fuente: Estadísticas del Agua en México, CONAGUA. Edición 2010. México

<sup>10</sup> (COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, 2010)



### 1.1.1.1. La Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM)

El Valle de México se ubica sobre los 19°20' de Latitud Norte y 99°05' de Longitud Oeste, formando parte de una cuenca, la cual tiene una elevación promedio de 2,240 msnm y una superficie de 9,560 km<sup>2</sup>; presenta valles intermontañosos, mesetas y cañadas, así como terrenos semiplanos, en lo que alguna vez fueron los lagos de Texcoco, Xochimilco y Chalco; está integrada por una parte del Estado de México, el sur del Estado de Hidalgo, el sureste de Tlaxcala y el Distrito Federal<sup>11</sup>.

Dentro del Valle se ubica la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) que se define como el ámbito inmediato de influencia socio-económica y físico-espacial de la Zona Urbana del Valle de México. La ZMVM se integra por las 16 delegaciones del Distrito Federal, 58 municipios del Estado de México y un municipio del estado de Hidalgo.

El abastecimiento de agua potable a la ZMVM ha sido siempre un problema de vital importancia desde épocas pasadas, y hoy más que nunca ejemplifica los retos que se presentan debido al alto nivel de estrés hídrico que vive. La demanda de agua para los más de 20 millones de personas que habitan en el área, significan un desafío formidable para quienes tienen la responsabilidad de abastecer a esta población. Como el agua superficial en la Cuenca de México es escasa, la principal fuente de abastecimiento para la ciudad es el Acuífero de la Ciudad de México, localizado en el subsuelo del área metropolitana. Aunque el volumen de agua almacenada es muy grande, su calidad es susceptible de sufrir un serio deterioro, debido a la permanente actividad que tiene lugar sobre el acuífero.

El problema hídrico se puede observar sobre todo en las colonias populares donde tienen que pagar precios altos para obtener el recurso hídrico, dependiendo de pipas y agua embotellada, asimismo de manera más general en la infraestructura urbana, la cual es dañada por los hundimientos diferenciales provocados por la sobreexplotación de los mantos acuíferos.

La falta de tratamiento a las aguas residuales y el control insuficiente de los desechos peligrosos han colocado a este acuífero y a todo el sistema de distribución de agua en riesgo de contaminación microbiológica y química. Además, el uso del acuífero se ve restringido debido a una serie de problemas relacionados con el hundimiento del suelo. En efecto, desde que se inició la explotación del agua subterránea en el siglo XIX a la fecha, el constante descenso en los niveles de agua subterránea ha provocado un hundimiento cercano a los 7.5 metros en el centro de la Ciudad de México. Este hundimiento ha aumentado la propensión natural de la ciudad a las inundaciones, al tiempo que ha dañado la infraestructura urbana.

El hundimiento de la Ciudad de México no es uniforme, este se presenta fuertemente en zonas comprendidas por Ecatepec, Chalco, Nezahualcóyotl, la zona centro del D. F., y en general este hundimiento continuará en mayor o menor ritmo de aceleración de acuerdo con los caudales de agua que se extraigan del subsuelo.

Los efectos del hundimiento diferencial que se presentan por la sobreexplotación de las cuencas de la ZMVM se muestran claramente con los escalones que tiene el Ángel de la Independencia de

<sup>11</sup> (COMISIÓN METROPOLITANA DE ASENTAMIENTOS HUMANOS, 1998)



los cuales 9 son los proyectados originalmente para ascender a la base del monumento, los demás se han ido añadiendo debido al hundimiento permanente del entorno que le rodea y al sistema de cimentación a base de pilotes de punta que posee la columna del Ángel la cual le impide hundirse (ver Imagen 3). Recientemente se puede apreciar con lo que está sucediendo en Chalco ya que a partir de la puesta en operación del sistema Mixquic-Santa Catarina en la década de los 80, consistente en 14 pozos, se ha sobreexplotado la cuenca ocasionando una depresión topográfica que Provoca hundimientos de 40 cm por año. Lo cual hace pensar que “Para el año 2020 el Valle de Chalco registrará un hundimiento de hasta 19 metros, lo que incrementa el riesgo de fracturas en las zonas urbanas”<sup>12</sup> esto podría provocar que se tuvieran que reubicar varias colonias de la zona afectada.

Dentro del contexto y de acuerdo a los datos que presenta la CONAGUA, la región XIII que corresponde al Valle de México, responde un nivel de escasez hídrica al registrar un grado de presión mayor que 100%, esto es debido a su alto número de población lo cual provoca una alta demanda de agua potable para satisfacer los diversos usos, así como a la baja cantidad de agua renovable.



Imagen 3 Ángel de la Independencia. Se observa a la Izquierda una foto de 1910 y a la derecha una fotografía actual, Contrastando el nivel del suelo alrededor del Ángel de la Independencia. Imagen tomada del sitio México Maxico: <http://www.mexicomaxico.org> (Fecha de actualización: 6 de febrero del 2012)

En la ZMVM las fuentes de contaminación del agua provienen del sector doméstico, e industrial, así como de la elevada cantidad de actividades que tienen que ver directa o indirectamente con los usos del agua como son comerciales, sociales, recreativos, etc. y que día a día se desarrollan sobre el acuífero.

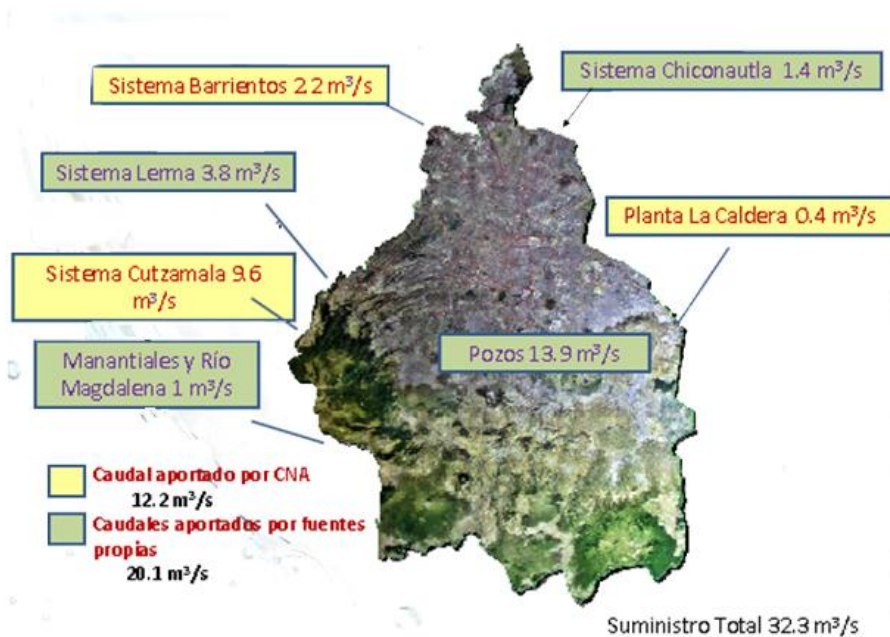
<sup>12</sup> (ORTEGA Guerrero, 2010)



Esta situación se agrava debido a la inmigración que se da hacia la ZMVM, debido a la falta de oportunidades de trabajo, así como del precario desarrollo económico y social que se presenta en las áreas rurales. Tal situación ha propiciado que la ZMVM se convierta en una megalópolis, que desafortunadamente se ha visto superada en la infraestructura urbana y las instituciones, y los recursos naturales disponibles han resultado insuficientes para responder al ritmo de expansión de los nuevos asentamientos.

La demanda de consumo es muy superior a la que se extrae de la cuenca lo cual obliga al gobierno a sobreexplotar el manto acuífero deteriorando aún más la calidad del agua y a importar agua de otras cuencas para cubrir las necesidades. Esto implica un gasto energético enorme para transportar el agua a la ZMVM, aunado a esto se afecta la zona de donde se importe el agua tanto física como socialmente al reducir la dotación de la zona afectada y la calidad de vida de las personas, generando conflictos por el control del recurso.

De acuerdo al Sistema De Aguas De La Ciudad De México (SACM), actualmente se alimenta a la ZMVM de los sistemas de: Barrientos, Chiconautla, Lerma, Cutzamala, Planta la caldera, Manantiales y Río Magdalena y de Pozos de extracción del subsuelo. (Ver Mapa 5)



Mapa 5 Suministro de agua potable. Imagen tomada de Sistema de Aguas de la Ciudad de México. (2009). Los principales retos del sistema de aguas de la Ciudad de México. México.



## 1.2. Calidad del agua potable

El agua al ser el elemento más abundante en el planeta, paradójicamente se está convirtiendo a la vez en el más escaso, esto a medida que crece la población y como consecuencia se intensifica el uso de agua potable, tanto en los usos consuntivos como no consuntivos, modificando la calidad del agua, provocando que la escasez se esté convirtiendo rápidamente en algo habitual.

No se puede decir que la calidad del agua sea una característica uniforme y absoluta, sino que ésta dependerá del uso que se le dará al agua. Sin embargo, ésta se ve afectada por factores como el tratamiento que se les da después de su uso y antes de ser vertida en los cuerpos de agua, asimismo, las industrias asentadas en la cuenca transforman el entorno y pueden llegar a contaminarla en mayor medida.

El agua en estado natural no se encuentra pura, presenta elementos que provienen de diferentes fuentes: la precipitación, el viento, los agentes erosivos, etc. Así, aún en aguas que no han recibido vertidos artificiales<sup>13</sup> se encuentran sólidos y coloides en suspensión (que afectan su transparencia), sólidos disueltos (que se reflejan en la alcalinidad, pH, dureza, conductividad, oxígeno disuelto, etc.).

La calidad del agua potable es un factor determinante de la salud pública y de los ecosistemas, que restringe la oferta de agua y su distribución potencial para los diferentes usos. El agua está asociada a la transmisión de enfermedades que afectan la salud humana, ya sea por ingestión directa o mediante el uso de agua contaminada en los alimentos, por lo que su calidad está absolutamente relacionada con la calidad de vida de la población.

El determinar la calidad del agua disponible es un requisito indispensable para la función de suministrar el agua para consumo humano y/o los distintos usos para la que se provea se deberán garantizar tanto su cantidad como su calidad física, química y biológica.

El agua es un disolvente, al que se ha catalogado como disolvente universal, y afecta a distintos tipos de sustancias. Las sustancias que se mezclan y se disuelven en agua -como las sales, azúcares, ácidos, álcalis, y algunos gases (como el oxígeno o el dióxido de carbono, mediante carbonación) - son llamadas hidrófilas, mientras que las que no combinan bien con el agua - como lípidos y grasas - se denominan sustancias hidrofóbicas. Todos los componentes principales de las células de proteínas, ADN y polisacáridos se disuelven en agua. Puede formar un azeótropo con muchos otros disolventes. Debido a esta característica el agua se ensucia de todo lo que toca y es casi imposible encontrarla pura en la naturaleza.

### 1.2.1. El agua y sus componentes

El agua químicamente pura está compuesta exclusivamente de dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno, sin embargo en la naturaleza no se encuentra con solo esos dos elementos, ya que se presenta en combinación con diversos compuestos dependiendo su origen.

En el ciclo hidrológico, el agua de lluvia disuelve el oxígeno, nitrógeno y CO<sub>2</sub> de la atmósfera y arrastra los elementos sólidos dispersos en el aire, tanto bióticos (bacterias, microalgas, esporas, polen, quistes y otras formas de resistencia de diversos organismos vivos, restos vegetales, vellos,

<sup>13</sup> Los vertidos artificiales son aquellos en los que el hombre participa directamente, como son, los vertidos de aguas servidas residenciales, industriales, agrícolas, entre otros.



etc.) como abióticos, además, en su contacto con el suelo disuelve e incorpora distintas sales, entre las que destacan:

- Bicarbonato cálcico  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  y magnésico  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ .
- Sulfato cálcico ( $\text{CaSO}_4$ ) y magnésico ( $\text{MgSO}_4$ )
- Cloruro cálcico ( $\text{CaCl}_2$ ), magnésico ( $\text{MgCl}_2$ ) y sódico ( $\text{NaCl}$ ).
- Silicatos.
- Nitratos.
- Sales de hierro y/o manganeso.

Todo ello hace que la calidad del agua sea muy distinta en función de diversas variables, como su origen (aguas superficiales o subterráneas), la proximidad a centros urbanos, los centros industriales que se encuentren en su alrededor, el tipo de industrias, la naturaleza del suelo, el tiempo de contacto con el mismo, temperatura, nichos ecológicos, etc.

### 1.2.2. Determinaciones analíticas

En el agua pueden hallarse casi todos los compuestos químicos naturales o artificiales disueltos, en suspensión o en forma coloidal que afectan la calidad del agua.

La manera más sencilla y práctica de estimar la calidad del agua consiste en la definición de índices o relaciones de las medidas de determinados parámetros físicos, químicos o biológicos en la situación real y en otra situación que se considere admisible o deseable y que se encuentra definida por ciertos estándares o criterios. El cálculo de los límites permite llegar a diferentes clasificaciones de calidad de agua de acuerdo al uso específico al que se le destine.

La serie de parámetros analíticos representativos para la calidad del agua son:

- |                                       |                                     |
|---------------------------------------|-------------------------------------|
| ➤ Dureza total (th)                   | ➤ Turbidez (UTN)                    |
| ➤ Alcalinidad simple (ta)             | ➤ Color                             |
| ➤ Alcalinidad completa                | ➤ Olor                              |
| ➤ Conductividad electrolítica         | ➤ Sabor                             |
| ➤ Sólidos suspendidos totales (SST)   | ➤ Temperatura                       |
| ➤ Sólidos disueltos totales (SDT)     | ➤ pH                                |
| ➤ Coliformes totales                  | ➤ Hierro ( $\text{Fe}^{2+}$ )       |
| ➤ Coliformes fecales                  | ➤ Cloruros ( $\text{Cl}^-$ )        |
| ➤ Oxígeno disuelto (OD)               | ➤ Sulfatos ( $\text{SO}_4^{2-}$ )   |
| ➤ Metales pesados                     | ➤ Bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ) |
| ➤ Demanda bioquímica de oxígeno (DBO) | ➤ Fosfatos                          |
| ➤ Demanda química de oxígeno (DQO)    |                                     |





➤ **Dureza Total (TH)**

Se refiere al contenido total de iones alcalinotérreos que hay en el agua. Principalmente la concentración de compuestos minerales de cationes polivalentes que hay en una determinada cantidad de agua, en particular sales de magnesio y calcio. Se corresponde con la suma de la Dureza Temporal (sales alcalinotérreas bicarbonatadas que precipitan por ebullición) y Dureza Permanente (sales alcalinotérreas no carbonatadas y que no precipitan por ebullición - cloruros y sulfatos -).

$$\text{➤ } TH \text{ total} = TH \text{ temporal} + TH \text{ permanente}$$

Medida comúnmente en:

- mg  $\text{CaCO}_3$ /L o ppm de  $\text{CaCO}_3$ : Miligramos de carbonato cálcico ( $\text{CaCO}_3$ ) en un litro de agua; esto es equivalente a ppm de  $\text{CaCO}_3$ .
- Grado francés (°fH) : Equivale a 10.0 mg  $\text{CaCO}_3$ /L de agua

➤ **Alcalinidad**

Es la medida de la capacidad que tiene el agua para neutralizar ácidos, se debe principalmente a sales de ácidos débiles y bases fuertes (bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos) ya que estas sustancias actúan como amortiguadoras para resistir la caída de pH resultante a la adición de ácidos. Las formas de expresar la alcalinidad son:

- Alcalinidad total: Titulación con anaranjado de metilo (pH=4.3), donde  $\text{HCO}_3^-$  (carbonato ácido "bicarbonato") y  $\text{CO}_3^{2-}$  (Carbonato) se han convertido en  $\text{CO}_2$  (dióxido de carbono)
- Alcalinidad de fenolftaleína: Titulación con ácido donde predomina  $\text{HCO}_3^-$  (pH=8.3)

➤ **Turbidez (UTN, NTU)**

Es la reducción de la transparencia de un líquido causada por la presencia de materia sin disolver. La turbidez, también es nombrada turbiedad causada por las partículas en suspensión. Es un indicador general de la calidad del agua: a mayor turbidez menor calidad.

La turbidez se mide en Unidades de turbidez Nefelométricas (UTN), o Nefelometric Turbidity Unit (NTU).

El instrumento usado para su medida es el nefelómetro o turbidímetro, que mide la intensidad de la luz dispersada a 90 grados cuando un rayo de luz pasa a través de una muestra de agua.

La unidad usada en tiempos antiguos era la Unidad de Turbidez de Jackson (Jackson Turbidity Unit - JTU), medida con el turbidímetro de vela de Jackson. Esta unidad ya no está en uso estándar.

➤ **Color**

Se produce debido a compuestos orgánicos en estado coloidal y a inorgánicos en disolución.

El color ocasiona una apariencia desagradable, igual que la turbiedad, siendo causante en un medio adecuado para el crecimiento de algas. También ocasiona inconvenientes en el agua consumida por las industrias.



El color verdadero está asociado a sustancias en solución.

Se determina el color aparente (debido a sustancias en suspensión) por la facilidad de la lectura en los comparadores colorimétricos.

### ➤ El pH

El grado de acidez o de alcalinidad del agua se expresa en términos del valor del pH, que significa, literalmente, “poder en hidrogeno”.

La escala pH está dividida en 14 unidades, del 0 (la acidez máxima) a 14 (nivel básico máximo). El número 7 representa el nivel medio de la escala, y corresponde al punto neutro. Los valores menores que 7 indican que la muestra es ácida. Los valores mayores que 7 indican que la muestra es básica. Se trata de una escala logarítmica inversa basada en la concentración de iones de hidrogeno: cuantos más iones de hidrogeno contenga el agua más ácida será esta y más bajas serán sus valores del pH (ver Imagen 4 )

La escala pH tiene una secuencia logarítmica, lo que significa que la diferencia entre una unidad de pH y la siguiente corresponde a un cambio de potencia 10. En otras palabras, una muestra con un valor pH de 5 es diez veces más ácida que una muestra de pH 6. Asimismo, Un pH de 9 representa un descenso en diez mil veces de la concentración de iones de hidrogeno en comparación con el valor del pH de 5.

### ➤ Conductividad electrolítica

Es la capacidad de una disolución acuosa para conducir una corriente eléctrica. La conductividad está relacionada por un parámetro llamado fuerza iónica que viene determinado por la concentración y la carga de cada ión presente en el agua. Generalmente, indica la cantidad de sales disueltas en forma iónica. A mayor conductividad menor calidad.

En la mayoría de las disoluciones acuosas, cuanto mayor es la concentración de las sales disueltas, mayor es su conductividad eléctrica. Este efecto continúa hasta el punto de saturación de la sal o hasta que la solución se halla tan concentrada en iones que la restricción del movimiento, causada por un aumento posterior en la concentración, disminuye la conductividad eléctrica del sistema.

La unidad de medida utilizada comúnmente es el Siemens/cm (S/cm), en millonésimas ( $10^{-6}$ ) de unidades, es decir microSiemens/cm ( $\mu\text{S/cm}$ ), o en milésimas ( $10^{-3}$ ) es decir miliSiemens/cm (mS/cm).

Conductividad en distintos tipos de aguas:

- Agua ultra pura 0,055  $\mu\text{S/cm}$
- Agua destilada 0,5  $\mu\text{S/cm}$
- Agua doméstica 500 a 800  $\mu\text{S/cm}$
- Agua de mar 56 mS/cm
- Agua salobre 100 mS/cm



Imagen 4. Escala de pH. Elaboración propia.

➤ **Sólidos Suspendedos Totales (SST)**

Comprenden todas las sustancias suspendidas en el agua que no precipitan de forma natural, pueden ser tanto de carácter mineral, como orgánico, de diversa naturaleza. Se considera que los sólidos en suspensión son los que tienen partículas superiores a un micrómetro.

Los SST se expresan en mg/L

➤ **Sólidos Disueltos Totales (TDS)**

También expresado como salinidad total o residuo seco. Es la cantidad total de sólidos disueltos en el agua se encuentra relacionada con la Conductividad Eléctrica.



El total de sólidos disueltos puede tener efectos significativos en el sabor del agua de consumo humano. Según las guías de la OMS, se piensa, por lo general, que con concentraciones inferiores a 600 miligramos por litro, el agua tiene un sabor agradable, por otro lado en concentraciones mayores a 1.200 miligramos por litro, ésta se deteriora progresivamente

El origen de los sólidos disueltos puede ser de tipo, orgánico e inorgánico, tanto en aguas subterráneas como superficiales y están relacionados con el grado de mineralización del agua, ya que son iones de sales minerales que el agua ha conseguido disolver a su paso, y con la conductividad del agua, ya que un aumento de estos aumenta la capacidad conductiva.

Los TDS se expresan en mg/L

### ➤ Grupo de Coliformes

El grupo Coliformes agrupa a todas las especies bacterianas que tienen ciertas características bioquímicas en común<sup>14</sup> e importancia relevante como indicadores de contaminación del agua.

Coliforme significa con forma de Coli, refiriéndose a la bacteria más importante del grupo desde el punto de vista sanitario, la Escherichia Coli, descubierta por el bacteriólogo alemán Theodor von Escherich en 1860 a partir de heces de niños. Von Escherich la bautizó como bacterium Coli<sup>15</sup>. Con posterioridad, la microbiología sistemática nombraría el género Escherichia en honor a su descubridor.

Debido a que no todos los coliformes son de origen fecal, se desarrollaron pruebas para diferenciarlos a efectos de utilizarlos como indicadores de contaminación. Se diferencian, entre, coliformes totales (todos los del grupo) y coliformes fecales (de origen intestinal)

Los coliformes fecales sirven como indicadores de la contaminación de organismos patógenos, ya que siempre están presentes en aguas contaminadas con heces humanas y animales y están frecuentemente asociados con brotes de enfermedades hídricas. Son el parámetro fundamental para determinar la eficiencia del sistema de tratamiento de agua residual y la calidad del agua obtenida.

Entre el grupo de organismos patógenos que cabe considerar están: bacterias, virus, protozoarios y helmintos, causantes de enfermedades entéricas relacionadas con la vía húmeda.

En general, se considera el nivel de contaminación de acuerdo a la presencia o ausencia de coliformes totales y no a la densidad de bacterias.

### ➤ Cloruros (Cl<sup>-</sup>)

Los cloruros son una de las sales que están presentes en mayor cantidad en todas las fuentes de abastecimiento de agua y de drenaje.

El cloruro, en forma de ion Cl<sup>-</sup>, es uno de los aniones inorgánicos principales en el agua. Se expresa en (mg/L)

<sup>14</sup> El grupo Coliformes está integrado por los géneros Escherichia Coli, Enterobacter, Citrobacter y Klebsiella.

<sup>15</sup> Bacterium Coli: Bacterium, singular de Bacteria Y Coli, del griego, κολων, kolon, es decir, "Bacteria del intestino"



Expresa el contenido en iones cloro de un agua. Pueden ser sales de origen natural o de procedencia industrial y humana. El contenido de cloruros afecta la potabilidad del agua y su potencial uso agrícola e industrial.

En el agua potable, el sabor salado producido por el cloruro, es variable y depende de la composición química del agua:

➤ **Hierro  $Fe^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$**

El hierro es un constituyente normal del organismo humano (forma parte de la hemoglobina). Por lo general, sus sales no son tóxicas en las cantidades comúnmente encontradas en las aguas naturales.

En las aguas superficiales, el hierro puede estar en forma de complejos organoférricos y, en casos raros, como sulfuros. Es frecuente que se presente en forma coloidal en cantidades apreciables. Se expresa en (mg/L)

### 1.2.3. Evaluación de la calidad del agua

De manera general la evaluación de la calidad del agua se lleva a cabo utilizando tres indicadores: la Demanda Bioquímica de Oxígeno a cinco días ( $DBO_5$ ), la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y los Sólidos Suspendedos Totales (SST). Estos indicadores nos proporcionaran datos concretos sobre los contaminantes que se encuentran en el agua.

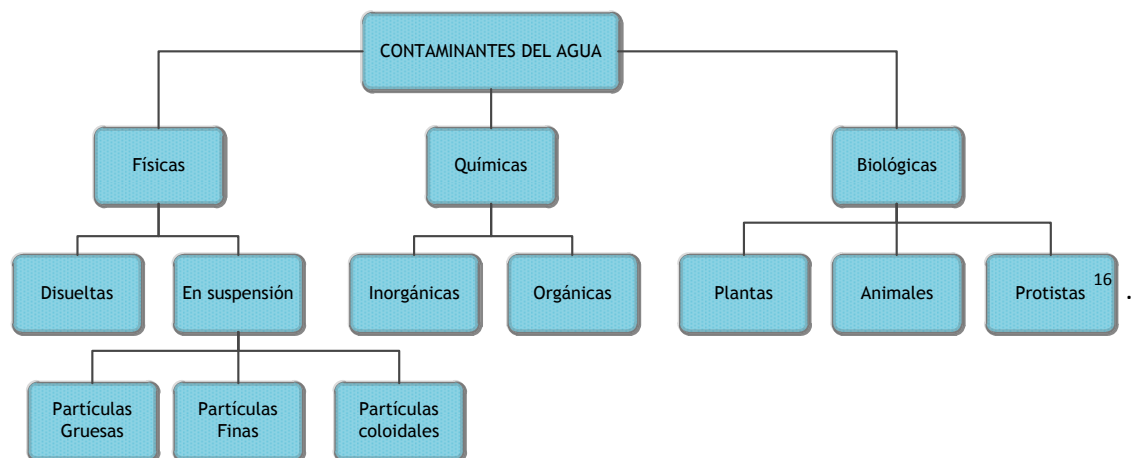


Diagrama 1. Contaminación del agua. Elaboración propia.

La  $DBO$  determina la cantidad de materia orgánica biodegradable, es decir refleja la cantidad de oxígeno que se requiere para descomponer los desechos orgánicos biodegradables. La  $DQO$  mide la cantidad total de materia orgánica. El incremento de la concentración de estos parámetros incide en la disminución del contenido de oxígeno disuelto en los cuerpos de agua. Los SST tienen su origen en las aguas residuales y la erosión del suelo.

<sup>16</sup> Protista, también llamado Protocista, es el que contiene a todos aquellos organismos eucariontes que no pueden clasificarse dentro de alguno de los otros tres reinos eucarísticos: Fungi (hongos), Animalia (animales) o Plantae (plantas).



Se pueden considerar los siguientes parámetros como indicadores de la calidad del agua<sup>17</sup>. (Ver Tabla 3)

Tabla 3 Escalas de clasificación de la calidad del agua

DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO (DBO <sub>5</sub> )	
Criterio (mg/l)	Clasificación
$DBO_5 \leq 3$	<b>EXCELENTE.</b> No contaminada.
$3 < DBO_5 \leq 6$	<b>BUENA CALIDAD.</b> Aguas superficiales con bajo contenido de materia orgánica biodegradable.
$6 < DBO_5 \leq 30$	<b>ACEPTABLE.</b> Con indicio de contaminación. Aguas superficiales con capacidad de autodepuración o con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente.
$30 < DBO_5 \leq 120$	<b>CONTAMINADA.</b> Aguas superficiales con descargas de aguas residuales crudas, principalmente de origen municipal.
$DBO_5 > 120$	<b>FUERTEMENTE CONTAMINADA.</b> Aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales.
DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO (DQO)	
$DQO \leq 10$	<b>EXCELENTE.</b> No contaminada.
$10 < DQO \leq 20$	<b>BUENA CALIDAD.</b> Aguas superficiales con bajo contenido de materia orgánica biodegradable.
$20 < DQO \leq 40$	<b>ACEPTABLE.</b> Con indicio de contaminación. Aguas superficiales con capacidad de autodepuración o con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente.
$40 < DQO \leq 200$	<b>CONTAMINADA.</b> Aguas superficiales con descargas de aguas residuales crudas, principalmente de origen municipal.
$DQO > 200$	<b>FUERTEMENTE CONTAMINADA.</b> Aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales.
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST)	
$SST \leq 25$	<b>EXCELENTE.</b> No contaminada.
$25 < SST \leq 75$	<b>BUENA CALIDAD.</b> Aguas superficiales con bajo contenido de materia orgánica biodegradable.
$75 < SST \leq 150$	<b>ACEPTABLE.</b> Con indicio de contaminación. Aguas superficiales con capacidad de autodepuración o con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente.
$150 < SST \leq 400$	<b>CONTAMINADA.</b> Aguas superficiales con descargas de aguas residuales crudas, principalmente de origen municipal.
$SST > 400$	<b>FUERTEMENTE CONTAMINADA.</b> Aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales.

Fuente: Comisión Nacional del Agua. (2010). Estadísticas del Agua en México. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

<sup>17</sup> (COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, 2010)



En relación a los usos del agua, los parámetros típicos determinantes en cada caso son:

- **Uso doméstico:** turbidez, sólidos disueltos, tóxicos, coliformes
- **Uso industrial:** sólidos disueltos y en suspensión
- **Riego:** sólidos disueltos, contenido de sodio
- **Bebida para ganado:** libre de parásitos y patógenos
- **Recreo:** turbidez, tóxicos, coliformes
- **Vida acuática:** Oxígeno disuelto, compuestos organoclorados

### 1.3. Uso del agua potable

Como se ha descrito anteriormente el agua es un recurso limitado en la naturaleza y es empleada de diversas formas en prácticamente todas las actividades humanas que se llevan a cabo día a día, pero estas no siempre son compatibles entre sí. Algunos usos extraen el agua de su ciclo natural por períodos largos de tiempo, otros por un tiempo corto y los restantes no extraen el agua, aun cuando la usan.

Se define al uso como la aplicación del agua a una actividad. Cuando existe consumo, entendido como la diferencia entre el volumen suministrado y el volumen descargado, se trata de un uso consuntivo.

Existen otros usos que no consumen agua como la generación de energía eléctrica, que utiliza el volumen almacenado en presas. A estos usos se les denomina no consuntivos.

En general se han clasificado los usos del agua en dos grandes grupos, los cuales, se dividen en cinco categorías, donde cuatro corresponden a usos consuntivos, que son el agrícola, el abastecimiento público, la industria autoabastecida y las termoeléctricas; finalmente, el no consuntivo es el hidroeléctrico<sup>18</sup>. (Ver Tabla 4)

Tabla 4 Usos consuntivos, según origen del tipo de fuente de extracción, 2008. (Miles de millones de metros cúbicos,)<sup>19</sup>

Usos	Origen		Volumen total	Porcentaje de extracción.
	Superficial	Subterráneo		
Agrícola	40.7	20.5	61.2	76.8
Abastecimiento público.	4.2	7.0	11.2	14.0
Industria autoabastecida.	1.6	1.6	3.3	4.1
Termoeléctricas	3.6	0.4	4.1	5.1
<b>TOTAL</b>	<b>50.2</b>	<b>29.5</b>	<b>79.8</b>	<b>100.0</b>

Fuente: Comisión Nacional del Agua. (2010). Estadísticas del Agua en México. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

<sup>18</sup> ÍDEM

<sup>19</sup> 1 km<sup>3</sup> = 1 000 hm<sup>3</sup> = mil millones de m<sup>3</sup>.



**PROGRAMA DE MAESTRÍA EN ARQUITECTURA  
CAMPO DE CONOCIMIENTO TECNOLOGÍA**

AGUAS GRISAS: RECOLECCIÓN, TRATAMIENTO, USO E  
INTEGRACIÓN EN LA EDIFICACIÓN HABITACIONAL



Sobre los volúmenes concesionados del agua y su distribución en los distintos usos consuntivos, por entidad federativa se cuenta con los siguientes datos. (Ver Tabla 5)

Tabla 5 Volúmenes concesionados por usos consuntivos, por entidad federativa, 2008

No	Estado	Volumen concesionado	Agrícola	Abastecimiento publico	Industria autoabastecida sin termoeléctricas	Termoeléctricas
1	Aguascalientes	619.5	488.7	119.1	11.7	0.0
2	Baja California	3 109.1	2 566.3	266.0	81.6	195.2
3	Baja California Sur	401.2	326.3	61.5	9.5	3.9
4	Campeche	657.4	512.0	127.8	17.6	0.0
5	Coahuila de Zaragoza	1 959.2	1 624.6	186.5	73.2	74.9
6	Colima	1 656.2	1 565.8	62.2	24.4	3.8
7	Chiapas	1 708.6	1 402.2	271.8	34.6	0.0
8	Chihuahua	5 142.7	4 587.6	476.4	51.1	27.6
9	Distrito Federal	1 122.4	1.3	1 089.8	31.4	0.0
10	Durango	1 559.8	1 376.5	152.7	19.1	11.5
11	Guanajuato	4 133.5	3 433.0	619.7	60.3	20.5
12	Guerrero	4 272.3	847.1	288.5	14.6	3 122.1
13	Hidalgo	2 347.7	2 028.6	169.6	67.0	82.6
14	Jalisco	3 843.5	2 983.8	719.5	140.1	0.1
15	México	2 702.2	1 257.5	1 275.7	169.0	0.0
16	Michoacán de Ocampo	5 120.8	4 618.3	310.7	143.7	48.2
17	Morelos	1 239.2	921.5	260.6	57.1	0.0
18	Nayarit	1 201.8	1 048.0	105.8	48.0	0.0
19	Nuevo León	2 047.1	1 452.6	511.8	81.9	0.8
20	Oaxaca	1 103.1	866.6	201.8	34.8	0.0
21	Puebla	2 469.4	2 008.7	381.7	72.5	6.5
22	Querétaro	1 017.9	657.3	292.4	62.5	5.7
23	Quintana Roo	611.7	114.6	98.3	398.9	0.0
24	San Luis Potosí	1 337.2	1 105.4	171.2	29.6	31.0



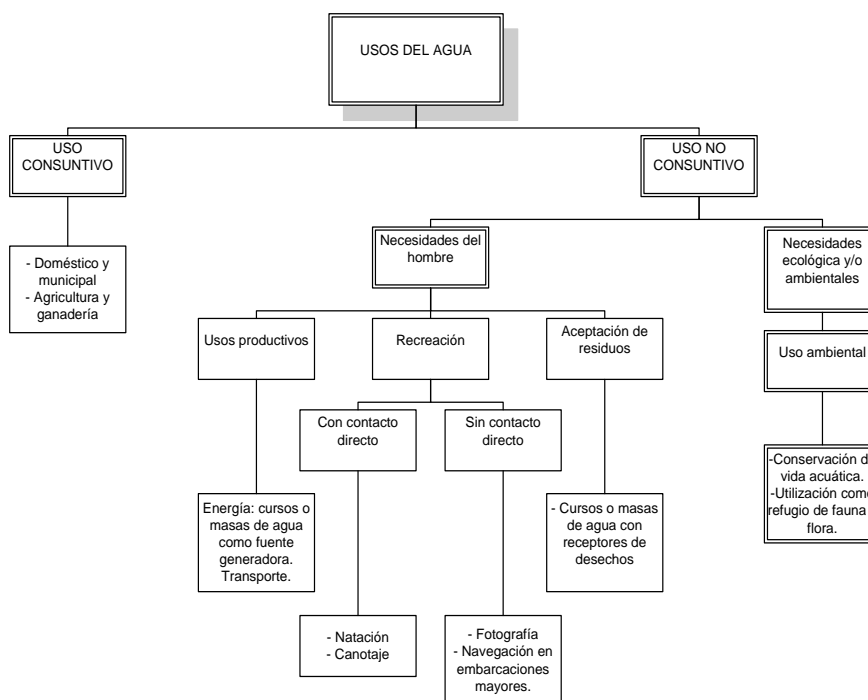


**Tabla 5 Volúmenes concesionados por usos consuntivos, por entidad federativa, 2008 (Continuación)**

No	Estado	Volumen concesionado	Agrícola	Abastecimiento publico	Industria autoabastecida sin termoeléctricas	Termoeléctricas
25	Sinaloa	9 206.9	8 656.0	508.3	42.6	0.0
26	Sonora	7 430.2	6 371.2	961.5	90.5	7.0
27	Tabasco	414.0	169.0	183.3	61.8	0.0
28	Tamaulipas	3 800.3	3 319.0	318.2	109.1	54.0
29	Tlaxcala	235.7	137.4	78.7	19.6	0.0
30	Veracruz de Ignacio de la Llave	4 684.4	2 595.3	568.6	1 149.9	370.5
31	Yucatán	1 156.1	866.9	245.4	34.3	9.4
32	Zacatecas	1 441.2	1 306.0	112.5	22.7	0.0
<b>TOTAL</b>		<b>79,752.3</b>	<b>61,214.9</b>	<b>11,197.5</b>	<b>3,264.6</b>	<b>4,075.2</b>

Fuente: Comisión Nacional del Agua. (2010). Estadísticas del Agua en México. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

En general se pueden agrupar los usos de agua más frecuentes de acuerdo al Diagrama 2



**Diagrama 2. Usos del agua más frecuentes. Datos tomados de Ministry of Supply and Services Canada, 1993; US Government, s/f; Valls, 1980**



### 1.3.1. Uso para abastecimiento público

Los principales usos que el hombre hace del agua son domésticos, industriales y agrícolas. En todos ellos, cuando el agua después de ser utilizada retorna a la naturaleza, lo hace siempre como agua residual, es decir, contaminada, ya que contiene sustancias extrañas o formas de energía que modifican sus características originales.

El uso para abastecimiento público incluye la totalidad del agua entregada a través de las redes de agua potable, las cuales abastecen a los usuarios domésticos (domicilios), así como a las diversas industrias y servicios conectados a dichas redes.

Para el abastecimiento público, que agrupa al uso urbano y al doméstico, el tipo de fuente predominante es la subterránea con el 62% del volumen<sup>20</sup>

En este marco el consumo de agua potable para los diversos usos domésticos se denota como dotación y generalmente se manejan las unidades de L/persona/día (litros por persona por día), que es la cantidad de agua que se consume en promedio durante el día por una persona, esta será la cantidad de agua que el gobierno tiene que garantizar para que la población realice sus actividades básicas cotidianas.

Dicha dotación estará en función de una serie de factores que la alteran (cultura, nivel socioeconómico, manejo responsable del agua, localización geográfica, clima, entre otras) y la hacen variar en cada ciudad, inclusive dentro de una misma zona existen variaciones considerables<sup>21</sup>.

Dentro de la dotación, los rubros generales considerados son: Aseo corporal, descarga del excusado, bebida, lavado de ropa, riego de patios y jardines, limpieza general, cocina y lavado de la calle.

Las dotaciones recomendadas para satisfacer las actividades domésticas se muestran en la Tabla 6

Tabla 6 Dotaciones recomendadas dependiendo el tipo de edificación.

Dotaciones Recomendadas	
Casa habitación zona rural	85 L/persona/día
Casa habitación tipo popular	150 L/persona/día
Casa habitación de interés social	180 L/persona/día
Casa habitación de interés medio	200 L/persona/día
Departamento de lujo	250 L/persona/día
Residencia con alberca	500 L/persona/día
Edificio de oficinas	70 L/persona/día

<sup>20</sup> ÍDEM

<sup>21</sup> Cabe comentar unas de las diferentes dotaciones diarias que existe dentro de la ZMVM, mientras en la zona oriente se manejan dotaciones de 150 L/per/día en la zona sur llegan a ser de 500 L/per/día. Lo cual causa variaciones de volumen considerables en el suministro.



Tabla 6 Dotaciones recomendadas dependiendo el tipo de edificación. (Continuación)

Dotaciones Recomendadas	
Hotel con todos los servicios	200 L/persona/día
Cines	10 L/persona/día
Baños públicos	200 L/persona/día
Escuela primaria	50 L/persona/día
Escuela secundaria	15 L/persona/día
Restauran	30 L/persona/día
Restaurant de lujo	200 L/persona/día

Fuente: Elaboración Propia con datos tomados de la clase de Instalaciones Sanitarias Impartida en la FES ARAGÓN.

En la ZMVM se cuenta con la cuantificación del gasto de agua que se utiliza en una edificación familiar por uso en las actividades diarias<sup>22</sup> (Ver Tabla 7), las cuales están reguladas por el Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACM).

Tabla 7 Uso del agua en el servicio doméstico



USO	USO NEGLIGENTE	USO NORMAL SIN REDUCTORES	USO CUIDADOSO CON REDUCTORES Y BUENOS HÁBITOS
Inodoros	36	24	20
Lavado de dientes	16.5	10.5	0.69
Lavados de manos y cara	29.3	22	10
Rasurarse	38.5	21	2.5
Ducha	204	132	40
Lavado de utensilios de cocina	82.5	31.5	22.5
Limpieza general de casa	35.85	21.28	14.06
Lavado de ropa	40	28	20
Lavado de patio y áreas verdes	30.85	16.98	8
<b>TOTALES</b>	<b>513.5</b> ← 67%	<b>307.26</b>	<b>137.75</b> → 55%

Fuente: Sistema de Aguas de la Ciudad de México, disponible en el sitio <http://www.sacm.df.gob.mx:8080/web/sacm/index> (Fecha de actualización: 25 de febrero del 2011)

<sup>22</sup> (SISTEMA DE AGUAS DE LA CIUDAD DE MÉXICO, 2009)



## 1.4. Historia del manejo de las aguas residuales

Los seres humanos han almacenado y distribuido el agua durante siglos. En la época en que el hombre era cazador y recolector, el agua utilizada para beber, era agua del río. Asimismo, para los asentamientos el hombre siempre buscaba las márgenes de los lagos y ríos. Cuando no tenían la posibilidad de establecerse cerca de un río o lago, aprovechan los recursos de agua subterráneos mediante la construcción de pozos.

Los métodos de depuración de residuos se remontan a la antigüedad y se han encontrado instalaciones de alcantarillado en lugares prehistóricos de Creta y en las antiguas ciudades asirias. Las canalizaciones de desagüe construidas por los romanos todavía funcionan en nuestros días. Aunque su principal función era el drenaje, la costumbre romana de arrojar los desperdicios a las calles significaba que junto con el agua de las escorrentías viajaban grandes cantidades de materia orgánica. Hacia finales de la edad media empezaron a usarse en Europa excavaciones subterráneas privadas primero y, más tarde, letrinas. Cuando éstas estaban llenas, unos obreros vaciaban el lugar en nombre del propietario. El contenido de los pozos negros se empleaba como fertilizante en las granjas cercanas o era vertido en los cursos de agua o en tierras no explotadas.

Hace aproximadamente 7000 años en Jericó (Israel) el agua almacenada en los pozos se utilizaba como fuente de recursos hídricos, además se empezó a desarrollar los sistemas de transporte y distribución del agua. Este transporte se realizaba mediante canales sencillos, excavados en la arena o las rocas y más tarde, se comenzarían a utilizar tubos huecos. En Egipto se utilizan árboles huecos de palmera mientras en China y Japón utilizan troncos de bambú y más tarde, se comenzó a utilizar cerámico, madera y metal.

Alrededor del año 3000 a.C., la ciudad de Mohenjo-Daro (Pakistán) utilizaba instalaciones y necesitaba un suministro de agua muy grande. En esta ciudad existían servicios de baño público e instalaciones de agua caliente.

En la antigua Grecia el agua de escorrentía, agua de pozos y agua de lluvia eran utilizadas en épocas muy tempranas. Debido al crecimiento de la población se vieron obligados al almacenamiento y distribución (mediante la construcción de una red de distribución) del agua.

Muchos de los procesos físicos, químicos y biológicos que ocurren en los sistemas naturales acuáticos han sido incorporados a los sistemas de tratamiento de agua residual creados por la ingeniería; en éstos se controlan las variables del sistema y se maximiza la rapidez de ocurrencia de los procesos minimizando el tiempo requerido para la depuración. En los sistemas de tratamiento creados por la ingeniería, las reacciones se completan en fracciones del tiempo y del espacio que se requerirían en los ecosistemas naturales para conseguir la misma eficiencia.<sup>23</sup>

No obstante que el manejo inadecuado de las aguas residuales tiene consecuencias en la salud pública y en los ecosistemas, la práctica de coleccionar y tratar las aguas residuales antes de su disposición es relativamente reciente.

En la Imagen 5 se observa el acueducto de Segovia construido en el siglo de Augusto. Estas construcciones se hacían con el fin de conducir el agua necesaria para menesteres diarios. El aquí reproducido tiene una altura máxima de 31 metros.

---

<sup>23</sup> (VALDEZ, 2003)



Imagen 5 Acueducto de Segovia. Imagen tomada de VALDEZ, E. C. (2003). Ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposición de aguas residuales. México D.F.: Fundación ICA.

Durante la Edad Media el alcantarillado fue prácticamente desconocido, y hasta los tiempos modernos no se reanudó la construcción de alcantarillas; existían albañales para la lluvia, pero no destinados a recoger aguas residuales domésticas.

La aparición del cólera en forma epidémica e intensa en Europa a mediados del siglo XIX, principalmente en Inglaterra, que tenía un comercio muy activo con India, obligó al parlamento a formar una comisión Real que estudiara y construyera el sistema adecuado de alcantarillado en Londres. En París, una epidemia de cólera obligó al diseño y construcción de un sistema adecuado de alcantarillado por el año de 1832; sin embargo, ya existía una alcantarilla abierta desde 1412 hasta 1750, en que fue cubierta.

Durante el tiempo en que no se permitía la descarga de desechos en los sistemas de alcantarillado, los residentes de las ciudades colocaban la “suciedad nocturna” en cubetas a lo largo de las calles, que algunos trabajadores vaciaban en depósitos y eran transportados por carretas hacia áreas rurales, para su disposición en terrenos agrícolas.

La invención del retrete en el siglo XIX cambió drásticamente las prácticas de disposición de los desechos. El transporte de los desechos urbanos para su disposición en terrenos agrícolas no podía manejar el volumen tan grande de líquido que se incrementaba paulatinamente con el uso de los retretes. Como solución al problema, las ciudades comenzaron a usar los sistemas naturales de drenaje y los alcantarillados pluviales para conducir las aguas residuales, contrariando el consejo de Edwin Chadwick, quien en 1842 recomendó que se descargara “la lluvia al río y los desechos al suelo”.

La construcción de alcantarillados combinados fue común en las grandes ciudades durante la segunda mitad del siglo XIX y dado que los sistemas pluviales terminaban naturalmente en cursos de agua, los desechos humanos eran descargados directamente en corrientes, lagos y estuarios, sin tratamiento. Esto ocasionó contaminación severa y problemas de salud pública que se transferían, de la comunidad servida con alcantarillado, a los usuarios del agua localizados corriente abajo.



El primer sistema de alcantarillado “moderno” para aguas residuales se construyó en 1842 en Hamburgo, Alemania, por un innovador ingeniero inglés llamado Lindley. Un incendio destruyó la parte antigua de Hamburgo y al efectuar las reconstrucciones se encomendó a Lindley el diseño y construcción del alcantarillado; el sistema incluyó muchos de los principios que todavía se usan en la actualidad. Es sorprendente notar que prácticamente no hubo ningún progreso en el diseño y construcción de los alcantarillados, desde los primeros días del cristianismo hasta Lindley que era, se puede decir, el único ingeniero sanitario en Alemania desde 1840.

A comienzos del siglo XX, algunas ciudades e industrias empezaron a reconocer que el vertido directo de desechos en los ríos provocaba problemas sanitarios. Esto llevó a la construcción de instalaciones de depuración. Aproximadamente en aquella época se introdujo la fosa séptica como mecanismo para el tratamiento de las aguas residuales domésticas, tanto en las áreas suburbanas como en las rurales, ya que para el tratamiento en instalaciones públicas se adoptó primero la técnica del filtro de goteo. Durante la segunda década del siglo, el proceso del cieno activado, desarrollado en Gran Bretaña, supuso una mejora significativa por lo que empezó a emplearse en muchas localidades de ese país y de todo el mundo. Desde la década de 1970, se ha generalizado en el mundo industrializado la cloración, un paso más dentro del tratamiento químico.

El agua ha sido tema de interés debido al papel vital que este recurso juega en la vida humana y su creciente escasez (debido a las actividades humanas, las cuales se realizan sin pensar sustentablemente en el recurso) para abastecer los servicios requeridos, está provocando una creciente cultura del agua, pensando en que el ahorro de agua potable en el hogar es fundamental para economizarla en cualquier comunidad, sobre todo en zonas donde el servicio o suministro público de agua suele ser costoso y algunas veces irregular.

En México, durante la mayor parte del siglo XX el tratamiento de las aguas residuales no se hizo de manera extendida en el país y, ante la ausencia de leyes o medios coactivos apropiados para hacerlas cumplir, las ciudades deterioraron la belleza de las corrientes de agua, haciéndolas inútiles para finalidades recreativas y poniendo la vida humana en peligro.

En el 2009 se reportó una cobertura de tratamiento de aguas residuales del 43.5% a nivel nacional equivalente a un caudal total tratado de 92,200 L/s



## 1.5. Características de las aguas residuales

Se les denomina aguas residuales a aquellas que resultan del uso doméstico o industrial del agua. Se les llama también aguas servidas, aguas negras o aguas cloacales.

Son aguas servidas porque ya han sido utilizadas para alguna actividad. Son aguas negras por la cantidad de contaminantes que llevan y la coloración oscura que estos provocan en el agua. Son cloacales puesto que se transportan mediante cloacas<sup>24</sup>. Son residuales pues habiendo sido usada el agua, constituyen un residuo, algo que no sirve para el usuario directo<sup>25</sup>.

Las aguas residuales pueden ser una combinación de líquidos o agua cargada de residuos domésticos, municipales e industriales, que están mezclados con aguas subterráneas, superficiales y de tormenta.

Las descargas de aguas residuales se clasifican en municipales e industriales. Las primeras corresponden a las que son manejadas en los sistemas de alcantarillado municipales urbanos y rurales, en tanto que las segundas son aquellas descargadas directamente a los cuerpos receptores de propiedad nacional con o sin tratamiento previo, cuando una industria descarga sus aguas residuales al alcantarillado esta debe contemplar un sistema de tratamiento previo que garantice la calidad del agua que se estará vertiendo.

Cuando las aguas residuales son tratadas de manera inadecuada, antes de ser vertidas en los cuerpos receptores se presentan daños asociados como son<sup>26</sup>:

- Mayores costos directos e indirectos causados por el aumento de enfermedades y de la mortalidad;
- Costos más altos para producir agua potable, con el resultado de tarifas más altas;
- Pérdida de ingresos de la pesca y la acuicultura;
- Mala calidad del agua, que disuade a los turistas, disminuyendo inmediatamente el ingreso por turismo;
- Pérdida de biodiversidad;
- Pérdida de valor de los bienes raíces debido al deterioro de la calidad de los entornos: especialmente importante para los residentes de zonas marginales donde la vivienda es el bien principal.
- La carga mundial de enfermedad humana causada por la contaminación de las aguas costeras debido a las aguas residuales se estima en 4 millones de “años-persona” perdidos cada año.

En el agua residual municipal los parámetros más representativos son los presentados en la Tabla 8.

---

<sup>24</sup> Del latín *cloaca* (desagüe), alcantarilla

<sup>25</sup> Algunos autores hacen una diferencia entre aguas servidas y aguas residuales en el sentido que las primeras solo provendrían del uso doméstico y las segundas corresponderían a la mezcla de aguas domésticas e industriales.

<sup>26</sup> (AGUA.ORG.MX, 2010)



Tabla 8 Parámetros de interés en el agua residual municipal.

Componente	Parámetro de calidad	Descripción
<b>Materia en suspensión</b>	Materia en suspensión, incluyendo la porción volátil y la inorgánica	La materia en suspensión puede dar lugar al desarrollo de depósitos de lodo y de condiciones anaerobias cuando se vierte agua residual sin tratamiento a un medio acuático.
<b>Materia orgánica biodegradable</b>	Demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno	La materia orgánica biodegradable esta compuestas principalmente por proteínas, carbohidratos y grasas. Una vez vertidas en el ambiente, su descomposición biológica puede dar lugar al agotamiento del oxígeno disuelto en las aguas receptoras y a la aparición de condiciones anaerobias.
<b>Patógenos</b>	Organismos indicadores, coliformes totales y coliformes fecales.	Los organismos patógenos presentes en un agua residual, tal como bacterias, virus y parásitos, pueden producir numerosas enfermedades transmisibles.
<b>Elementos nutritivos</b>	Nitrógeno, Fósforo, Potasio	El nitrógeno, el fósforo y el potasio son elementos nutritivos esenciales para el crecimiento de las plantas y su presencia en el agua aumenta el valor para el riego. Cuando se vierte nitrógeno o fósforo en el medio acuático, puede darse el desarrollo de formas de vida acuáticas indeseables. Cuando se vierten cantidades excesivas de estos elementos en el terreno, el nitrógeno puede llegar a contaminar las aguas subterráneas.
<b>Sustancias orgánicas estables o refractarias al proceso de tratamiento.</b>	Compuestos específicos, como fenoles, pesticidas e hidrocarburos clorados.	Estas sustancias orgánicas ofrecen gran resistencia a los métodos convencionales de tratamiento de agua residual. Algunas son tóxicas en el medio ambiente y su presencia puede limitar la idoneidad de las aguas residuales para riego.
<b>Actividad del ion hidronio</b>	Potencial de hidrógeno (pH)	El pH del agua residual afecta a la solubilidad de los metales así como a la alcalinidad del suelo. El intervalo normal para el pH de un agua residual municipal se sitúa entre 6.5 y 8.5, la presencia de agua residual industrial puede modificar el pH de forma significativa.





Tabla 8 Parámetros de interés en el agua residual municipal. (Continuación)

Componente	Parámetro de calidad	Descripción
<b>Metales Pesados</b>	Elementos conocidos como Cadmio (Cd), Cinc (Zn), Níquel (Ni) y Mercurio (Hg).	Algunos metales pesados que se acumulan en el ambiente son potencialmente tóxicos para los animales y las plantas. Su presencia en el agua residual puede limitar su idoneidad para agua de riego.
<b>Sustancias inorgánicas disueltas</b>	Materia disuelta total, conductividad eléctrica, elementos concretos como Sodio (Na), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Cloro (Cl) y Boro (B).	Un grado excesivo de salinidad puede perjudicar ciertos cultivos. Determinados iones como los cloruros, el sodio y el boro son potencialmente tóxicos para ciertas plantas. El sodio puede causar problemas de permeabilidad en los suelos.
<b>Cloro residual</b>	Cloro libre y cloro Combinado.	Una concentración excesiva de cloro libre, superior a 0.05 mg/L, puede provocar quemaduras en las puntas de las hojas y estropear algunas especies de plantas sensibles. No obstante, la mayor parte del cloro presente en un agua residual es cloro combinado, que no perjudica a las plantas. Existe cierta preocupación por los efectos tóxicos derivados de los compuestos organoclorados que puedan llegar a contaminar las aguas subterráneas.

Fuente: (METCALF & Eddy, Ingeniería Sanitaria. Agua Residual Municipal.)

### 1.5.1. Contaminantes presentes en las aguas residuales

Como se ha podido observar, las aguas residuales son por naturaleza aguas contaminadas que sin un tratamiento previo estas no podrían ser reutilizadas.

Denominamos contaminación a la introducción en el medio de sustancias o formas de energía que alteran la calidad natural del agua, impidiendo que sea adecuada al uso al que se destina.

Existen varios tipos de contaminantes:

#### ➤ FÍSICOS

- Calor (o térmico): debido al desarrollo de determinadas actividades industriales, el agua sufre una elevación de su temperatura y al ser vertida en ambientes acuáticos altera su calidad.
- Radiactividad: producida por aquellas actividades en las que están implicados el uranio u otros elementos radioactivos, como la minería, centrales nucleares, etc.



➤ QUÍMICOS

- Orgánicos: son sustancias químicas que proceden principalmente del uso de abonos en las prácticas agrícolas así como de vertidos industriales y urbanos, como pueden ser los insecticidas, herbicidas y fungicidas
- Inorgánicos: son sustancias no biodegradables.

➤ BIOLÓGICOS

- Son aquellos organismos vivos, (virus, bacterias, hongos, protozoos), que pueden ser patógenos para el ser humano, alterando las características de olor, sabor y físico-químicas del agua.

En el tratamiento de aguas residuales se observan seis clases principales de contaminantes que deben eliminarse antes de ser reusadas y/o descargadas al ambiente:

- a) Los Organismos patógenos son la clase de contaminantes más importante para la salud humana. Numerosos tipos de organismos causantes de enfermedades a los seres humanos son transportados por las aguas residuales, como gusanos (lombriz, tenia, esquistosoma, etc.), protozoarios (amebas, Giardia, Cryptosporidium, etc.), bacterias (cólera, Salmonella, E. Coli, etc.), microplasmas y virus (hepatitis, enterovirus, etc.).
- b) La Materia orgánica (DBO) es el conjunto de sustancias orgánicas presentes en las aguas residuales. Muchas veces es referida como la “DBO de las aguas residuales”. La materia orgánica provoca un aumento considerable en la población de bacterias, el metabolismo de estas consume el oxígeno disuelto en el agua, causando que los seres vivos acuáticos (flora y fauna) mueran por falta de oxígeno. La masa de agua se descompone y se generan gases causantes de mal olor. Los gases son amoníaco, sulfuro y metano.
- c) Los sólidos suspendidos (SS) son el conjunto de todas las partículas presentes en las aguas residuales, en una inmensa variedad de formas, tamaños y constituyentes. Los SS se constituyen del 100% de los organismos patógenos, de 50% a 70% de la materia orgánica y 100% de la materia coloidal, presente en las aguas residuales.
- d) Nutrientes Fosforo y Nitrógeno (P y N): Cuando son liberados en el ambiente acuático, los compuestos orgánicos e inorgánicos del fósforo y nitrógeno contenidos en las aguas residuales, estimulan la reproducción descontrolada de microalgas. Muchas de estas algas son altamente tóxicas, envenenando el agua para el uso humano y destruyendo el ecosistema, asimismo provocando la eutrofización<sup>27</sup> del cuerpo de agua.
- e) Olor fétido (H<sub>2</sub>S): El olor a “huevo podrido” que caracteriza las aguas residuales es causado por el gas sulfuro, generado por bacterias anaerobias a partir del azufre contenido en las aguas residuales.
- f) Metales pesados: Varios elementos químicos altamente tóxicos son liberados a las aguas residuales por las industrias con un tratamiento inexistente o inadecuado tales como mercurio, cromo, níquel, plomo, arsénico, plata, cadmio y cobre, entre los más importantes.

Entonces la composición del agua residual viene definida por las cantidades reales de los parámetros físicos, químicos y biológicos presentes en ella y puede variar según la calidad del agua

<sup>27</sup> La eutrofización es el enriquecimiento en nutrientes (como nitratos y fosfatos) de las aguas. Estos nutrientes producen un crecimiento excesivo de algas que al morir y sedimentar generan residuos orgánicos los que al descomponerse ocasiona un drástico descenso en los niveles de oxígeno disuelto, produciendo así la muerte por asfixia de la fauna y flora.



de cada población. Los valores típicos que estos parámetros toman en el agua residual municipal bruta (sin tratar) son los presentados en la Tabla 9, Esta presenta datos típicos de los constituyentes encontrados en el agua residual municipal. Según las concentraciones de estos constituyentes, el agua residual se clasifica en alta, media o baja.

Tabla 9 Aguas grises domésticas y sus componentes

Componente	Intervalo de concentraciones		
	Alta	Media	Baja
<b>Materia sólida, (mg / L)</b>	1200	720	350
<b>1. Disuelta total</b>	850	500	250
Inorgánica, (mg / L)	525	300	145
Orgánica, (mg / L)	325	200	105
<b>2. En suspensión</b>	350	220	100
Inorgánica, (mg / L)	75	55	20
Orgánica, (mg / L)	275	165	80
<b>Sólidos Sedimentables, (mg / L)</b>	20	10	5
<b>Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) a 20°C, (mg / L)</b>	400	220	110
<b>Carbono orgánico total, (mg / L)</b>	290	160	80
<b>Demanda Química de Oxígeno (DQO) , (mg / L)</b>	1000	500	250
<b>Nitrógeno, (mg / L)</b>	85	40	20
Orgánico	35	15	8
Amoniaco	50	25	12
Nitritos	0	0	0
Nitratos	0	0	0
<b>Fósforo, (mg / L)</b>	15	8	4
Orgánico	5	3	1
Inorgánico	10	5	3
<b>Cloruros</b>	100	50	30
<b>Alcalinidad (mg / L)</b>	200	100	50
<b>Grasas y aceites (mg / L)</b>	150	100	50
<b>Coliformes fecales (No/100 mL)</b>	10 <sup>5</sup> -10 <sup>8</sup>	10 <sup>4</sup> -10 <sup>6</sup>	10 <sup>3</sup> -10 <sup>5</sup>
<b>Coliformes totales (No/100 mL)</b>	10 <sup>7</sup> -10 <sup>10</sup>	10 <sup>7</sup> -10 <sup>9</sup>	10 <sup>6</sup> -10 <sup>8</sup>

Fuente: (METCALF & Eddy, Ingeniería Sanitaria. Agua Residual Municipal.)

Además de los parámetros físicos y químicos presentados, el agua residual, contiene microorganismos patógenos. Debido al alto número de microorganismos patógenos presentes en el agua residual y de la dificultad práctica para determinarlos, se usan bacterias del grupo coliformes mucho más numerosas y fáciles de determinar, como indicadoras de la presencia de entero patógenas en el afluente a tratar y en el efluente tratado. La presencia de coliformes fecales en el agua se considera como indicador de la posible presencia de microorganismos patógenos, mientras que la ausencia de coliformes se considera como indicación que el agua está libre de microorganismos patógenos<sup>28</sup>

<sup>28</sup> (MUJERIEGO, 1990)



### 1.5.2. Aguas Grises

En este trabajo se subdividen las aguas residuales municipales, en aguas provenientes de las casas habitación y las aguas provenientes de comercios u otros. Se trabajara con las aguas residuales provenientes de las viviendas llamándolas aguas residuales domesticas puesto que provienen del uso doméstico, Asimismo, las aguas residuales domesticas se pueden subdividir en aguas negras (procedentes de los inodoros, con materia fecal) y aguas grises (procedentes de lavados en general como: cocinas, lavamanos, duchas, conteniendo detergentes, restos de alimentos, materia orgánica y otros contaminantes).

Dentro de la vivienda se puede distinguir de acuerdo al uso diferente calidad y cantidad por tipo de servicio. El agua para el servicio de primer uso, proveniente de la red, generalmente deriva en aguas grises y aguas negras.

De acuerdo a lo anterior toda el agua que se ha usado en la casa para nuestra higiene corporal, utensilios y limpieza general de la casa, excepto la de los sanitarios, se llama agua gris básicamente son aguas con jabón, algunos residuos grasos de la cocina y detergentes biodegradables. Se compone entre el 60 y 80% de toda el agua de desecho de una casa familiar. Es importante señalar que las aguas grises pueden transformarse en aguas negras si son retenidas sin oxigenar en un tiempo corto (aproximadamente 24 horas).

Al agua que contiene materia fecal, procedente del ser humano o de animales, se llama agua negra, pues es portadora de bacterias patógenas dañinas para el ser humano. En una casa familiar generalmente es el agua de los sanitarios convencionales con excusado de agua, sin embargo, al mezclarse con las aguas grises en la mayoría de los drenajes, toda el agua de una casa se convierte en agua negra.

Es importante diferenciar entre “aguas grises” y “aguas negras”, porque su tratamiento es diferente.

Siguiendo el principio de la separación de las aguas residuales por tipo de contaminante, el tratamiento se logra simplificar si se toman las aguas grises provenientes únicamente de servicios de higiene personal (regadera y tina) y del lavado de objetos personales (lavadora) cuyos contaminantes son de baja concentración, se pueden tratar con cierta facilidad mediante mecanismos naturales de separación como pueden ser por densidad, para las partículas en suspensión, y por oxidación natural, denominada oxidación aerobia, para carga microorgánica.

Y aún podría mejorarse el tratamiento si dentro de la vivienda se desarrollan hábitos de higiene y limpieza en el agua de primer uso, así como el uso de jabones biodegradables, redundando en el mejoramiento de la calidad del agua a tratar y por ende mejorando y facilitando el tratamiento de la misma.



## 1.6. Reglamentación y normatividad del agua

El uso social del agua se encuentra sujeto al artículo 27 de la constitución, diseñada de modo que el agua no sea controlada por las personas que tienen más recursos económicos, con el fin de perjudicar a la mayoría de la población que son los de menos recursos económicos. Sin embargo, se puede observar que en la cotidianidad de la vida, la gente que vive en las zonas donde el agua escasea es porque el gobierno no cuenta con la infraestructura suficiente, el mantenimiento a la infraestructura que se realiza es insuficiente o simplemente porque al gobierno no le ha importado mejorar las condiciones de vida de ese sector de la población que tienen que pagar más por el agua que les llevan en pipas y depender de la compra del agua embotellada para todas sus labores domésticas.

### ➤ CONSTITUCIÓN DE LOS ESTADOS UNIDOS MEXICANOS

**Artículo 27.** (Extracto) La propiedad de las tierras y aguas comprendidas dentro de los límites del territorio nacional, corresponde originariamente a la Nación, la cual ha tenido y tiene el derecho de transmitir el dominio de ellas a los particulares, constituyendo la propiedad privada.

... Las aguas del subsuelo pueden ser libremente alumbradas mediante obras artificiales y apropiarse por el dueño del terreno, pero cuando lo exija el interés público o se afecten otros aprovechamientos; el Ejecutivo Federal podrá reglamentar su extracción y utilización y aún establecer zonas vedadas, al igual que para las demás aguas de propiedad nacional. Cualesquiera otras aguas no incluidas en la enumeración anterior, se considerarán como parte integrante de la propiedad de los terrenos por los que corran o en los que se encuentren sus depósitos, pero si se localizaren en dos o más predios, el aprovechamiento de estas aguas se considerará de utilidad pública, y quedará sujeto a las disposiciones que dicten los Estados.

### ➤ LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y LA PROTECCIÓN AL AMBIENTE (EXTRACTO)

**ARTÍCULO 1o.-** La presente Ley es reglamentaria de las disposiciones de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos que se refieren a la preservación y restauración del equilibrio ecológico, así como a la protección al ambiente, en el territorio nacional y las zonas sobre las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción. Sus disposiciones son de orden público e interés social y tienen por objeto propiciar el desarrollo sustentable y establecer las bases para:

V.- El aprovechamiento sustentable, la preservación y, en su caso, la restauración del suelo, el agua y los demás recursos naturales, de manera que sean compatibles la obtención de beneficios económicos y las actividades de la sociedad con la preservación de los ecosistemas;

VI.- La prevención y el control de la contaminación del aire, agua y suelo;

### ➤ LEY DE AGUAS NACIONALES (EXTRACTO)

**ARTÍCULO 1.** La presente Ley es reglamentaria del Artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos en materia de aguas nacionales; es de observancia general en todo el territorio nacional, sus disposiciones son de orden público e interés social y tiene por objeto regular la explotación, uso o aprovechamiento de dichas aguas, su distribución y control, así como la preservación de su cantidad y calidad para lograr su desarrollo integral sustentable.

**ARTÍCULO 2.** Las disposiciones de esta Ley son aplicables a todas las aguas nacionales, sean superficiales o del subsuelo. Estas disposiciones también son aplicables a los bienes nacionales que la presente Ley señala.



Las disposiciones de esta Ley son aplicables a las aguas de zonas marinas mexicanas en tanto a la conservación y control de su calidad, sin menoscabo de la jurisdicción o concesión que las pudiere regir.

**ARTÍCULO 4.** La autoridad y administración en materia de aguas nacionales y de sus bienes públicos inherentes corresponde al Ejecutivo Federal, quien la ejercerá directamente o a través de "la Comisión".

➤ **LEY FEDERAL DE DERECHOS EN MATERIA DE AGUA**

Establece los derechos que se pagarán por el uso o aprovechamiento de los bienes del dominio público de la Nación, derechos relacionados con el costo total del servicio -incluso el financiero- salvo en el caso de uso agrícola y pecuario, que se subsidia.

➤ **REGLAMENTOS DE CONSTRUCCIÓN**

Establecen las dotaciones mínimas requeridas para diferentes tipos de inmuebles y servicios y reglamentan la descarga de aguas residuales. Cada Estado de la República Mexicana tiene su propio reglamento; para el Distrito Federal rige el Reglamento de Construcciones del Distrito Federal.

**EL SIGUIENTE LISTADO ABARCA LAS NORMATIVIDAD MÁS IMPORTANTE REFERENTE AL TEMA DEL AGUA:**

➤ **NOM-001-SEMARNAT-1996**

Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

➤ **NOM-002-SEMARNAT-1996**

Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.

➤ **NOM-003-SEMARNAT-1997**

Establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público.

➤ **NOM-004-SEMARNAT-2002**

Establece las especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes en lodos y biosólidos para su aprovechamiento y disposición final.

➤ **NOM-083-SEMARNAT-2003**

Protección ambiental para los sitios de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial.

➤ **NOM-022-SEMARNAT-2003**

Preservación, conservación, aprovechamiento sustentable y restauración de los humedales costeros en zonas de manglar.

➤ **NOM-141-SEMARNAT-2003**

Caracterización de los jales y presas de jales.



➤ **NOM-011-CONAGUA-2000**

Conservación del recurso agua. Establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales.

➤ **NOM-127-SSA1-1994**

Norma de la Secretaría de Salubridad y Asistencia (SSA) Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Establece los límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización.

## 1.7. Métodos de tratamiento de las aguas residuales

Para comprender el objetivo del tratamiento de aguas residuales es conveniente realizar la diferenciación de la Desinfección y la esterilización.

Esterilización es cuando se produce la eliminación total o la completa inactivación de todos los organismos presentes. La esterilización es definida como una reducción de contaminantes igual o superior a 8 logs,  $10^8$ , o el 99.999999%.

Desinfección significa la reducción de la concentración de los microorganismos peligrosos hasta el punto aceptable o no infeccioso. Para realizar el proceso de desinfección existen métodos físicos y químicos. La desinfección alcanza varios niveles de reducción:

- ❖ 1 log... $10^{-1}$ ...90%
- ❖ 2 log... $10^{-2}$ ...99%
- ❖ 3 log... $10^{-3}$ ...99.9%
- ❖ 4 log... $10^{-4}$ ...99.99%
- ❖ 5 log... $10^{-5}$ ...99.999%

El objeto del tratamiento de aguas residuales es: adecuar las características del agua residual captada mediante la separación del líquido de los constituyentes indeseables, o la alteración de sus propiedades físico-químicas o biológicas hasta llegar a satisfacer las normas de calidad establecidas, con el fin de garantizar su uso de acuerdo a los requerimientos que exija su reutilización sin ningún tipo de riesgo sanitario, es decir, desinfectar las aguas que se captan para su posterior uso en alguna actividad específica.

Según un estudio patrocinado por el Banco Mundial en 1997, la construcción de una planta convencional para el tratamiento secundario de aguas residuales para una población de 1 millón de habitantes requiere una inversión capital de aproximadamente US\$100 millones, sin mencionar los costos sustanciales de operación y mantenimiento para su operación continua<sup>29</sup>, a estos costos tendríamos que sumarles también los de transporte (tuberías, cárcamos, bombas, equipos, mantenimiento, operación) de las aguas del lugar de su producción (viviendas, industrias, etc.) al lugar donde se ubica la planta. Los costos de transporte llegan a ser superiores en muchas ocasiones a los costos de instalación de la planta.

<sup>29</sup> (REYNOLDS & MSPH, Septiembre/Octubre 2002)



### 1.7.1. Fases del proceso de tratamiento

En el Tratamiento convencional de aguas residuales se pueden distinguir hasta cuatro fases básicas que comprenden procesos químicos, físicos y biológicos, estas fases son: Tratamiento preliminar ó pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario o avanzado. En cada fase se eliminan distintas clases de contaminantes, con aumento de la complejidad técnica y el costo de las fases subsecuentes. Todas estas fases se componen de operaciones y/o procesos unitarios.

**Operaciones Unitarias:** Los métodos de tratamiento en donde predominan la acción de fuerzas físicas, se conocen como operaciones unitarias, ejemplo de estas serían: el desbaste, floculación, sedimentación, filtración, secado, agitación y precipitación.

**Procesos Unitarios:** Los métodos de tratamiento en los cuales la eliminación o conversión de los contaminantes se consigue con la adición de productos químicos y/o a reacciones químicas y por medio de la actividad biológica, se conocen como procesos unitarios, ejemplo de estos serían: la precipitación gracias al ingreso de algún componente químico, la desinfección por medio de químicos, Coagulación química, absorción y neutralización.

#### 1.7.1.1. Tratamiento Preliminar ó Pretratamiento

Esta etapa comienza en el momento en que el agua entra a la planta de tratamiento. Está destinada a la eliminación de residuos fácilmente separables, comprende diversas operaciones, los más comunes son:

- ❖ Desbaste,
- ❖ Desengrasado o desaceitado,
- ❖ Tamizado,
- ❖ Desarenado.

Esencialmente es la remoción física de objetos grandes.

**Desbaste:** Para la remoción de sólidos gruesos que puede arrastrar el agua, como troncos, piedras, plásticos, papeles, etc., comúnmente mediante la retención en rejas (ver Imagen 6)

**Desengrasado o desaceitado:** los aceites y grasas pueden crear problemas en el tratamiento, si el agua a tratar está saturada de estos elementos, se prevé algún dispositivo que evite su paso. Al ser menos densas las grasas y aceites que el agua, estas tienden a subir a la superficie, por lo cual, muchas veces con una barrera que impida el paso del agua superficial y retenga las grasas en la superficie para después por medio de algún dispositivo se retiren, es suficiente.

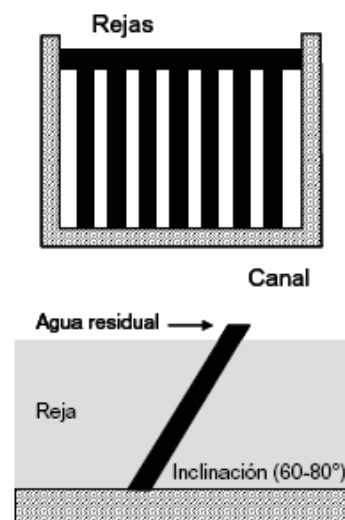


Imagen 6. Rejas inclinadas, Imagen tomada del sitio Miliarium, Ingeniería Civil y Medio Ambiente: <http://www.miliarium.com/prontuario/MedioAmbiente/Aguas/Desbaste.htm> (Fecha de actualización: 6 de febrero del 2012)





**Tamizado:** Es una filtración sobre mallas dispuestas generalmente sobre tambores cilíndricos, en los cuales se pueden retener partículas de hasta 0.3 mm lo que permite remover insectos y residuos pequeños, cuando se dispone de mallas más cerradas generalmente se llega a retener partículas de hasta 100  $\mu\text{m}$ .

**Desarenado:** Tiene lugar en un compartimento especial, donde las arenas se depositan en el fondo por la acción de la gravedad. Consiste en separar del efluente la grava, arena y partículas minerales (partículas con granulometría superior a 200 micras) que están en suspensión, para evitar su sedimentación en canales y conducciones, para la protección de las bombas y otros aparatos contra la abrasión.

### 1.7.1.2. Tratamiento Primario

El objetivo del tratamiento primario es la reducción del contenido de sólidos en suspensión del agua residual, en esta fase se pueden distinguir varias operaciones como son:

- ❖ Sedimentación,
- ❖ Coagulación,
- ❖ Floculación y
- ❖ Neutralización.

#### **Sedimentación.**

La sedimentación primaria se realiza sin la adición de coagulantes químicos ni operaciones de mezclado mecánico y/o floculación.

La sedimentación es una operación unitaria dentro de los procesos de tratamiento de aguas que tiene como finalidad el remover los sólidos suspendidos que el agua contiene.

El proceso de sedimentación se ha adoptado en la mayoría de los proyectos, por utilizar la fuerza de gravedad—que es perpetua, constante y gratuita— de manera distinta a los demás procesos, los cuales dependen de energía eléctrica y equipos más complejos. Las aguas residuales tratadas o efluente, son transparentes debido a la eliminación casi total de sólidos suspendidos, de los organismos patogénicos, y de la mayor parte de DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno) y de fósforo de las aguas residuales.

Destinada propiamente cuando el agua del afluente contiene una turbiedad alta de hasta 500 UTN que no pueden ser tratadas directamente por filtración lenta.

Los sólidos en suspensión sedimentables son aquellos que tienen una densidad mayor a la del líquido donde se encuentran y su remoción del líquido a tratar es deseable por razones estéticas y de calidad bacteriológica. Las partículas de mayor densidad se depositan en el fondo de los sedimentadores primarios por la acción de la gravedad (ver Imagen 7). Para facilitar este proceso se asegura una baja velocidad de circulación del agua. Los lodos depositados en el fondo se evacúan mediante purgas periódicas. La limpieza de espumas y flotantes se realiza mediante recogedores que barren la superficie del agua, como son los brazos radiales (ver Imagen 8)

Es conveniente usar la sedimentación cuando se comprueba que mediante su uso se economiza coagulante y se optimiza el proceso de filtrado, cabe hacer notar que las partículas coloidales no sedimentan.



Una propuesta alternativa a la sedimentación simple es la utilización de filtración mediante mantos de grava y arena gruesa (filtración gruesa).



Imagen 7. Sedimentador Circular, imagen tomada del sitio de la Universidad del Norte: <http://www.uninorte.edu.co/>  
(Fecha de actualización: 10 de enero del 2012)

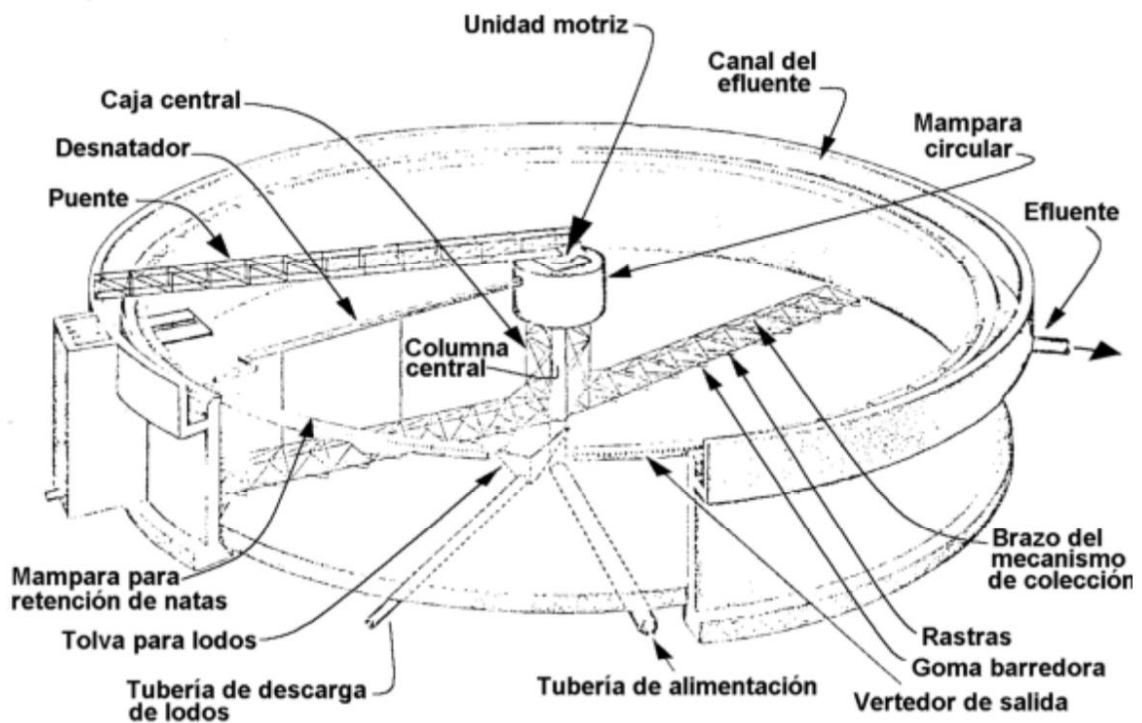


Imagen 8. Sedimentador circular, alimentación central con rastras para recolección de lodos. Imagen tomada de VALDEZ, E. C. (2003). Ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposición de aguas residuales. México D.F.: Fundación ICA.



### Mecanismo de la separación sólido-líquido

La separación del material en suspensión del líquido que lo contiene involucra un proceso netamente físico. En este proceso se manifiestan una serie de fuerzas como son: (ver Imagen 9)

- La fuerza gravitatoria que provoca que el sólido sedimente y que se debe a la acción de la gravedad.
- La fuerza de oposición o el empuje que se manifiesta por el desplazamiento del líquido por la partícula suspendida que se desplaza verticalmente hacia abajo.
- La fuerza de fricción que se debe al desplazamiento de la partícula por el fluido.

Si la fuerza gravitatoria es mayor que las fuerzas de oposición, la partícula se precipita al fondo del recipiente (sedimenta), de lo contrario, la partícula no se separa del líquido y será arrastrada por el líquido sobrenadante que sale en la parte superior del sedimentador.

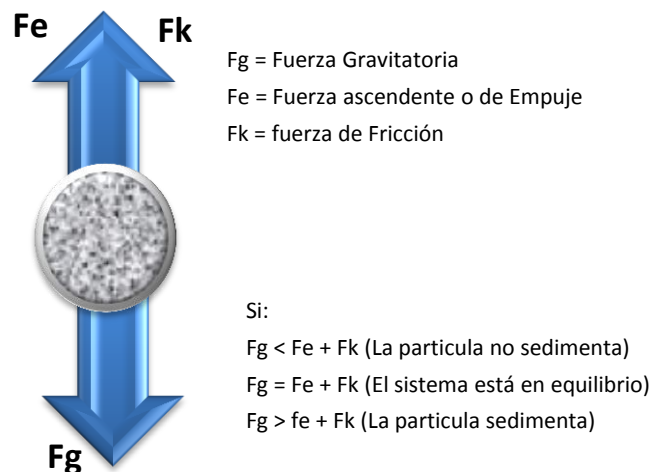


Imagen 9. Fuerzas que Intervienen en el mecanismo de sedimentación de una partícula. Fuente: elaboración propia.

El factor principal que conduce a la sedimentación es la densidad de la partícula. A mayor densidad, mayor fuerza gravitacional y más eficiente es la separación del sólido. También influye en la separación la densidad del líquido.

En este caso, en que se está hablando específicamente de tratamiento de aguas, el líquido a considerar es agua. El agua incrementa su densidad a menor temperatura. Si la densidad del agua es baja el líquido se separa fácilmente, ya que la fuerza de oposición está directamente relacionada a la densidad del fluido en que se desplaza la partícula. Aunque la densidad del agua a 10°C y a 30°C no difieren mucho, esta mínima diferencia se manifiesta en una mejor separación del sólido a altas temperaturas, por lo tanto, se puede generalizar: a mayor densidad del sólido mejor separación del mismo; a menor densidad del agua (a altas temperaturas) la separación de los sólidos o sedimentación es más eficiente.

Las impurezas naturales pueden encontrarse en las aguas según tres estados de suspensión en función del diámetro. Éstos son:

- 1) Suspensiones hasta diámetros de  $10^{-4}$  cm.
- 2) Coloides entre  $10^{-4}$  y  $10^{-6}$  cm.
- 3) Soluciones para diámetros aún menores de  $10^{-6}$  cm.



Estos tres estados de dispersión dan igual lugar a tres procedimientos distintos para eliminar las impurezas.

El primero destinado a eliminar las de diámetros mayores de  $10^{-4}$  cm, constituye la "sedimentación simple".

El segundo implica la aglutinación de los coloides para su remoción a fin de formar un "floc" que pueda sedimentar.

Finalmente, el tercer proceso, que esencialmente consiste en transformar en insolubles los compuestos solubles, aglutinarlos para formar el "floc" y permitir así la sedimentación.

Es decir que en muchos casos, las impurezas pueden ser, al menos en teoría removidas mediante el proceso de sedimentación.

La Tabla 10 detalla los valores de la "velocidad de sedimentación" correspondientes a partículas de peso específico  $2,65 \text{ kg/dm}^3$  y a una temperatura del agua de  $10^\circ\text{C}$ , teniendo en cuenta distintos diámetros y los tiempos necesarios para sedimentar 0.3 m.

Tabla 10. Velocidad de sedimentación

D (mm)	Clasificación	Velocidad de sedimentación (mm/s)	Tiempo para sedimentar (0.3 m)
10.0	Grava	1000.00	0.3 s.
1.0	Grava	100.00	3.0 s
0.1	Arena gruesa	8.00	38 s
0.01	Arena fina	0.154	33 min
0.001	Bacterias	0.00154	35 horas
0.001	Coloides	0.0000154	230 días
0.0001	Coloides	0.000000154	63 años

Fuente: (PÉREZ Farras, 2005)

De un rápido análisis del cuadro se deduce que en la práctica es necesario establecer un tiempo límite para la sedimentación estableciendo a priori el diámetro mínimo que la estructura podrá remover. Lo contrario implicaría diseñar tanques de sedimentación incompatibles con las posibilidades económicas y aún físicas de los proyectos.

### Coagulación

La coagulación es un proceso físico-químico por el que los componentes de una suspensión o disolución estable son desestabilizados, tendiente a formar partículas más grandes (ver Imagen 10) y de mayor peso por unidad de volumen (mayor densidad o peso específico). La coagulación



consiste en la dosificación de compuestos químicos que encapsulan las partículas coloidales, que por sí mismas nunca lograrían separarse del líquido que las contiene.

Diferentes coagulantes químicos llevan a cabo la desestabilización por distintos caminos, sin embargo, según las condiciones del afluente algunos pueden funcionar como coagulantes o apoyo para la coagulación.

En la práctica se emplean coagulantes muy diversos, entre ellos tenemos:

- Sulfato de Aluminio
- Sulfato Ferroso
- Sulfato Férrico

Otros agentes que también se emplean para coagular y que se les llama auxiliares de la coagulación son: la cal o hidróxido de calcio y el carbonato de sodio. Estos compuestos favorecen la coagulación al ajustar el valor del pH a un valor óptimo para la formación del polímero que atrapa las partículas o para incrementar la alcalinidad del agua y favorecer la aparición del coágulo.

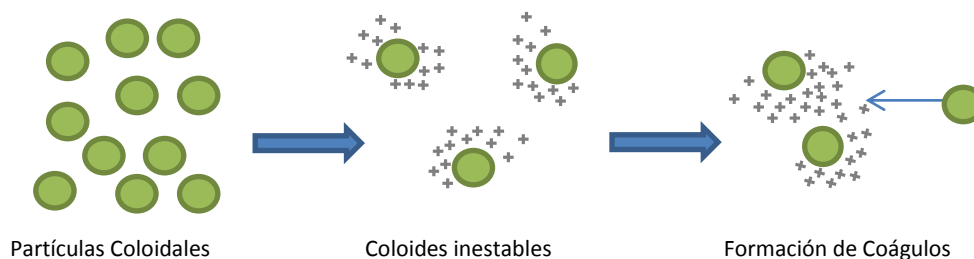


Imagen 10. Proceso de Coagulación. Imagen de elaboración propia

### Floculación

La floculación es un proceso por el que las partículas desestabilizadas se unen para formar grandes partículas, es decir, que provoca la formación de conglomerados de flóculos o partículas. Los floculantes consisten de polímeros sintéticos de muy alto peso molecular, que tienen una estructura morfológica muy especial, que causa que las partículas se adhieran a los ramales de estas moléculas gigantes, por mecanismos de fuerzas de adhesión físicas, así como por fuerzas de atracción electrostática y de otro tipo (fuerzas de London, de Van Der Waals, etc.).

Se genera una red de microfilamentos, esos microfilamentos forman una red que captura los microflóculos y causa su agregación progresiva, generando flóculos de mayor tamaño que son eliminados fácilmente.

### Neutralización

Neutralización. Un pH demasiado alto o demasiado bajo de las aguas residuales puede obstaculizar la acción depuradora de los microorganismos, ya que la actividad biológica óptima tiene lugar en un intervalo de pH comprendido entre 5 y 8,5 lo cual hace necesario corregir la excesiva alcalinidad o acidez del agua mediante la adición de ácidos o bases.



### 1.7.1.3. Tratamiento Secundario o Biológico

Esta fase comprende procesos biológicos, el objetivo es lograr la mayor reducción de la DBO, eliminando las sustancias orgánicas de las aguas residuales por medio de la solubilización y absorción de estas por bacterias aerobias o anaerobias.

El agua decantada y homogeneizada en el tratamiento primario pasa a un recinto, donde será sometida a la acción de microorganismos (principalmente bacterias y protozoos), que se alimentan de las sustancias orgánicas que quedan en disolución en el agua residual. En este proceso, los compuestos orgánicos complejos son convertidos en compuestos simples y la demanda de oxígeno disminuye al mismo tiempo que aumenta paulatinamente su concentración.

### 1.7.1.4. Tratamiento Terciario

Finalizada la decantación secundaria, en muchos casos, el agua residual se considera lo suficientemente libre de carga contaminante como para ser vertida a los cauces de los ríos; no obstante, en algunos casos es conveniente afinar más la depuración, por lo que es sometida a un tratamiento químico (desinfección). Esta fase se utiliza también para realzar los pasos del tratamiento primario.

El agua pasa a una cámara de cloración, donde se eliminan los microorganismos. Otras veces es necesario eliminar selectivamente ciertos componentes, como el fósforo, para evitar la eutrofización del cauce donde irán las aguas; esto se consigue mediante la combinación de reactivos químicos y el paso de las aguas a través de filtros de arena, o incluso de carbón activo.

En esta fase el objetivo es la reducción final de la DBO, metales pesados y/o contaminantes químicos específicos, así como la eliminación de patógenos y parásitos.

## 1.7.2. Los Métodos de Depuración Blandos

Las instalaciones destinadas a la depuración de las aguas residuales procedentes de pequeños núcleos de población, alejados de los sistemas generales de saneamiento, deben ser sencillas de instalar y de mantener. A ello responden los llamados sistemas de depuración blandos. Entre los más significativos y utilizados se encuentran los siguientes:

#### ❖ Lagunaje

**El lagunaje.** Este sistema consiste en la depuración biológica mediante lagunas de estabilización. Una laguna de estabilización es un estanque excavado en la tierra que depura el agua residual que recoge (ver Imagen 11), en ella tienen lugar las siguientes actividades:

- El efecto estanque permite absorber las variaciones de caudal del agua residual que llega a la laguna.
- Las partículas en suspensión sufren una sedimentación primaria.
- Los residuos orgánicos son eliminados por oxidación bacteriana aerobia (en la superficie del estanque) y digestión anaerobia (en las capas de agua más profundas).



Imagen 11. Instalación de tratamiento mediante lagunaje natural. Imagen tomada del sitio Revista del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos: [http://hispagua.cedex.es/sites/default/files/hispagua\\_articulo/op/33/op33\\_3.htm](http://hispagua.cedex.es/sites/default/files/hispagua_articulo/op/33/op33_3.htm) (Fecha de actualización: 15 de enero del 2012)

Dependiendo del tipo de proceso biológico, las lagunas se pueden clasificar en varios tipos:

➤ **Lagunas aerobias**

Los procesos que tienen lugar son la fotosíntesis y la respiración, llevados a cabo por algas verdes y bacterias aerobias. Para facilitar el proceso, los estanques son amplios y poco profundos. Al mismo tiempo, en estas lagunas tienen lugar procesos de desinfección por la acción de la radiación ultravioleta procedente de la luz solar.

➤ **Lagunas anaerobias**

La fermentación de la materia orgánica tiene lugar mediante la acción de las bacterias anaerobias, y produce gases como el metano y el ácido sulfhídrico. El estanque debe ser profundo y de pequeña superficie, carente de oxígeno, salvo en una delgada capa superficial, que evita la propagación de los malos olores.

➤ **Lagunas facultativas**

En ellas se combinan las condiciones de digestión de las bacterias aerobias y anaerobias; suelen emplearse para depurar las aguas residuales que se han sometido a un pretratamiento.

➤ **Filtro verde**

Consiste en la aplicación de un caudal controlado de agua residual sobre la superficie del terreno, donde previamente se ha instalado una masa forestal o un cultivo de especies de crecimiento rápido que se alimentan con los nutrientes procedentes de las aguas residuales.

La depuración se realiza mediante la acción conjunta del suelo, los microorganismos y las plantas por medio de una triple acción: física (filtración), química (intercambio iónico, precipitación y coprecipitación<sup>30</sup>, fenómenos de óxido-reducción) y biológica (degradación de la materia orgánica); tiene lugar en los horizontes superiores del terreno, donde se encuentra una capa biológica activa.

<sup>30</sup> Coprecipitación es el proceso mediante el cual una sustancia, que en condiciones normales es soluble, es acarreada junto al precipitado deseado. Puede ocurrir por formación de cristales mezclados, permitiendo que la impureza penetre en la red cristalina del precipitado, a lo que se llama oclusión; o por adsorción de iones que son arrastrados con el precipitado durante el proceso de coagulación.



➤ **Lechos de turba<sup>31</sup>**

Consiste en una excavación en el terreno, llena de turba, a través de la cual circula el agua residual en sentido vertical descendente. La turba tiene un grosor de 50 cm, y descansa sobre una capa de arena de unos 15 cm, que está sobre otra capa de grava también de unos 15cm. (ver Imagen 12)

El agua residual aplicada se filtra a través de la turba y después atraviesa las capas de arena y de grava. Un dispositivo de drenaje recoge el efluente en la base del sistema. El agua residual se aplica durante un periodo de tiempo limitado, que suele ser de 10 días.

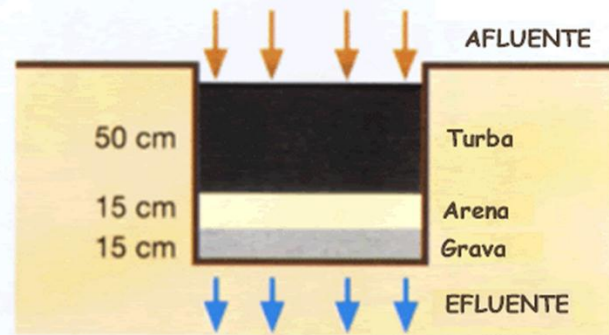


Imagen 12. Lecho de turba. . Imagen tomada del sitio  
Depuradoras Verdes:  
[http://www.xtec.cat/~msoles/depuradores/esp/llit\\_de\\_torba.htm](http://www.xtec.cat/~msoles/depuradores/esp/llit_de_torba.htm) (Fecha de actualización: 15 de enero del 2012)

### 1.7.3. Tratamiento primario avanzado (CEPT - TPA)

El tratamiento primario avanzado es un proceso relativamente reciente el cual hace uso del proceso físico-químico como alternativa a los tratamientos secundarios y terciarios convencionales.

El proceso se denomina en inglés “Chemically Enhanced Primary Treatment” (CEPT) y en español “Tratamiento Primario Químicamente Mejorado”. “Advanced Primary Treatment” (APT), en los idiomas latinos es Tratamiento Primario Avanzado (abreviado como CEPT-TPA).

Básicamente el CEPT-TPA permite depurar significativamente todas las clases principales de contaminantes de las aguas residuales en una etapa única de tratamiento.

El proceso físico-químico puede ser aplicado al comienzo, en medio o al final del tratamiento de las aguas residuales. La estrategia que brinda los mayores beneficios económicos y ambientales es su aplicación al comienzo, o como etapa única del tratamiento.

El proceso CEPT-TPA consiste en precipitar simultáneamente las diversas clases de contaminantes de aguas residuales, atrapados en flóculos fáciles de eliminar del agua.

#### Etapas del proceso

Las etapas del proceso de tratamiento son las siguientes:

1. Coagulación: La adición de 5 a 50 miligramos por litro (mg/L) de una sal inorgánica de hierro (clorato o sulfato férrico) o de aluminio (sulfato o policlorato de aluminio) provoca la coagulación inmediata de las aguas residuales. Los sólidos suspendidos, la materia coloidal y los organismos patogénicos son precipitados en forma de microfloculos. El fosfato, los metales pesados y el gas sulfhídrico son insolubilizados en los microfloculos.

<sup>31</sup> La turba es un material orgánico, de aspecto terroso y rico en carbono, es el conjunto de fibras vegetales que sufrieron una degradación o descomposición biológica en condiciones anaeróbicas y en exceso de agua.





2. Floculación: La adición de 0.1 a 0.5 mg/L de un compuesto orgánico de tipo polielectrolito aniónico, genera una red de microfilamentos adhesivos dispersos en el agua residual.
3. Separación de sólido-líquido: Los flóculos pueden ser removidos del agua en uno de tres niveles: en el fondo por sedimentación, en la superficie por flotación, o en la columna de agua por microtamizado.
4. Lodo: Los sólidos suspendidos y la materia coloidal son eliminados de las aguas residuales en forma de lodo fácil de densificar, desaguar y estabilizar.

El proceso CEPT-TPA es sencillo, eficaz, rápido, utiliza poco equipo y energía, proporcionando bajos costos de capital y de operación. Sin embargo, su implementación correcta requiere un conocimiento técnico especializado para determinar la combinación ideal de los parámetros de tratamiento—los cuales son específicos a cada localidad y a sus aguas residuales. Por ejemplo, el tipo de coagulante y su dosis para las aguas residuales varían de acuerdo a los contaminantes prioritarios que se desean eliminar en cada caso.

#### 1.7.4. Filtración

Filtración es el proceso de separación de sólidos en suspensión en un fluido, mediante el paso del fluido por un medio poroso o una tela permeable, que permite el paso del fluido y al mismo tiempo permite la adsorción de los sólidos que se desean separar del fluido, este proceso puede ser natural o artificial.

La filtración natural retira la mayoría de la materia suspendida del agua del subsuelo a medida que el agua pasa a través de las capas porosas de la tierra hacia los acuíferos. El agua de la superficie, sin embargo, puede estar sujeta a contaminación directa, ya sea debido a los animales y/o a las actividades del ser humano. Esta contaminación puede causar enfermedades mortales, por lo que el agua se debe filtrar por un sistema adecuado construido de manera artificial.

A pesar de que esta es una de las principales operaciones unitarias empleadas en el tratamiento del agua potable y agua residual, la filtración de efluentes procedentes de procesos de tratamiento de aguas residuales es una práctica relativamente reciente. Se puede afirmar que desde la mitad del siglo XIX se comenzó a conocer el potencial del uso de los filtros y su máximo desarrollo se ha dado desde finales del siglo XX, impulsando nuevos materiales y tecnologías, entre las más prometedoras se encuentran las aplicaciones nanotecnológicas.

Es importante reconocer que a la fecha los materiales que se comenzaron a usar en el proceso de filtración, se siguen utilizando actualmente de manera tecnificada. Sin embargo es de resaltar que el filtro que menos cambios ha sufrido con el tiempo es el filtro lento de arena, el cual utiliza solamente arena y grava silicea para su proceso.

La filtración se emplea, de modo generalizado, para conseguir una mayor eliminación de sólidos en suspensión del efluente de los procesos de tratamiento biológicos y químicos, sin embargo es importante resaltar que otros procesos preceden a la filtración, como pueden ser coagulación, sedimentación y floculación.

Las etapas anteriores a la filtración dependerán de la cantidad y naturaleza de los sólidos en suspensión. La calidad del efluente a tratar permitirá proyectar las etapas anteriores a la filtración o si se puede proceder directamente a la etapa de filtración.



Si la calidad del efluente nos indica que se requieren procesos antes de la filtración y no se realizan estos pasando directamente a la filtración, el filtro se satura rápidamente y será necesaria su continua limpieza, por lo cual previamente se separan los sólidos sedimentables con algún otro proceso u operación unitaria, para disminuir la carga en el filtro y obtener una mejor operación del mismo.

Hay dos tipos de filtros de arena, los de acción lenta y los de acción rápida.

En los filtros de acción lenta (funcionan con una tasa media de  $4 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$ ), el agua pasa por gravedad a través de la arena a baja velocidad, la separación de los materiales sólidos se efectúa al pasar el agua por los poros de la capa filtrante y adherirse las partículas a los granos de arena.

El principal carácter distintivo de los filtros rápidos de arena (funcionan con una tasa media de  $120 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$ ) es la capacidad de tratar mayores volúmenes de agua, con la desventaja que estos filtros requieren equipos adicionales para su funcionamiento los cuales dependerán de energía eléctrica, además de requerir limpiarse mediante una operación de refluo un tanto complicado.

Existe una idea errónea sobre el comportamiento de los filtros lentos: se consideran un método obsoleto y que debe ser sustituido por las técnicas de filtración con altas velocidades. Esto se debe principalmente al desconocimiento de sus ventajas y a que los filtros lentos de arena se han realizado en su gran mayoría de manera artesanal y no se comercializan, sin embargo, hay estudios realizados por diversas instituciones como es el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), los cuales presentan las ventajas que tiene la filtración lenta de arena.

Una de las diferencias de mayor peso entre estos filtros es el gasto energético, puesto que, mientras el filtro lento solo requiere la fuerza de gravedad para funcional el filtro rápido requiere un equipo hidroneumático el cual suministrara la presión necesaria para que el filtro realice su función.

#### 1.7.4.1. Mecanismos de filtración

Se considera que la filtración es el resultado de dos mecanismos distintos, pero complementarios el transporte y la adherencia.

##### Los mecanismos de transporte<sup>32</sup>

Esta etapa de remoción básicamente hidráulica ilustra los mecanismos mediante los cuales ocurre la colisión entre las partículas y los granos de arena. Para comprender lo que sucede en estos mecanismos hay que considerar primero la forma en que el fluido se comporta alrededor de un grano de arena, considerado como una obstrucción al paso del agua. La Imagen 13 muestra cómo el modelo de flujo de un fluido (el cual puede ser representado en términos de líneas de flujo) es alterado por la presencia de un grano de arena, idealizado en la figura como una esfera.

Si una partícula es llevada por las líneas de flujo, puede colisionar con un grano de arena, adherirse a él y de este modo ser removida.

<sup>32</sup> CANEPA de Vargas, L. (s.f.). Filtración lenta como proceso de desinfección. Lima, Perú: CEPIS-OPS.



- Cernido  
El mecanismo de cernido actúa exclusivamente en la superficie de la arena y sólo con aquellas partículas de tamaño mayor que los intersticios de la arena. Su eficiencia es negativa para el proceso porque colmata rápidamente la capa superficial, acortando las carreras de filtración.
- Intercepción  
Es una de las formas en que las partículas pueden colisionar con los granos de arena. La intercepción solamente puede ocurrir si la partícula conducida por las líneas de flujo se acerca al grano de arena, de modo que roce la superficie de éste. Cuando más grande es la partícula, será más factible que ocurra la intercepción (ver Imagen 13(a)).
- Sedimentación  
La fuerza de gravedad actúa sobre todas las partículas, produciendo la componente vertical de la resultante de la velocidad de conducción, la cual puede causar la colisión de la partícula con el grano de arena. Su influencia es perceptible solamente con partículas mayores de  $10\ \mu\text{m}$  (ver Imagen 13(b)).
- Difusión  
La energía térmica de los gases y líquidos se pone de manifiesto en un movimiento desordenado de sus moléculas. Cuando esas moléculas colisionan con una pequeña partícula, ésta también empieza a moverse en forma descontrolada, en una serie de pasos cortos, a menudo denominados de “andar desordenado”.

Si la partícula es conducida por las líneas de flujo, la difusión puede cambiar su trayectoria, moviéndose de una línea de flujo a otra, pudiendo eventualmente colisionar con un grano de arena. Como se puede inferir, cuanto más baja es la velocidad del flujo, más pasos podrá dar la partícula por unidad de tiempo. Por lo tanto, la probabilidad de colisión aumenta a medida que la velocidad intersticial decrece. Asimismo, a medida que la temperatura se incrementa, aumenta también la energía térmica y, por consiguiente, el número de pasos por unidad de tiempo y la probabilidad de colisión. La difusión es un mecanismo muy importante con partículas de tamaño menor a  $1\ \mu\text{m}$  (ver Imagen 13(b)).

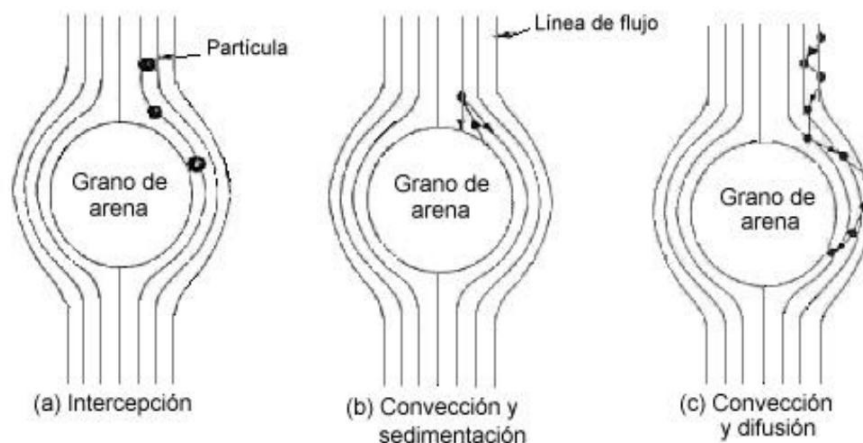


Imagen 13. Mecanismos de transporte. Imagen tomada de CANEPA de Vargas, L. (s.f.). Filtración lenta como proceso de desinfección. Lima, Perú: CEPIS-OPS.



➤ Flujo intersticial

Las líneas de flujo mostradas en la Imagen 13 han sido idealizadas para un solo grano de arena. En una porción de lecho filtrante con muchos granos de arena, las líneas de flujo tienen una configuración más tortuosa, como se indica en la Imagen 14. Por definición, el flujo entre dos líneas cualesquiera de corriente es similar y el espacio dentro del cual discurren se denomina conducto cilíndrico. La configuración de estos conductos cilíndricos es tortuosa, se bifurca, se unen y se vuelven a bifurcar en diferentes puntos. Este cambio continuo de dirección del flujo crea mayor oportunidad de colisión, al cruzarse constantemente las partículas y los granos de arena.

Como se indica en la Imagen 14, si una partícula es conducida por las líneas de flujo intersticial, será más probable que en cualquier punto durante su paso entre los granos de arena choque contra uno de ellos. La posibilidad de chocar dentro de un tramo dado de su trayectoria depende de la dimensión de los granos de arena, de la velocidad intersticial y de la temperatura. Cuanto más pequeños los granos de arena, mayor probabilidad de colisión. La porosidad del medio es mayor y, por lo tanto, hay mayor cantidad de conductos, produciéndose mayor número de bifurcaciones. Asimismo, cuanto más baja la velocidad intersticial, mayor posibilidad de colisionar. Como se indicó previamente, las velocidades más bajas permiten mayor oportunidad de colisión por unidad de distancia con el mecanismo de difusión. Sin embargo, a medida que la velocidad intersticial se incrementa, hay un punto por encima del cual la velocidad ya no influye aunque siga aumentando. Finalmente, las temperaturas altas intensifican el mecanismo de difusión, produciéndose una mayor probabilidad de colisión.

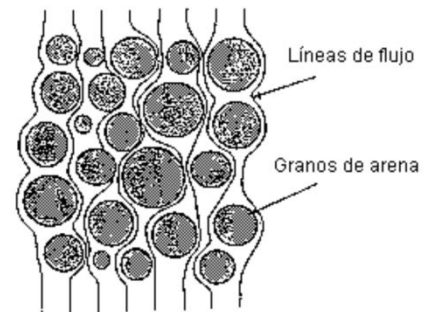


Imagen 14. Líneas de flujo en el interior del lecho filtrante. Imagen tomada de CANEPA de Vargas, L. (s.f.). Filtración lenta como proceso de desinfección. Lima, Perú: CEPIS-OPS.

➤ Probabilidad de colisión

Todo el análisis efectuado hasta ahora está estrechamente relacionado con la oportunidad de colisión entre una partícula y un grano de arena, El número de colisiones por unidad de desplazamiento determina el potencial de remoción mediante la filtración. La remoción final dependerá de que se produzca la adherencia.

### Los mecanismos de adherencia

El material suspendido en el agua también puede quedar retenido en el medio filtrante por una serie de factores químicos y electroquímicos como son:

- Interacción de las Fuerzas Electrostáticas
- Fuerzas de Van der Waals<sup>33</sup>
- Enlace químico entre las partículas y la superficie de los granos

<sup>33</sup> Entre las partículas del medio filtrante y las partículas suspendidas se generan unas fuerzas siempre atractivas debido al movimiento de los electrones en sus órbitas, que hace que se unan entre sí.



#### 1.7.4.2. Factores que influyen en la filtración

Existen numerosos factores que en una forma u otra influyen en la eficiencia del proceso de la filtración, esta influencia tendrá una importancia mayor o menor de acuerdo al medio filtrante que se esté usando.

Generalizando la eficiencia se verá afectada por las siguientes características de la suspensión<sup>34</sup>:

- Tamaño de las partículas suspendida
- Tipo de partículas suspendidas
- Densidad de las partículas suspendidas
- Resistencia y dureza de las partículas suspendidas (flóculos)
- Temperatura del agua a filtrar
- Concentración de partículas suspendidas en el afluente
- Potencial zeta<sup>35</sup> de la suspensión
- pH del afluente.

#### 1.7.4.3. Características del medio filtrante

Un medio filtrante ideal es aquel de una determinada granulometría y granos de un cierto peso específico que requiere una cantidad mínima de agua para ser lavado específicamente y que es capaz de remover la mayor cantidad posible de partículas suspendidas, produciendo un efluente de calidad suficiente al fin que se requiera.

- Características granulométricas del material filtrante<sup>36</sup>
  - Tamaño efectivo: En relación con el porcentaje (en peso acumulado) que pasa por las mallas de una serie granulométrica, el tamaño efectivo se refiere al tamaño de granos correspondiente al porcentaje de 10%.
  - Coeficiente de uniformidad: En relación con el porcentaje (en peso acumulado) que pasa por las mallas de una serie granulométrica, el coeficiente de uniformidad es igual a la relación entre el tamaño de los granos correspondientes a 60% y el tamaño de los granos correspondiente a 10%. (ver Tabla 11)
  - Forma: La forma de los granos normalmente se evalúa en función del coeficiente de esfericidad ( $C_e$ ). El coeficiente de esfericidad de una partícula se define como el resultado de la división del área superficial de la esfera de igual volumen a la del grano por el área superficial de la partícula considerada.
  - Peso específico: El peso específico ( $P_e$ ) del material es igual al peso de los granos dividido por el volumen efectivo que ocupan los granos. (ver Tabla 11)
- El espesor de la capa filtrante: Esta será variable en función de la selección del medio filtrante y de la calidad que se desea obtener, asimismo, se deberá tener en cuenta la duración de la carrera de filtración.

<sup>34</sup> (MALDONADO Yactayo)

<sup>35</sup> Potencial zeta es la media de la energía requerida para llevar una carga unitaria desde el infinito hasta un plano que separe el resto de la dispersión, a la sección de la capa difusa que se mueve junto con las partículas.

<sup>36</sup> (MALDONADO Yactayo)



Tabla 11. Valores normales de materiales filtrantes

Material	Coefficiente de esfericidad	Peso específico (g/cm <sup>3</sup> )
<b>Arena</b>	0.75 – 0.80	2.65 – 2.67
<b>Antracita</b>	0.70 – 0.75	1.50 – 1.70
<b>Granate</b>	0.75 – 0.85	4.00 – 4.20

Fuente: MALDONADO Yactayo, V. (s.f.). Filtración

- Características hidráulicas
  - Tasa de filtración
  - Calidad del efluente
  - Carga hidráulica disponible
  - El método de control de los filtros

### 1.7.5. La desinfección

El último de los tratamientos que se aplica al agua antes de la salida de la planta es la desinfección, para que sea llevada a puntos de consumo. La desinfección se requiere de acuerdo al uso que se le dará al agua tratada.

La desinfección se realiza para:

- Inactivar los microorganismos presentes en el agua procedentes de la captación, así como los que pueden acceder al agua durante el recorrido por las conducciones.
- Garantizar la calidad de las aguas tratadas.

La desinfección de las aguas puede realizarse por diversos procedimientos (ver Tabla 12)

Tabla 12. Métodos de desinfección		
<b>FÍSICOS</b>	Calor	Sistema muy empleado en desinfección casera con temperaturas $\geq 100$ °C
	Coagulación – floculación	La eliminación bacteriológica depende del diámetro de los filtros usados y de la densidad de las fibras en la base del filtro por lo que requiere la aplicación de otros desinfectantes que garanticen la ausencia total de patógenos
	Filtración	
	Sedimentación	
	Radiación ultravioleta	Efectuada por lámparas que emiten radiación con una frecuencia de 254 nm, se requiere de láminas delgadas de agua para que sea efectiva.
<b>QUÍMICOS</b>	Hipoclorito sódico	Es el más utilizado debido a su bajo costo y su alta efectividad., presenta efecto residual.
	Hipoclorito cálcico	Presenta efecto residual.
	Cloro gas	Presenta efecto residual.
	Dióxido de cloro	Debido a su manejo peligroso no es muy común su uso, presenta efecto residual.



Tabla 12. Métodos de desinfección (Continuación)

Cloraminas	Es de menor efectividad que los hipocloritos pero de mayor duración en el agua.
Ozono	Su mayor desventaja es que no deja una concentración residual, por lo que se aplica instantes antes de que el agua se use. Se requiere un generador de gas ozono in situ.
Sales de plata y cobre	Es de uso casi exclusivo en piscinas y torres de refrigeración.
Permanganato potásico	Elimina olores, hierro y manganeso
Peróxido de hidrogeno	Raramente se usa debido a su poca efectividad
Bromo	Prácticamente solo se emplea en piscinas y torres de refrigeración
Electrólisis	Generador de cloro gas a partir del cloruro sódico.

Fuente: Elaboración propia con datos de la investigación.

#### 1.7.5.1. Cloración

La cloración es el método de desinfección más usado en México debido a su economía y efectividad.

Al agregar cloro al agua se combina de cuatro maneras: primero una parte se mezcla con los compuestos orgánicos que tiene el agua y se destruye; segundo, otra parte se combina con compuestos de nitrógeno y amoníaco, formando lo que se conoce como cloro disponible combinado; tercero, otra parte se combina con el agua para formar ácido hipoclorico, y otra parte más se combina para formar iones de hipocloro. Hay una concentración que no reacciona de forma inmediata y se denomina cloro libre residual (CLR), es la parte germicida más importante del cloro ya que con ella se asegura que el agua está libre de organismos patógenos.

Para verificar que la desinfección es suficiente cuando el agua es tratada con cloro o derivados (excepto cloraminas) se deberá comprobar que existe al menos 0,2 mg/L de CLR en los puntos más alejados de la red. Nunca se superará más de 1 mg/L de CLR. La mejor forma de verificar la desinfección es mediante el análisis microbiológico del agua.

Los hipocloritos que más se utilizan son el sódico y el cálcico. La cloración con hipoclorito sódico es el método de desinfección más utilizado en abastecimientos pequeños.

El cloro gas se usa a través de un reductor a presión normal, en el que el cloro es mezclado con un determinado volumen de agua por unidad de tiempo es preciso adoptar una serie de medidas de seguridad.

Para conseguir una cloración eficaz se requiere:

- Una aplicación uniforme del cloro a todas las porciones del agua tratada
- Determinar correctamente la cantidad de desinfectante a añadir, dependiendo de la concentración del producto, caudal del agua, pH, materia orgánica contenida, nivel de consumo, etc.



- Asegurar un tiempo de reacción del agua con el cloro suficiente (no menos de 30 minutos)

Algunos de los problemas derivados por exceso de cloración son:

- Formación de productos químicos secundarios, algunos potencialmente peligrosos para la salud (trihalometanos)
- Producción de olores y sabores extraños
- Aumento de la corrosión de conducciones y depósitos
- Aumento de los gastos de depuración del agua

Debido a sus propiedades para inactivar microorganismos, se emplea como germicida en los sistemas de distribución de agua potable, en la desinfección de albercas, para la limpieza de hospitales y puede ser usado en la desinfección del agua en casa.

Además de su poder germicida tiene la ventaja de eliminar olores y sabores, evita la formación de algas y ayuda a quitar hierro y manganeso.

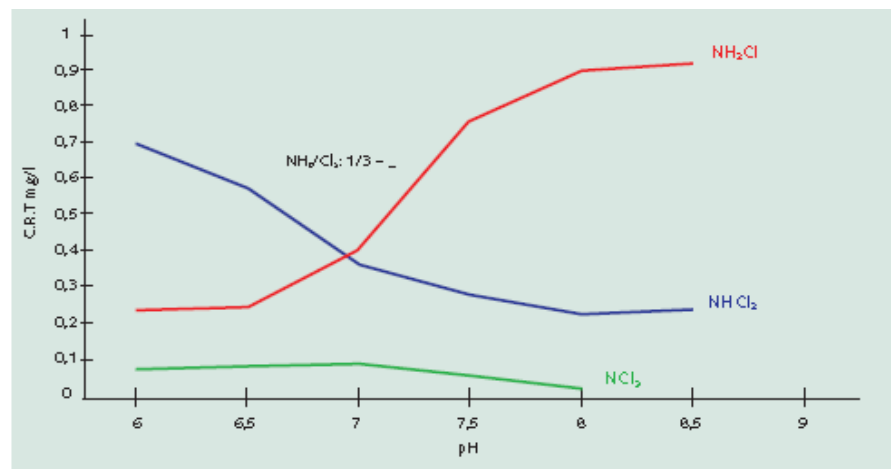
### 1.7.5.2. Cloraminación

El dióxido de cloro es tan efectivo como los hipocloritos o el cloro gas, aunque es más caro y de difícil manejo.

La desinfección por cloraminas consiste en añadir cloro en cantidad apropiada mezclado con amoníaco con objeto de formar monoclорaminas. La reacción del cloro con el amoníaco puede producir tres tipos de cloraminas:

- ❖ Monoclорaminas ( $\text{NH}_2\text{Cl}$ )
- ❖ Dicloraminas ( $\text{NHCl}_2$ )
- ❖ Tricloraminas ( $\text{NCl}_3$ )

Para la desinfección ha de producirse monoclорaminas, ya que las dicloraminas y tricloraminas inducen olores y sabores al agua y producen sustancias secundarias indeseables. La formación de monoclорaminas se obtiene mediante una proporción adecuada de amoníaco y cloro (1/3 ó 1/4) y un pH relativamente elevado (>8,5) (ver Grafica 1)



Grafica 1. Formación de cloraminas





### **1.7.5.3. Ozonización**

El ozono es un oxidante muy potente. Es muy volátil y no es conveniente su utilización como desinfectante único, ya que no deja una concentración residual en el agua.

La aplicación al agua se hace a través de generadores de ozono. Actualmente no es muy utilizado debido al elevado costo de producción y a la necesidad de personal calificado. Aunque, en el mercado se puede observar que comienzan a salir modelos de ozonificadores para su uso en viviendas para volúmenes extremadamente pequeños y que se aplican momentos antes del aprovechamiento del agua.

Estos son equipos eléctricos que se instalan en el lugar de su uso, ya que carecen de efecto germicida residual. Las empresas que comercializan los ozonificadores caseros aseguran que sus unidades no requieren más mantenimiento que el cambio periódico del tubo generador y cambio del filtro de aire.

Prácticamente lo que los ozonizadores hacen es producir ozono a partir del oxígeno del aire, sometiendo al oxígeno del aire a una descarga eléctrica que lo transforma en ozono

La desinfección con base en ozono tiene ventajas sobre otros medios ya que mejora el color, el olor y el sabor del agua.

### **1.7.5.4. Permanganato potásico**

Es un buen desinfectante que elimina olores y sabores, así como hierro y manganeso

### **1.7.5.5. Peróxido de hidrógeno**

Es un desinfectante pobre, por lo que se precisa de grandes cantidades para su aplicación.

### **1.7.5.6. Bromo y sales de plata y cobre**

Las características del bromo, plata y cobre (algicidas y desinfectantes) hacen que su utilización se limite a piscinas y desinfección de torres de refrigeración.

### **1.7.5.7. Radiación ultravioleta**

La radiación ultravioleta (RUV) constituye una parte del espectro electromagnético con longitudes de onda entre 100 y 400 nanómetros (nm).

El poder germicida de la radiación ultravioleta y el hecho de que no producen sustancias secundarias, los califican como un buen desinfectante. No obstante, para exponer el agua a la radiación se necesita hacerla pasar a través de láminas delgadas. Esto para garantizar que toda la masa de agua recibirá la radiación ultravioleta y por ende todos los microorganismos sean inactivados.

La desinfección por radiación ultravioleta tiene como blanco principal llegar al material genético. Los microbios son destruidos por la radiación ultravioleta cuando la luz penetra a través de la célula y es absorbida por el ácido nucleico. La absorción de la luz ultravioleta por el ácido nucleico



provoca una reordenación de la información genética, lo que interfiere con la capacidad reproductora de la célula. Por consiguiente, los microorganismos son inactivados por la RUV como resultado del daño fotoquímico que sostiene el ácido nucleico.

Los factores que afectan la desinfección eficaz con RUV son:

- Calidad del agua
- Transmisión de la RUV
- Sólidos en suspensiones
- Nivel de orgánicos disueltos
- Dureza total
- Condición de la lámpara
- Limpieza del tubo de cuarzo
- Tiempo de uso de la lámpara
- Tratamiento del agua antes de aplicar la RUV
- Flujo
- Diseño del reactor

Estos factores están relacionados principalmente con la exposición de los contaminantes en el agua y la transmisión eficiente de la RUV para una desinfección adecuada.

La RUV es producida como resultado del flujo de corriente a través del vapor de mercurio entre los electrodos de la lámpara. Las lámparas de baja presión de mercurio producen la mayoría de los rayos con longitud de 253.70 nm. Esta longitud es muy próxima a la longitud de 260 a 265 nm, la más eficiente para matar microbios.

Actualmente se encuentran en el mercado básicamente dos tecnologías de lámparas de luz ultravioleta, aplicable a la desinfección del agua potable:

- 1) Presión de mercurio baja
- 2) Presión de mercurio mediana

Se comercializan en el mercado pequeños aparatos eléctricos que contienen una lámpara de esta luz, los cuales se colocan en el punto de uso, debido a que no dejan residuos germicidas residuales, los fabricantes aseguran que requieren de muy poco mantenimiento, generalmente solo el cambio anual de la lámpara la cual tiene una vida útil de 7000 horas.

#### **1.7.5.8. Carbón Activado**

El término carbón activo designa un amplio espectro de materiales que se diferencian fundamentalmente en su estructura interna (distinción de poros y superficie específica) y en su granulometría.

El carbón activado es el mejor adsorbente de uso general para remoción/reducción de muchos compuestos orgánicos—y aún algunos inorgánicos— presente en el agua.

En los años 60, varias plantas de tratamiento de aguas empezaron a utilizar carbón activado en polvo (CAP) o carbón activado granular (CAG) para el tratamiento del sabor y del olor.

El carbón activado se fabrica a partir de cualquier material carbónico como la madera, el carbón mineral, la cáscara de coco, etc., el cual es clasificado según el tamaño, carbonizado y activado



para crear la enorme área superficial y la estructura interna del poro que define al carbón activado.

Son las altas temperaturas (982 - 1,093 °C), la atmósfera especial del horno y la inyección de vapor del proceso de fabricación lo que “activa” y crea la porosidad, dejando mayormente una “esponja” de esqueleto de carbón.

El área superficial (AS) del carbón activado varía de 500 a 2,500 metros cuadrados por gramo ( $\text{m}^2/\text{g}$ ), el grado típico de carbón para tratamiento de agua tiene un área de superficie de 900 a 1,100  $\text{m}^2/\text{g}$ .

El carbón activo tiene una gran variedad de tamaños de poros, los cuales pueden clasificarse de acuerdo a su función, en poros de adsorción y poros de transporte.

Los primeros consisten en espacios entre placas graníticas con una separación de entre una y cinco veces el diámetro de la molécula que va a retenerse. En éstos, ambas placas de carbón están lo suficientemente cerca como para ejercer atracción sobre el adsorbato y retenerlo con mayor fuerza.

Otra clasificación de los poros, es el de la IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemists), que se basan en el diámetro de los mismos, de acuerdo a lo siguiente:

- Microporo: Menores a 2 nm
- Mesoporos: Entre 2 y 50 nm.
- Macroporos: Mayores a 50 nm (típicamente de 200 a 2000 nm)

Es conveniente utilizar la prefiltración y/o el tratamiento biológico/químico antes del sistema CAG, el cual actúa entonces como un filtro de pulido final económico.

Para la mayoría de los sistemas de tratamiento de aguas/aguas residuales industriales, comerciales y municipales, el CAG se utiliza en una operación de columna y la corriente del líquido se pasa a través de la cama de CAG en un flujo descendente o, en situaciones especiales, en el modo de flujo ascendente

En los sistemas de tratamiento de aguas usan comúnmente el carbón activado a base de carbón mineral y de cascara de coco. La vida de servicio depende del tipo de carbón, de los contaminantes en el afluente, de la capacidad de flujo, del tiempo de contacto, del diseño del sistema, etc.

El carbón activado remueve compuestos causantes de sabor, olor, así como el cloro y las cloraminas presentes en el agua.



## 1.8. Uso del agua tratada

La reutilización del agua es un fenómeno que se produce en el planeta desde que los seres vivos existen sobre él y se conoce como el Ciclo Hidrológico. En definitiva, la recuperación del agua no es más que una manifestación del proceso cíclico continuo que experimentan los recursos naturales del planeta.

Junto a esta forma de reutilización del agua, denominada incidental o fortuita, ha surgido durante las últimas décadas un enorme interés por la reutilización planificada del agua, por darle más de un uso al agua que es suministrada a las ciudades.

Es importante destacar que la reutilización planificada ha alcanzado un gran desarrollo, no sólo en países con una escasez tradicional de recursos hídricos, sino especialmente en países con gran cantidad de estos recursos y con un elevado nivel de vida. Los altos incrementos de la demanda de agua, con frecuencia en los lugares donde es escasa, han motivado a dirigirse hacia los efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) como una fuente alternativa de captar el recurso y aliviar la presión existente. Una vez sometidos a un proceso adecuado de regeneración, estos efluentes son reutilizados para riego agrícola y de jardinería, para refrigeración industrial, para recuperación ambiental y para recarga de acuíferos, entre otros reusos.

La consideración del agua residual tratada como un subproducto conlleva diversas exigencias técnicas que pueden resumirse en términos de fiabilidad (garantía) tanto de su calidad como de su cantidad. Esta consideración de producto exige en la práctica una observancia estricta de la calidad del agua residual empleada como materia prima, un diseño adecuado de los depósitos del agua reciclada con criterios de fiabilidad y seguridad y una operación y mantenimiento de los mismos con una mentalidad propia del que elabora un producto de calidad definida.

En lugar de utilizar agua potable de consumo público, actualmente se están reutilizando aguas residuales tratadas, con una calidad sanitaria y estética similar a la del agua de abastecimiento. Aparte de agotar todos los recursos tecnológicos al alcance, para disminuir el uso de agua en el hogar y en las actividades comerciales e industriales es necesario pensar en esquemas que permitan el buen uso del agua en las ciudades; es decir, reutilizar el agua, que de otra manera se convertiría en aguas negras, tantas veces como sea posible mediante tratamientos adecuados. Con estos esquemas, que no son nuevos, pero que hasta ahora han sido apenas incipientes, se podría utilizar agua de menor calidad en actividades que así lo permitan y con ello, liberar la de adecuada calidad sólo para consumo humano u otros usos especializados.

El agua residual depurada tiene diferentes aplicaciones de reutilización dependiendo del tipo de clasificación, como se puede observar en la Tabla 13



Tabla 13 Tipos de reutilización del agua residual tratada

Tipo de reutilización		Aplicaciones	
Usos urbanos	Sin restricciones (calidad máxima)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Riego de zonas verdes</li> <li>• Otros usos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Parques urbanos</li> <li>➤ Jardines</li> <li>➤ Patios de escuela</li> <li>➤ Aire acondicionado</li> <li>➤ Fuentes ornamentales</li> <li>➤ Agua para incendios</li> <li>➤ Campos de deporte</li> </ul>
	Riego en zonas de acceso restringido (control del uso)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Riego en zonas, en la que el acceso de público es poco frecuente y controlado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Cementerio</li> <li>➤ Cinturones verdes</li> <li>➤ Áreas residenciales</li> <li>➤ Zonas verdes en vías de comunicación</li> </ul>
	Otros usos sin calidad Máxima		<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Limpieza de vehículos</li> <li>➤ Limpieza de calles</li> <li>➤ Tanque de inodoro</li> <li>➤ Construcción</li> </ul>
Riegos agrícolas	Consumo humano		<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Cultivos para consumo humano no procesados</li> </ul>
	Cuidar que no se consumen o que se consumen después de procesarlos.		<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Forrajes, pastos</li> <li>➤ Fibra</li> <li>➤ Viveros, semillas</li> <li>➤ Acuicultura</li> <li>➤ Biomasa vegetal</li> </ul>
	Riego localizado	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Posibilidad de</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Sin limitación de</li> </ul>



Tabla 13 Tipos de reutilización del agua residual tratada

(Continuación)

Tipo de reutilización		Aplicaciones	
	superficial	contacto con público y trabajadores	calidad para conreos aéreos.
	Riego localizado subterráneo.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sin posibilidades de contacto con público y trabajadores</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sin limitación de calidad para preparar el cultivo de las tierras.</li> </ul>
<b>Usos recreativos</b>	Sin restricciones (calidad máxima)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Con contacto agua/ usuario</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Natación</li> <li>Fabricación de nieve</li> </ul>
	Cuidado de uso	<ul style="list-style-type: none"> <li>Actividades sin contacto</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Campos de golf y pesca</li> <li>Remo/ navegación</li> </ul>
<b>Mejora ambiental</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Creación de estanques</li> <li>Creación de zonas húmedas</li> <li>Mejora de paisajes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Zonas húmedas para tratamientos</li> <li>Recuperación/ mantenimiento de zonas húmedas</li> <li>Implantación/ cambios de vegetación.</li> </ul>
<b>Recarga de aguas subterráneas.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Calidad de agua potable</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aplicación en profundidad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Recarga de acuíferos explotados para abastecimiento</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Otras calidades</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aplicación en superficie</li> <li>Aplicación en profundidad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Lucha contra subsidencia</li> <li>Lucha contra intrusión</li> <li>Tratamiento de aguas residuales</li> </ul>



Tabla 13 Tipos de reutilización del agua residual tratada

(Continuación)

Tipo de reutilización		Aplicaciones	
<b>Ganadería</b>	• Calidad potable		• Agua de bebida
	• Calidad no potable		• Limpiezas • Arrastre de residuos
<b>Acuicultura animal</b>			Cría de peces y moluscos
<b>Reutilizaciones industriales</b>		• Agua de proceso	• Calderas
		• Agua para limpieza/ lavado • Enfriamientos • Obras públicas	• Agua para refrigeración • Agua para enfriamiento • Control del polvo • Compactación de suelos
<b>Reutilización Potable</b>	Calidad potable Concepto de barrera múltiple	• Agua de abastecimiento	• Suministro total • Mezcla con otras fuentes

FUENTE: SALGOT, M. (1994). Prevención de los riesgos Sanitario derivado de la reutilización de aguas residuales.

## 1.9. Plantas de tratamiento de aguas residuales municipales

Con la finalidad de conocer la infraestructura que requiere una planta de tratamiento de aguas residuales municipales, así como los distintos tratamientos, se presenta una serie de esquemas de diversas plantas con distintas tecnologías de tratamiento de aguas residuales.

Según datos de la CONAGUA en el año 2009 se tenían registradas en el país 2029 plantas en operación, con una capacidad instalada de 120,860.89 L/s y caudal tratado de 88,127.08 L/s, lo que permite alcanzar una cobertura de tratamiento del 42.1% del agua residual generada y colectada en los sistemas municipales de alcantarillado del país.

En las siguientes imágenes se muestran los esquemas<sup>37</sup> de los procesos de tratamiento de aguas residuales más comunes que se utilizan en plantas mexicanas.

<sup>37</sup> Esquemas extraídos de (COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, 2009)



Tipo de proceso	Lodos Activados
Planta	El Cedazo, Aguascalientes.
Capacidad	60 litros por segundo

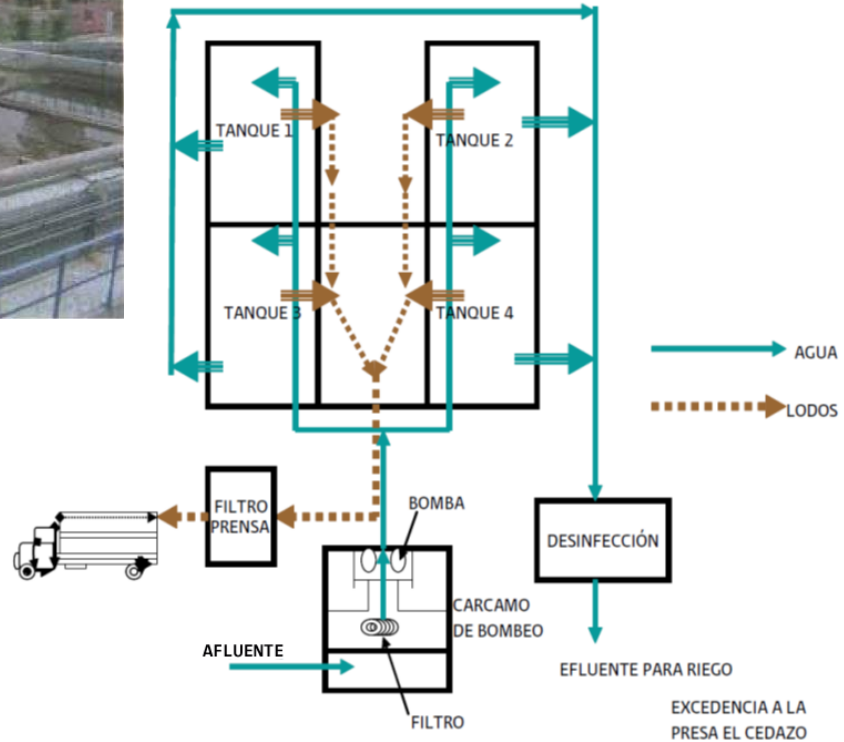


Imagen 15. Planta de tratamiento de aguas residuales el Cedazo, Ags.

Tipo de proceso	Lagunas aireadas
Planta	Norte, San Luis Potosí, S.L.P.
Capacidad	400 litros por segundo

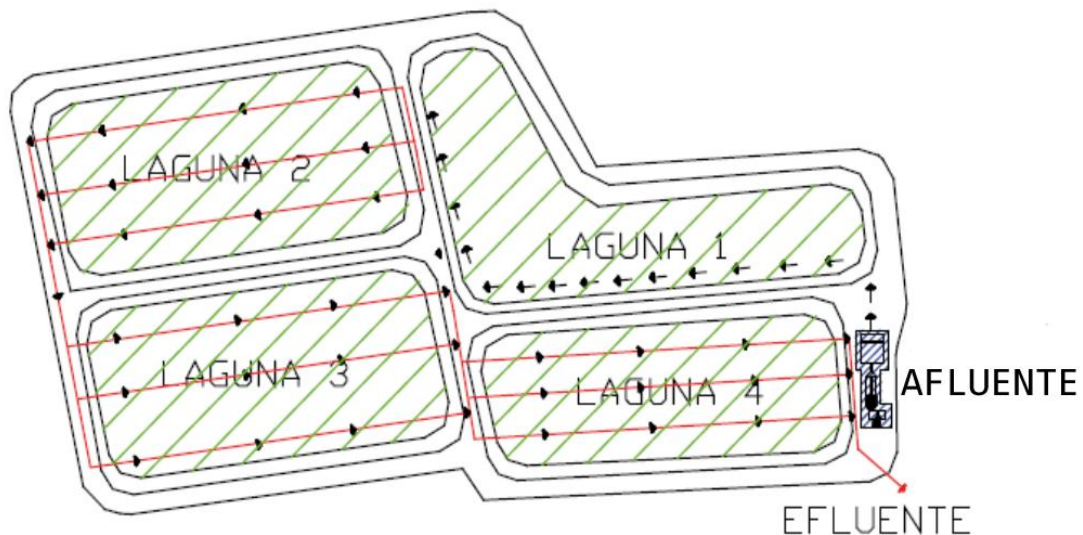


Imagen 16. Planta de tratamiento de aguas residuales, Norte, San Luis Potosí, S.L.P.





Tipo de proceso	Lodos Activados
Planta	Jesús María, Aguascalientes.
Capacidad	100 litros por segundo

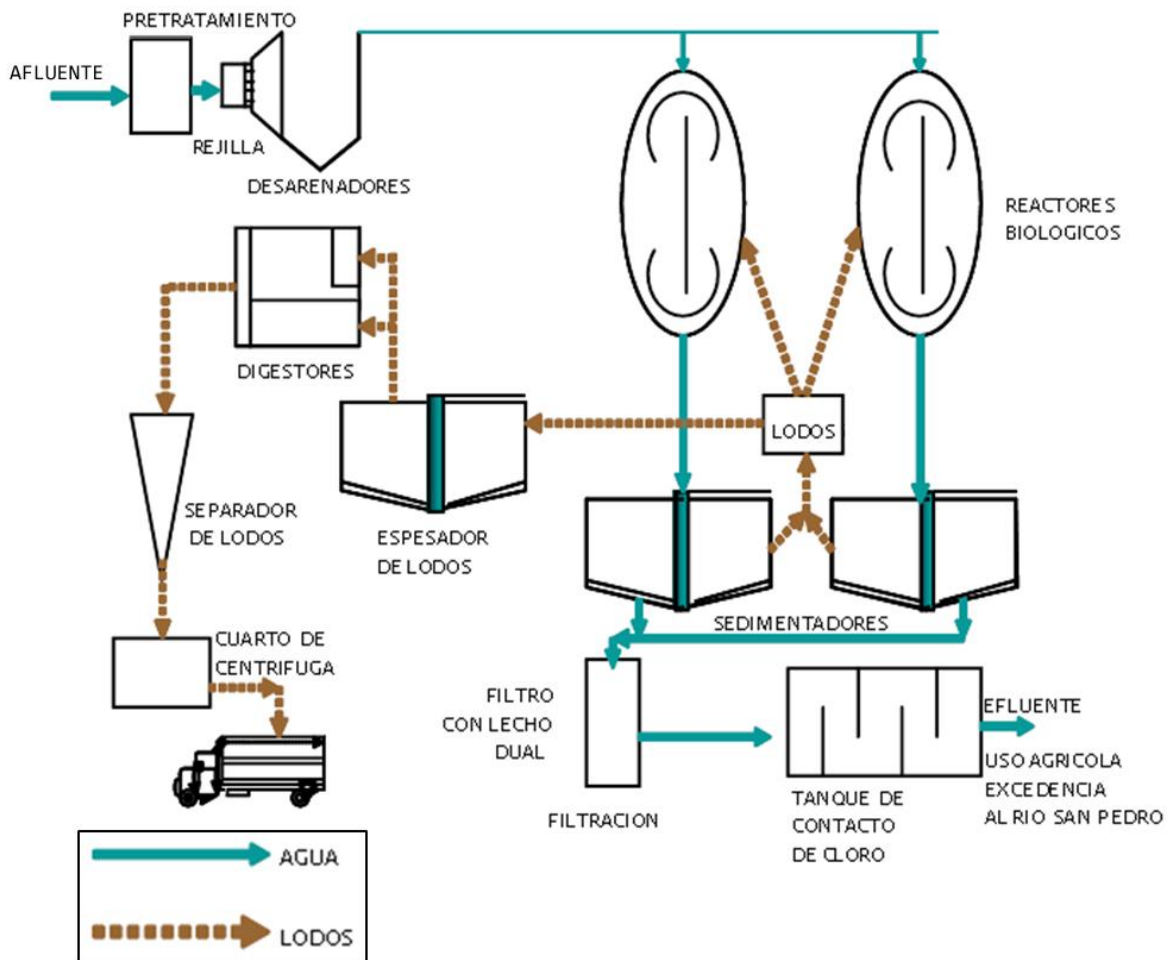
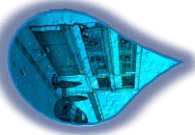


Imagen 17. Planta de tratamiento de aguas residuales, Jesús María, Ags



**PROGRAMA DE MAESTRÍA EN ARQUITECTURA**  
**CAMPO DE CONOCIMIENTO TECNOLOGÍA**  
AGUAS GRISES: RECOLECCIÓN, TRATAMIENTO, USO E  
INTEGRACIÓN EN LA EDIFICACIÓN HABITACIONAL

Tipo de proceso	Lodos Activados
Planta	La Mira, Acapulco, Gro.
Capacidad	30 litros por segundo

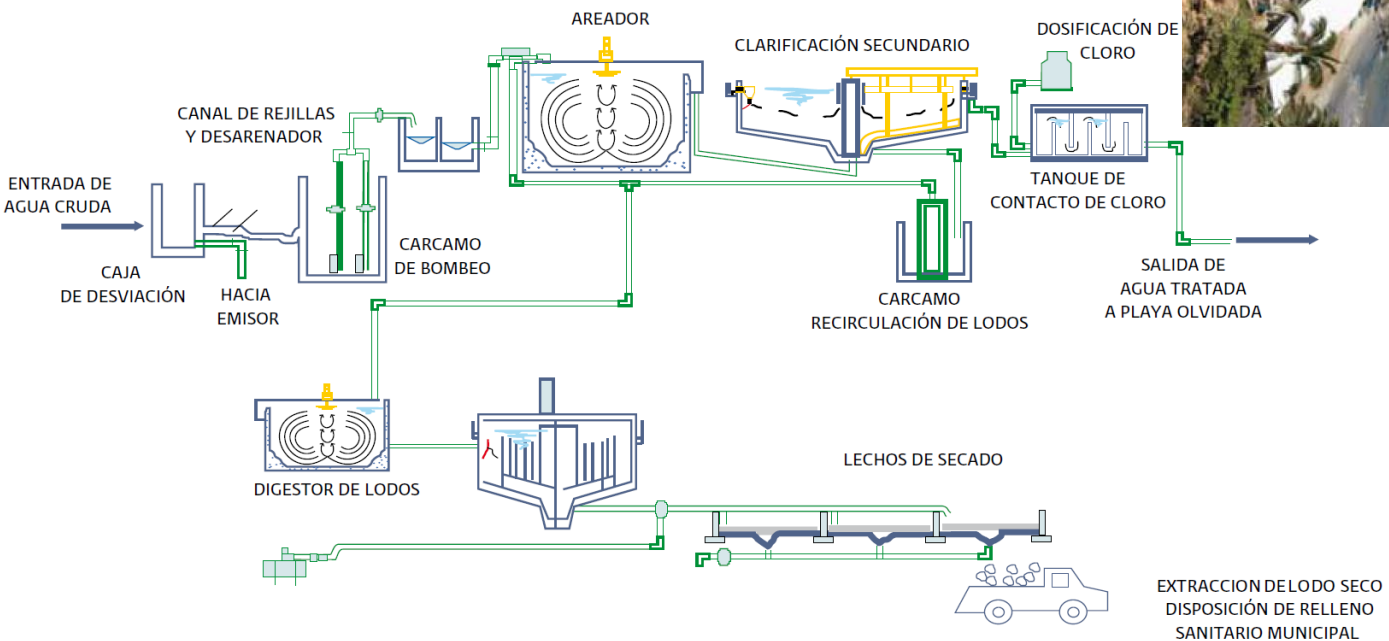
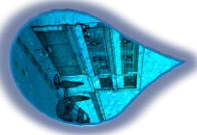


Imagen 18. Planta de tratamiento de aguas residuales, La Mira, Acapulco, Gro.



**PROGRAMA DE MAESTRÍA EN ARQUITECTURA**  
**CAMPO DE CONOCIMIENTO TECNOLOGÍA**  
 AGUAS GRISAS: RECOLECCIÓN, TRATAMIENTO, USO E  
 INTEGRACIÓN EN LA EDIFICACIÓN HABITACIONAL

Tipo de proceso	Lodos Activados
Planta	Dulces Nombres, Pesquería, Nuevo León.
Capacidad	5000 litros por segundo

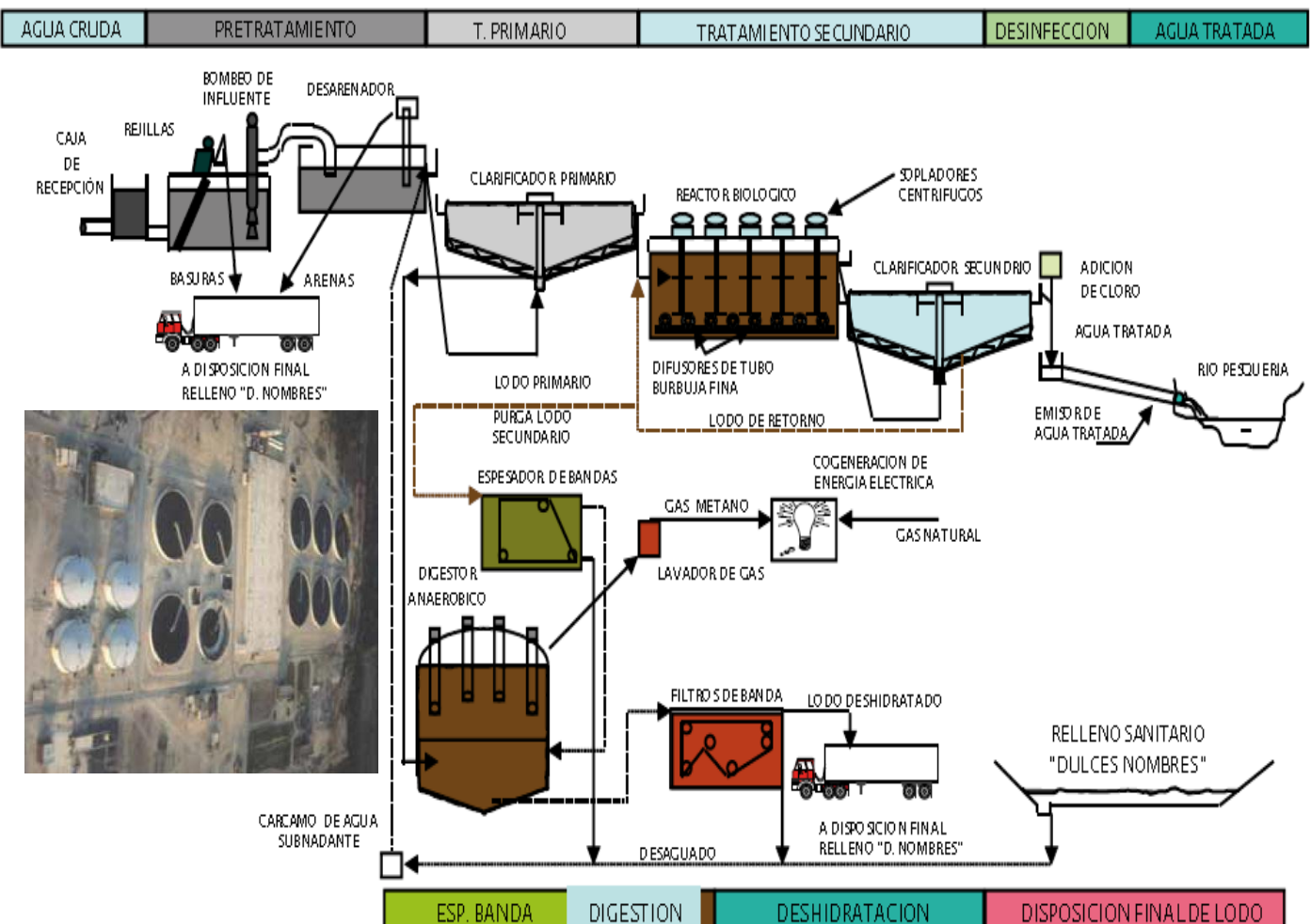
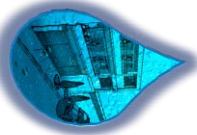


Imagen 19. Planta de tratamiento de aguas residuales, Dulces Nombres, Pesquería, N.L.



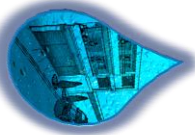
**PROGRAMA DE MAESTRÍA EN ARQUITECTURA**  
**CAMPO DE CONOCIMIENTO TECNOLOGÍA**  
AGUAS GRISES: RECOLECCIÓN, TRATAMIENTO, USO E  
INTEGRACIÓN EN LA EDIFICACIÓN HABITACIONAL



Tipo de proceso	Lagunas de estabilización
Planta	González Ortega, Mexicali, B.C.
Capacidad	80 litros por segundo



Imagen 20. Planta de tratamiento de aguas residuales, González Ortega, Mexicali, C.V.



Tipo de proceso	Zanjas de oxidación
Planta	El Naranjo, Ensenada, B.C.
Capacidad	500 litros por segundo

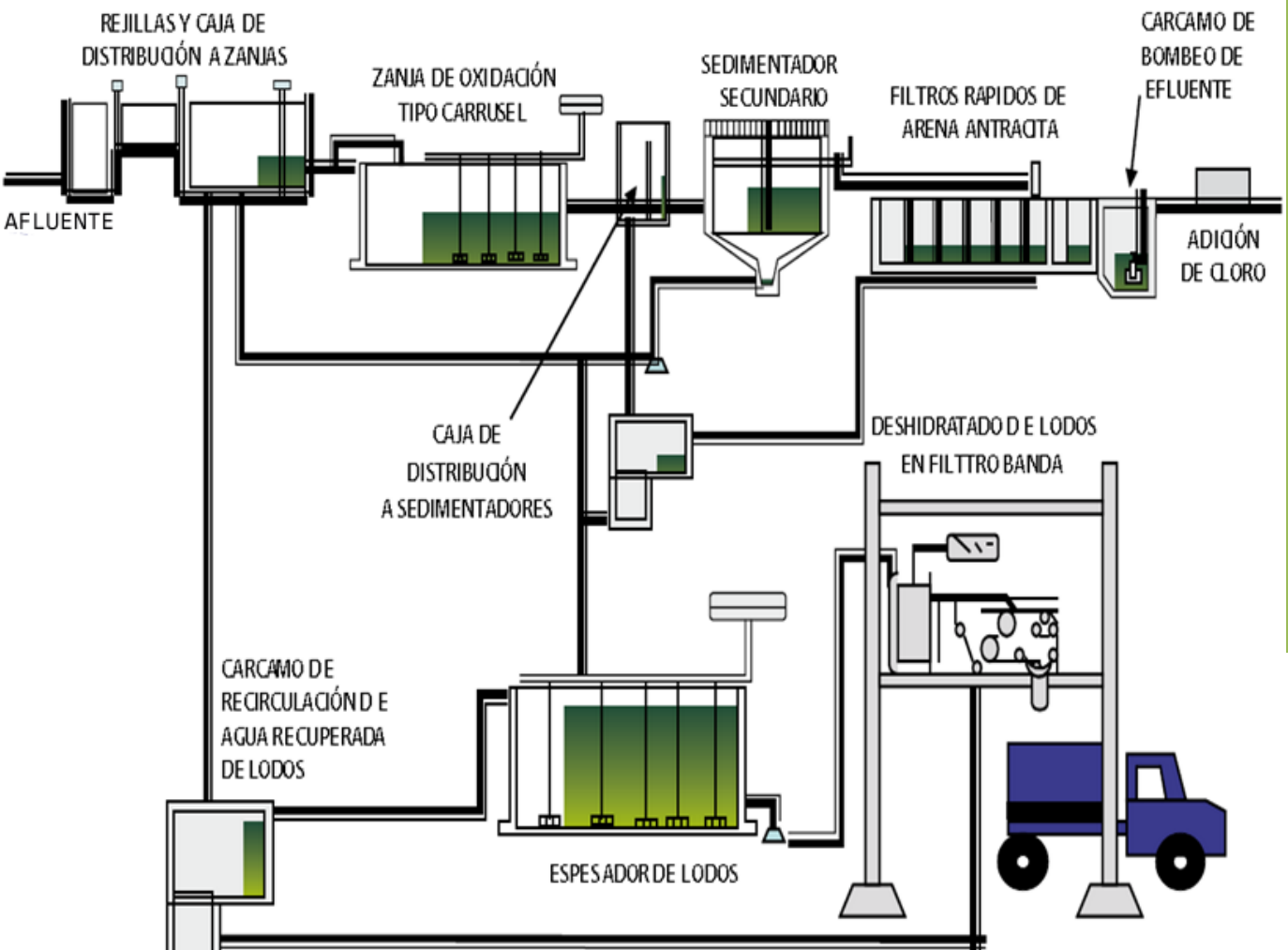
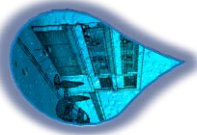


Imagen 21. Planta de tratamiento de aguas residuales, El Naranjo, Ensenada B.C.



**PROGRAMA DE MAESTRÍA EN ARQUITECTURA**  
**CAMPO DE CONOCIMIENTO TECNOLOGÍA**  
 AGUAS GRISAS: RECOLECCIÓN, TRATAMIENTO, USO E  
 INTEGRACIÓN EN LA EDIFICACIÓN HABITACIONAL

Tipo de proceso	Filtros Biológicos
Planta	Pasó Limón, Tuxtla Gutiérrez, Chis.
Capacidad	800 litros por segundo

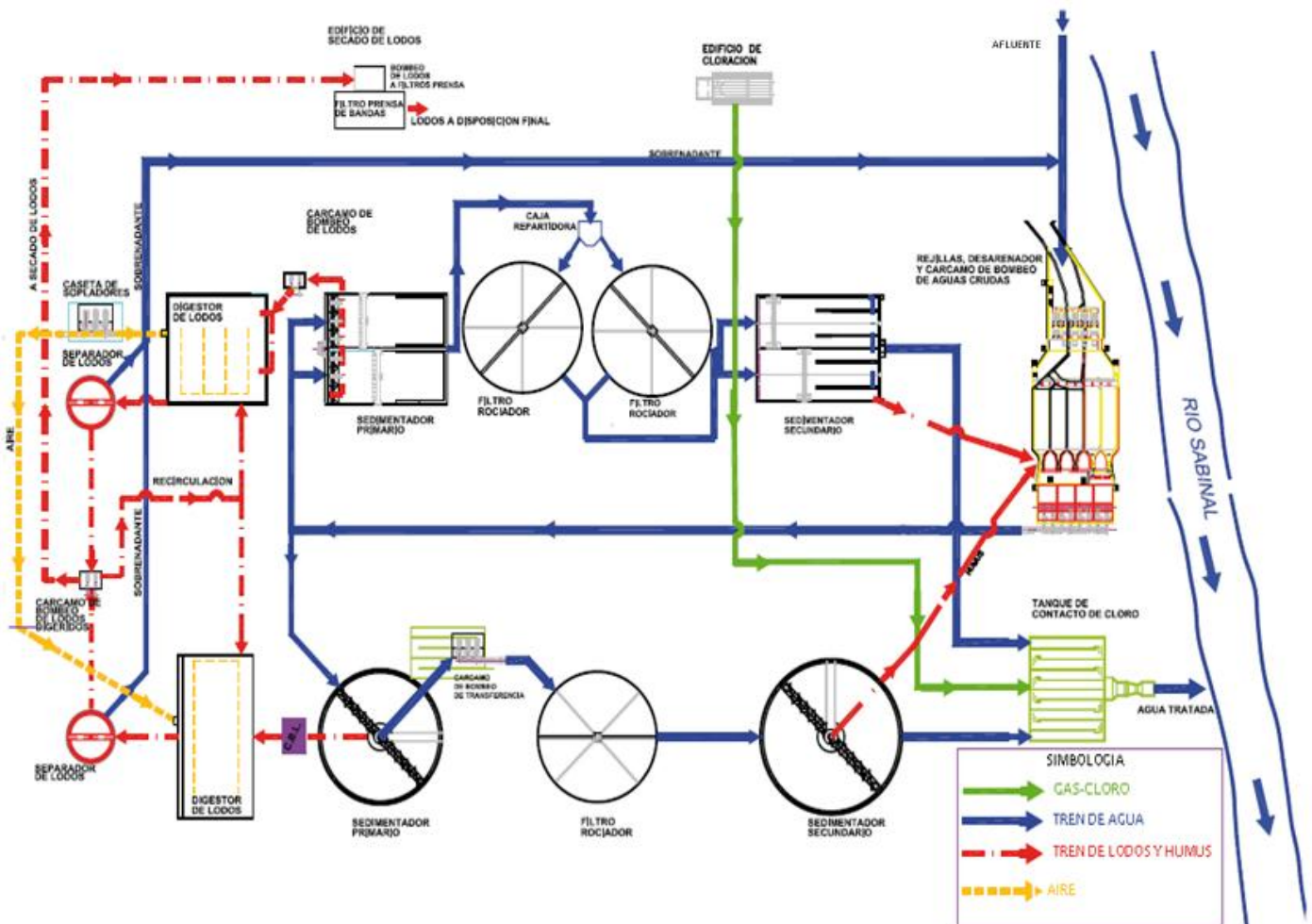
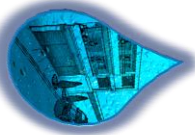


Imagen 22. Planta de tratamiento de aguas residuales, Pasó Limón, Tuxtla Gutiérrez, Chis.



Tipo de proceso	Dual Biofiltros-lodos activados
Planta	Aguascalientes, Ags.
Capacidad	2000 litros por segundo

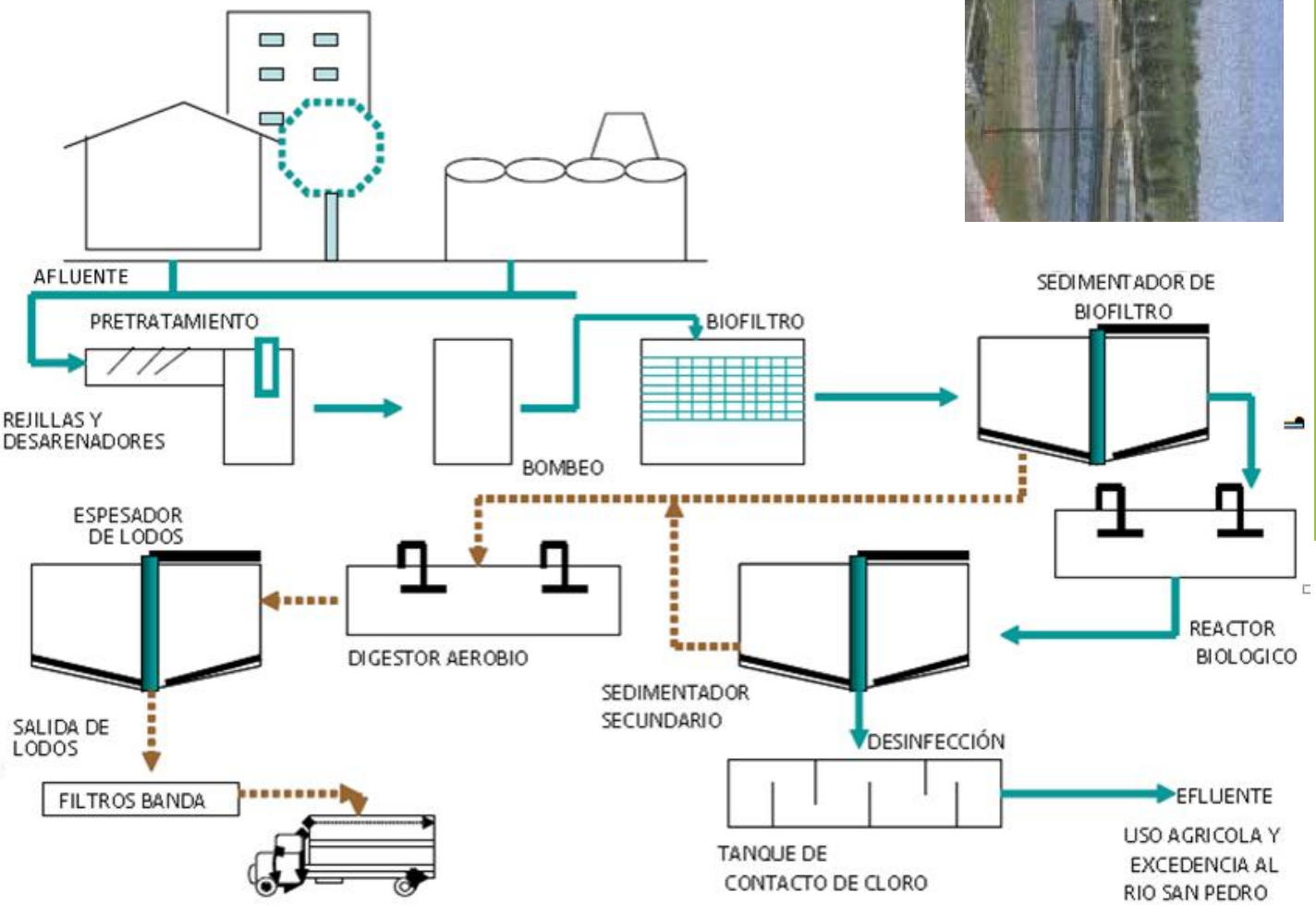
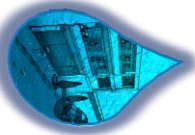


Imagen 23. Planta de tratamiento de aguas residuales, El Naranjo, Ensenada B.C.



**PROGRAMA DE MAESTRÍA EN ARQUITECTURA**  
**CAMPO DE CONOCIMIENTO TECNOLOGÍA**  
 AGUAS GRISES: RECOLECCIÓN, TRATAMIENTO, USO E  
 INTEGRACIÓN EN LA EDIFICACIÓN HABITACIONAL



Tipo de proceso	Primario avanzado
Planta	El Crestón, Mazatlán, Sin.
Capacidad	820 litros por segundo

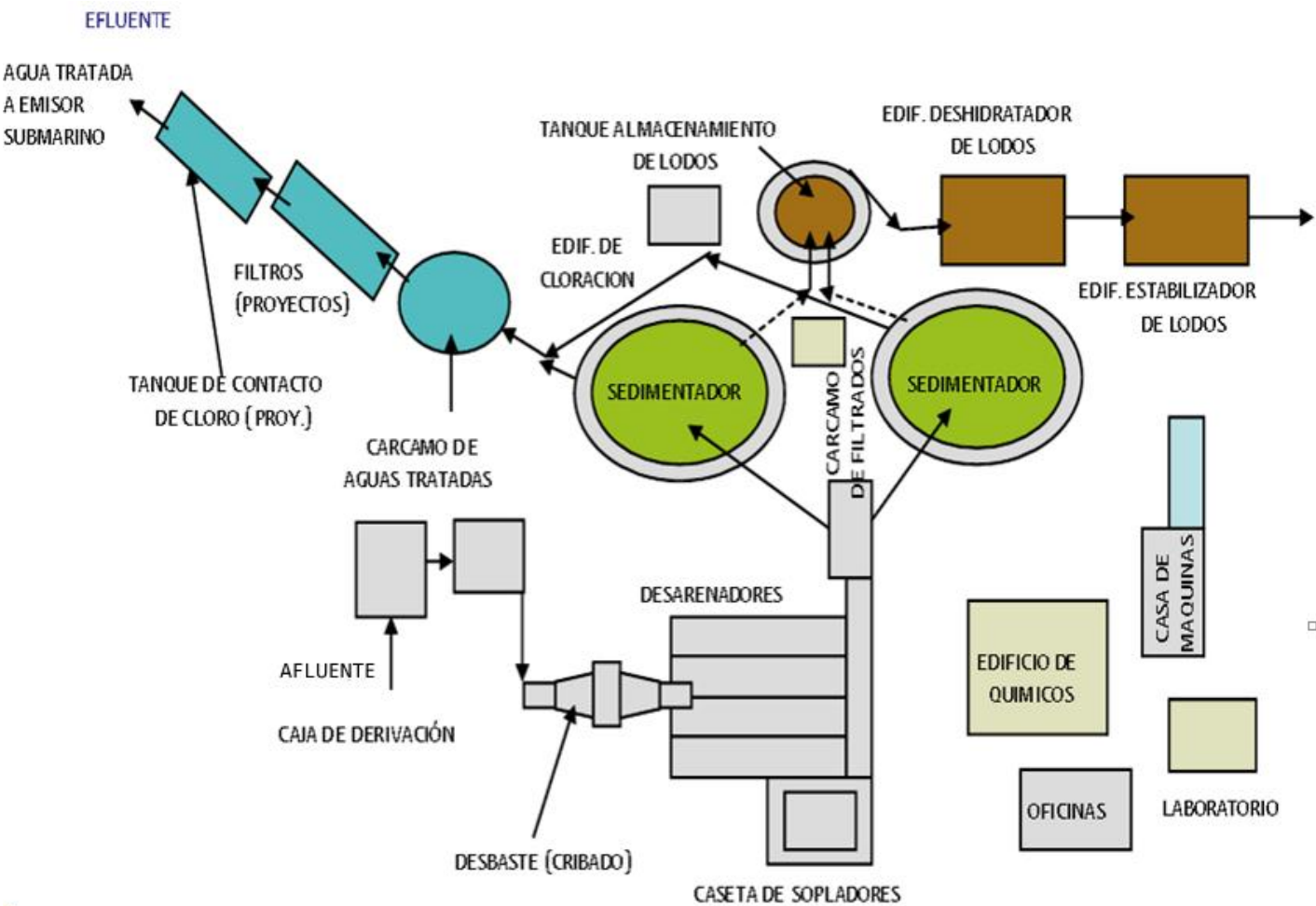
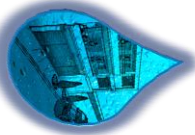


Imagen 24. Planta de tratamiento de aguas residuales, El Crestón, Mazatlán, Sin.





Tipo de proceso	Rafo o Wash
Planta	Firiob, Ixtaczoquitlan, Veracruz.
Capacidad	1250 litros por segundo

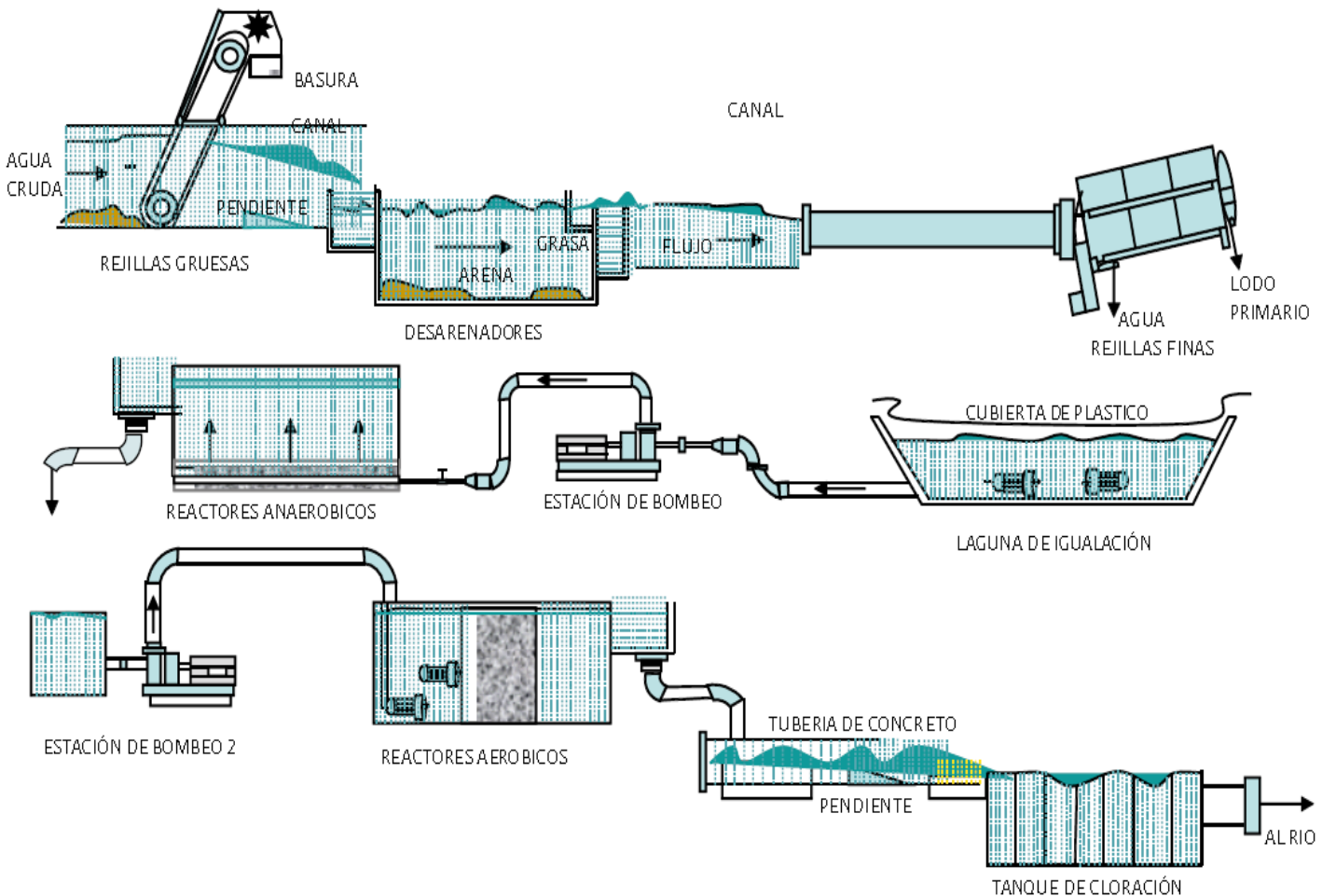


Imagen 25. Planta de tratamiento de aguas residuales, Firiob, Ixtaczoquitlan, Ver.



## **2. CASO DE ESTUDIO**

### **2.1. Planteamiento del tema.**

La problemática del agua es un tema complejo y con alto impacto a nivel mundial, por lo cual, se torna como una de las cuestiones más importantes a tratar en este siglo y que requiere atención inmediata, el estrés hídrico no es un problema estático si no que este se acrecentará debido al crecimiento poblacional, al cambio climático, a la mala cultura del agua, al incorrecto manejo por parte de los organismos operadores, a las actividades económicas, entre otros.

El tema del agua es un asunto que debe de abordarse y conducirse inmediatamente para mitigar los efectos que está causando a nivel mundial y así participar de lleno en el desarrollo sustentable. El enfrentarse a esta problemática debe ser por parte de todos los actores gubernamentales en conjunto con la población y así desarrollar una cultura del agua dirigida hacia la sustentabilidad.

Dentro del marco de país en México el desabasto de agua es considerado un problema grave, el cual se agudiza en la zona centro que es el área comprendida por la ZMVM. Históricamente los gobiernos han tratado esta problemática importando el agua de cuencas lejanas a la ZMVM lo cual implica crear toda una compleja red de infraestructura para su transporte y almacenamiento, esto no implica solo el gasto económico y energético que la construcción y operación que esta red requiere, sino que conlleva un desabasto hídrico en el territorio que abastece originalmente la cuenca que exportara el recurso hídrico, provocando un deterioro en la calidad de vida y un descontento social en la población.

Recientemente se buscan soluciones alternativas a la problemática del recurso hídrico que aqueja a la ZMVM, una de ellas es la construcción de vivienda verde o sustentable. La Comisión Nacional de la Vivienda (CONAVI), el Infonavit, la Sociedad Hipotecaria Federal, la Canadevi y las sofoles, están diseñando códigos de construcción, viviendas y productos hipotecarios enfocados en la sustentabilidad.

Una vivienda verde ahorra cuando menos 30% de energía eléctrica, 50% de gas y 60% de agua sin modificar sustancialmente la inversión, por lo que la construcción sustentable no es sólo para las sociedades ricas, sino para todas. En éste sentido, los proyectos de vivienda alcanzan con facilidad el doble objetivo: la factibilidad de servicios y la operación más económica y por lo tanto, la más rentable<sup>38</sup>.

Este trabajo se aboca a la parte del ahorro de agua potable en vivienda mediante un segundo uso, proporcionando una propuesta del tratamiento de aguas grises en el municipio de Nezahualcóyotl, se eligió este municipio ya que presenta condiciones altas de renovación de las construcciones (por múltiples factores, entre los que destaca el deterioro de las mismas. Cuando se inició el municipio muchas de sus construcciones se realizaron con agua contaminada debido a la carencia, en ese tiempo, de la red de agua potable. Lo cual marcó el corto tiempo de vida de las construcciones) y a que los terrenos en su mayoría son de tamaño muy similar, lo cual hace que sirva como modelo para implementar en la ZMVM.

La delimitación de la zona se basó en una motivación por fomentar el ahorro de agua potable a nivel habitacional, ya que la zona es en su mayoría habitacional.

Como experiencia dentro de la rama de proyectos y construcción, se ha visto que muchas familias desean aprovechar las aguas grises y/o pluviales, dejando los proyectos en manos de empresas

---

<sup>38</sup> (LEÓN Garza, 2008)



que poco o nada conocen del tema, generando un deficiente tratamiento y altos costos energéticos que se transforman en gastos para el usuario y/o propietario y en el peor de los casos se llega a generar un foco de infección que puede poner en riesgo la salud de los usuarios.

Estas empresas con desconocimiento total del tema han propuesto “sistemas de tratamiento de aguas pluviales y/o aguas grises” que van desde usar únicamente una cisterna para captación y de ahí enviarla a los tinacos para usarla directamente sin ningún tipo de control y desconociendo totalmente la calidad del agua captada y si dicha calidad cumple con la normatividad para los distintos usos que se le vaya a dar, mientras que otros proponen aplicar sistemas novedosos pero muy costosos muchas veces mal entendidos y mal aplicados.

Se propone el tema para una obra nueva, debido a que al aplicarse el sistema desde la concepción del proyecto, el costo sería menor y se evitarían adecuaciones posteriores.

En el contexto de la reutilización de agua gris en una edificación es conveniente separar las instalaciones sanitarias: las bajadas de aguas grises que serán las que alimentarán al sistema y las bajadas de aguas negras son las que se irán directamente al alcantarillado municipal. Sin embargo hace falta dividir las instalaciones hidráulicas diferenciándolas en las de agua potable y las de agua tratada de acuerdo a un código de colores y señalizaciones.

Los beneficios de reutilización de agua gris incluyen:

- Se le da más de un uso al agua potable que es transformada en agua gris.
- Menor consumo de agua potable
- Menor abatimiento de los mantos acuíferos
- Mayor recarga de mantos acuíferos
- Menos carga para las plantas de tratamiento, los ríos, lagos y arroyos.
- Se realiza un uso sustentable del agua, mejorando la cultura del agua
- Posibilidad de implementarse en todas las edificaciones habitacionales nuevas.
- En general, beneficios económicos y ambientales.

#### ***Tratamiento de aguas a nivel domiciliario.***

El tratamiento a nivel domiciliario obedece a los mismos principios que las grandes plantas depuradoras, sin embargo, es posible mejorar la eficiencia en la relación costo por metro cubico de agua tratada, si se observan algunos principios básicos tales como la separación de las aguas grises y negras (y mejor aún dividir las aguas grises de acuerdo a su fuente como es principalmente la cocina y el baño), el consumo racional y limitado de detergentes y la exclusión de productos químicos agresivos en la limpieza cotidiana. Es claro que la complejidad de un sistema apropiado de tratamiento a nivel casero está en relación directa con nuestra cultura de consumo.

Por consiguiente, al diseñar un sistema de tratamiento de aguas residuales a nivel habitacional, es necesario hacer una evaluación del nivel óptimo de tratamiento requerido, al igual que una evaluación práctica de cuáles métodos de tratamiento están dentro del presupuesto. Estos métodos podrían estar en función del espacio disponible. El manejo efectivo de aguas residuales



debe dar como resultado un efluente con calidad controlada, que cumpla con la normatividad y que sirva para los fines propuestos.

Al diseñar y proponer un sistema de tratamiento de aguas residuales se debe considerar que la meta del tratamiento de aguas residuales nunca ha sido producir un producto estéril, sin especies microbianas, sino reducir el nivel de microorganismos dañinos a niveles seguros de exposición, donde el agua, resultado del tratamiento, pueda tener contacto con el ser humano sin afectar la salud. Al escoger la tecnología apropiada de tratamiento, deben considerarse cierto número de factores, por ejemplo, la cantidad y composición de los residuos, los estándares del efluente, opciones indicadas de uso y desecho, opciones de pretratamiento y factibilidad de funcionamiento (es decir, inquietudes económicas y técnicas). En esencia la eficacia del tratamiento debe ser balanceada con el costo.

### **Sistemas básicos de tratamiento.**

Generalmente al construir se piensa poco en la disposición de las aguas residuales, por este motivo se suele recurrir a referencias de última página en los manuales de construcción o se enfrenta uno a una variedad de recetas y métodos en los que no existe una verdadera comprensión de los procesos que se promueven y que se presentan como soluciones infalibles. Por otra parte, algunos sistemas bien diseñados para condiciones específicas medioambientales no se adaptan a otras condiciones o son interpretados y adaptados de manera poco escrupulosa.

En esta tesis se plantea una propuesta alternativa para el ahorro de agua potable en zonas urbanas, aprovechando la división que se puede realizar de la calidad de aguas grises dividiéndola básicamente en aguas jabonosas (las que provienen principalmente de lavador y ducha) y aguas con alto contenido de grasas y residuos biodegradables (las que provienen principalmente del lavaplatos y lavamanos), asimismo es conveniente comprender que no todas las actividades que realizamos en la vivienda requieren de agua potable, por lo cual se diferencia la calidad de agua que se necesita para los distintos usos consuntivos a nivel doméstico.

Se diseña un sistema de captación de aguas grises provenientes de la ducha, tina y lavadora, combinado con un tren de tratamiento para eliminar los contaminantes presentes en el agua, aplicado a una casa habitación de nivel socioeconómico medio. Con este sistema se podrá dar un segundo uso al agua gris, generando un ahorro considerable de agua potable. Dicho sistema deberá cumplir con la normatividad aplicable y será integrado a la concepción del proyecto ejecutivo.



## 2.2. Descripción de la zona.

El Municipio de Nezahualcóyotl se localiza al oriente del Estado de México y colinda con el municipio de Ecatepec al norte; al sur con el Distrito Federal y La Paz; al este con los municipios de Texcoco y Chimalhuacán y al oeste con el Distrito Federal.

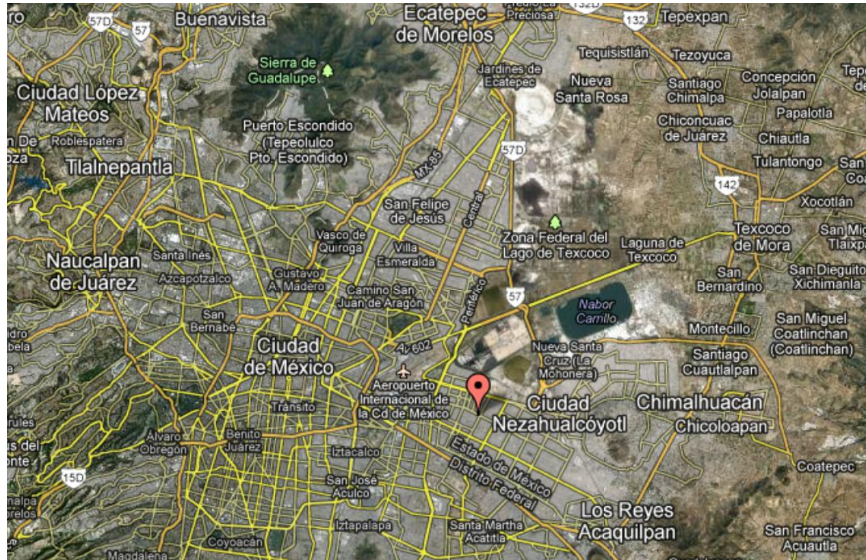


Imagen 26. Ciudad Nezahualcóyotl. Imagen tomada de Google Maps, <http://maps.google.com.mx/> (Fecha de actualización: 12 de enero del 2011)

Cd. Nezahualcóyotl Posee una superficie de 63.74 km<sup>2</sup>, la temperatura media anual oscila entre los 14°C y 16°C, sus coordenadas son:

Tabla 14. Posición Geográfica de CD. Nezahualcóyotl

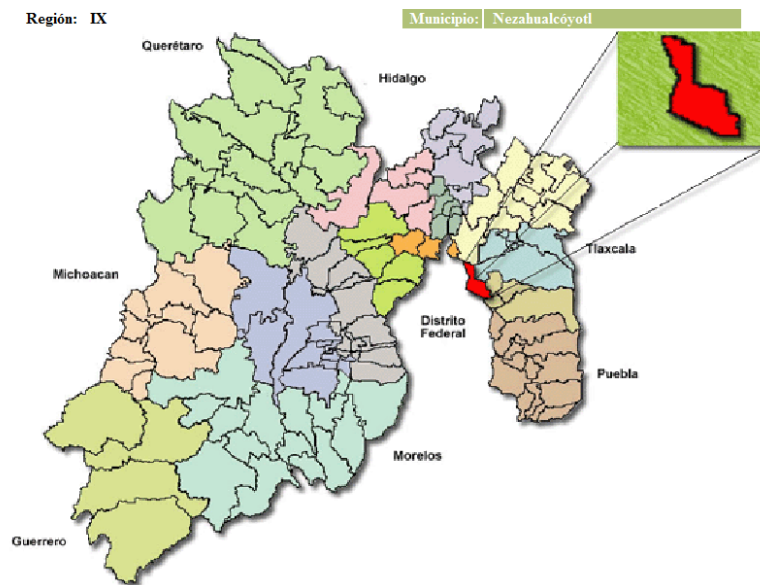
Longitud	Mínima	98°57'57''
	Máxima	99°04'17''
Latitud	Mínima	19°21'56''
	Máxima	19°30'04''
Altitud	2,232 msnm	
Límites geográficos	Al Norte: Ecatepec	
	Al Sur: Distrito Federal y La Paz	
	Al Este: Texcoco y Chimalhuacán	
	Al Oeste: Distrito Federal	

Fuente: H. Ayuntamiento Nezahualcóyotl. (s.f.). Plan de Desarrollo Municipal 2009 - 2012. Recuperado el 2011 de Enero de 25, de H. Ayuntamiento Nezahualcóyotl: <http://www.neza.gob.mx/transparencia/img/doc/291/PLAN-DE-DESARROLLO-MUNICIPAL-2009-2012.pdf>

El contexto inmediato donde se ubica el municipio de Nezahualcóyotl, corresponde a la conformación misma del proceso de poblamiento de la ZMVM, perteneciendo a la región IX. (Ver Mapa 6)

### Población

El conteo poblacional del año 2005 fue de aproximadamente 1'140,528 habitantes. Este municipio cuenta con una alta densidad poblacional; 19,324 habitantes por kilómetro cuadrado,



Mapa 6 Croquis de Localización de Nezahualcóyotl. Mapa tomado de Gobierno del Estado de México.  
<http://qacontent.edomex.gob.mx/edomex/inicio/index.htm> Fecha de actualización: 8 de septiembre del 2010

## Clima

El municipio presenta dos tipos de clima:

- Semiseco templado, con lluvias en verano, con verano cálido presente en el 99.65% de la superficie municipal
- Templado subhúmedo con lluvias en verano, de menor humedad, corresponde al 0.35% de la superficie municipal.

La temperatura máxima oscila entre 30 a 32 °C entre abril y junio. Al comenzar la estación de lluvias, la insolación disminuye, los días son más frescos y se mantienen temperaturas máximas entre 26 y 29°C de julio a octubre; mientras que en la estación fría, la temperatura máxima varía de 26 a 28°C Tomando en cuenta las altas temperaturas que se manifiestan y la frecuencia y duración de los vientos que favorecen a la evaporación, ésta ha alcanzado valores anuales hasta de 2,453.8 mm, con una media de 1,743 mm.

## Precipitación

La precipitación media anual en el municipio es de 774 mm, concentrándose más de la mitad del volumen precipitado, en los meses de junio a octubre. La naturaleza lacustre del municipio de Nezahualcóyotl genera una lucha permanente de las autoridades y sociedad en general, contra el avance de las aguas en temporada de lluvia.

## Uso de suelo:

Los Usos de Suelo se encuentran clasificados como: Urbano Habitacional con comercio básico en donde se ubican las 73 colonias; Industrial y Reserva Federal correspondiente al ex-vaso de Texcoco. La zona urbana se destina principalmente para vivienda.

La densidad de ocupación del territorio municipal para usos urbanos está saturada al 100%, no existen grandes reservas de suelo y las presiones de crecimiento solamente se registran



apuntando hacia el norte de la zona centro, hacia los terrenos que actualmente son ocupados por los tiraderos.

Tabla 15. Clasificación del territorio por ocupación del suelo

Tipo de uso	Superficie (km2)	Principales Características y Problemas <sup>39</sup> que presenta el uso de suelo
<b>Agrícola de Riego</b>	0	No Existen Condiciones Óptimas Para la Agricultura.
<b>Agrícola de Temporal</b>	0	No Existen Condiciones Óptimas Para la Agricultura.
<b>Forestal</b>	0	No Existen Zonas Forestales Por estar Urbanizado casi en su Totalidad.
<b>Pecuario</b>	0	No Existen Zonas Pecuarias Por estar Urbanizado casi en su Totalidad.
<b>Urbano</b>	63.44	Zona Urbana al 100%
<b>Uso especial</b>	0	

Fuente: H. Ayuntamiento Nezahualcóyotl. (s.f.). Plan de Desarrollo Municipal 2009 - 2012. Recuperado el 2011 de Enero de 25, de H. Ayuntamiento Nezahualcóyotl: <http://www.neza.gob.mx/transparencia/img/doc/291/PLAN-DE-DESARROLLO-MUNICIPAL-2009-2012.pdf>

#### Superficie agropecuaria

No es apto para las actividades agropecuarias (agricultura, ganadería, silvicultura), sin embargo, reúne condiciones para soportar actividades directamente relacionadas con la instalación de rellenos sanitarios, reciclaje e industrialización de basura y otras actividades relacionadas.

#### Superficie forestal

Prácticamente la totalidad del territorio municipal está utilizado, no existen grandes reservas de suelo y las presiones de crecimiento solamente se registran apuntando hacia el norte de la zona centro, en los terrenos que actualmente son ocupados por los tiraderos, los cuales actualmente no brindan condiciones de seguridad para su ocupación. Por lo que no existen zonas forestales.

#### Superficie urbana

En Nezahualcóyotl el uso actual del suelo está distribuido de la siguiente manera: Uso urbano (83.63%), industrial (0.37%) y suelo erosionado (15%) correspondiente al vaso del ex- Lago de Texcoco. La zona urbana del municipio se destina principalmente para vivienda.

Nezahualcóyotl cuenta con 5 mil 165 manzanas y 220 mil predios distribuidos en las 73 colonias, de los cuales 171,775 mil están registrados en el padrón de contribuyentes siendo estos 182,401 propietarios.

#### Vivienda

La vivienda es un edificio cuya principal función es ofrecer refugio y habitación a las personas y sus enseres y propiedades, protegiéndoles de las inclemencias climáticas y de otras amenazas naturales

<sup>39</sup> Los principales problemas que se observan en este rubro son los procesos de erosión, causados por los desmontes agropecuarios, cambio de uso de suelo (pasa de forestal a agrícola o pecuario, factores climáticos (erosión hídrica y eólica), problemas legales de tenencia e irregularidad.



Tabla 16. Viviendas habitadas por municipio según disponibilidad de servicios 2005

Región	Vivienda				Participación Porcentual			Estructura Porcentual		
	Total	Con Agua	Con Drenaje	Con Energía Eléctrica	Con Agua	Con Drenaje	Con Energía Eléctrica	Con Agua	Con Drenaje	Con Energía Eléctrica
Total Nezahualcóyotl	267,842	265,281	265,732	268,464	99	99.2	98.9	100	100	100

Fuente: IGECEM Recuperado el 24 de Enero de 2011: <http://igecem.edomex.gob.mx/>

Tabla 17. Vivienda particular municipal por su disponibilidad de agua entubada y energía eléctrica.

Localidad	Total de vivienda particular	Vivienda con agua	Vivienda con drenaje	Vivienda con electrificación
Nezahualcóyotl	267,842	265,281	265,732	264,864

Fuente: IGECEM Recuperado el 24 de Enero de 2011: <http://igecem.edomex.gob.mx/>

### 2.3. Descripción de la edificación para aplicación del sistema

Para la aplicación del tren de tratamiento se plantea un edificio que consta de planta baja, primer y segundo nivel con un total de 4 departamentos cada uno con una distribución según la Tabla 18. Dicha edificación se encuentra dentro de la categoría de nivel socioeconómico medio.

El terreno cuenta con 10 m de ancho y 21.50 m de fondo, lo cual nos da un área total de 215 m<sup>2</sup>.

Tabla 18. Espacios con los que cuentan los departamentos

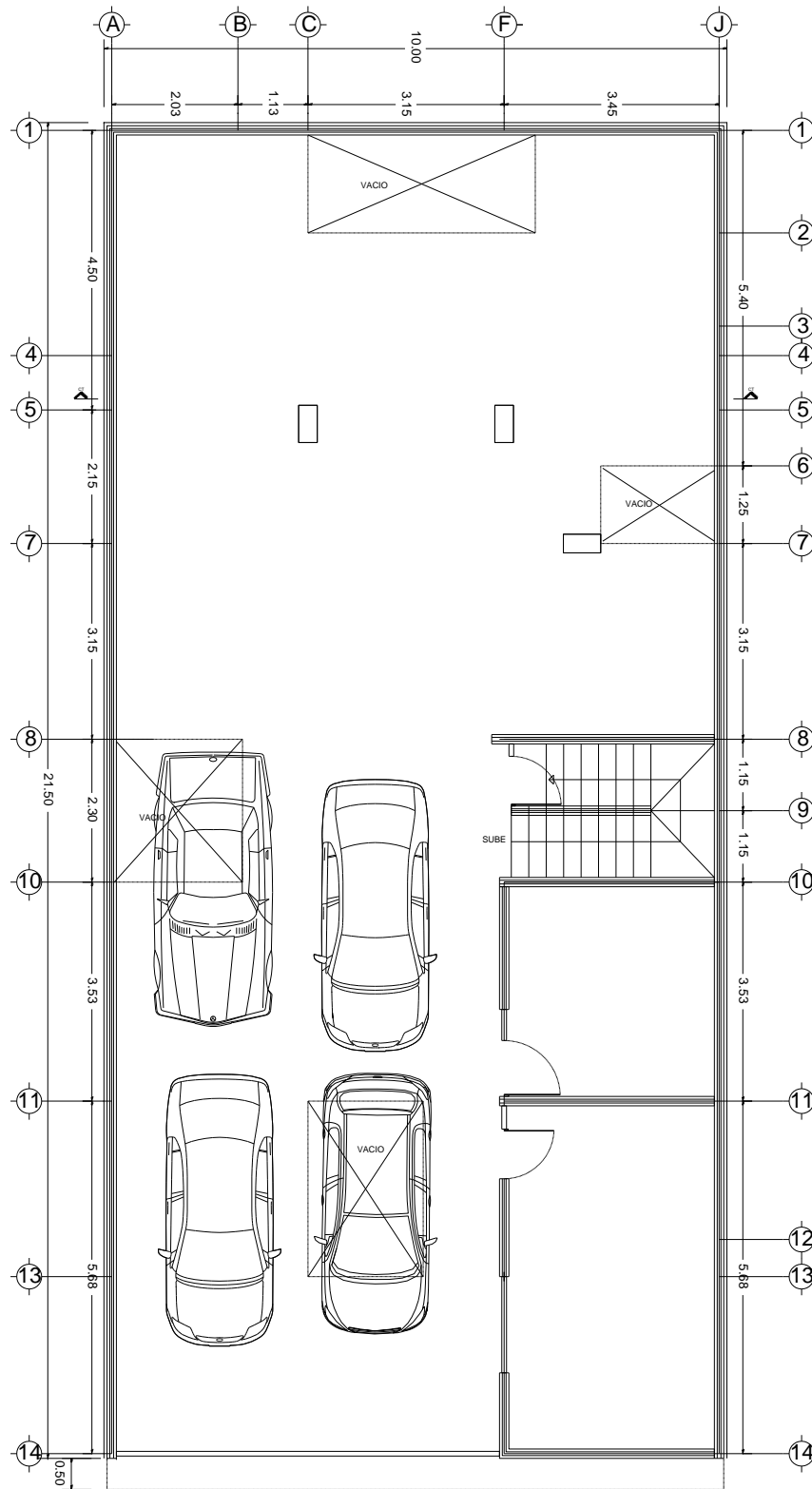
Espacios por departamento	
Baños	2
Recamaras	2
Cocina	Si
Sala	Si
Comedor	Si
Estudio	Si
Estacionamiento	1
Cuarto de servicio	1

Los cuartos de servicio se encuentran ubicados en la planta de azotea

Las instalaciones sanitarias se separaran dirigiendo únicamente las de la regadera, tina y lavadora hacia el tren de tratamiento, tomando las precauciones necesarias a la hora de diseñarlas, considerando las trampas y accesorios necesarias para su buen funcionamiento.

La edificación cuenta con la distribución arquitectónica que se muestra en la: Imagen 27, Imagen 28, Imagen 29, Imagen 30 e Imagen 31





**Imagen 27. Distribución de planta baja**

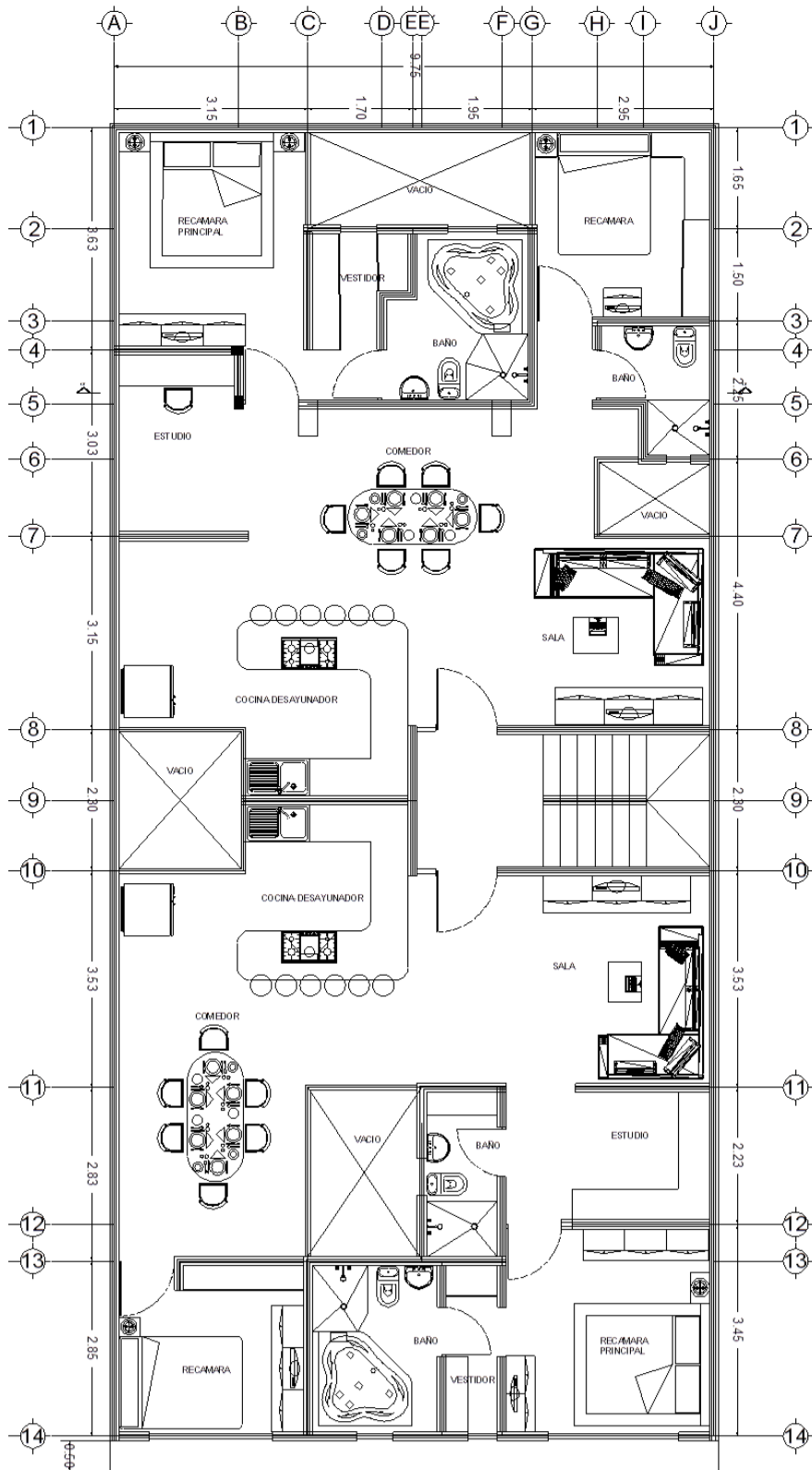


Imagen 28. Planta tipo

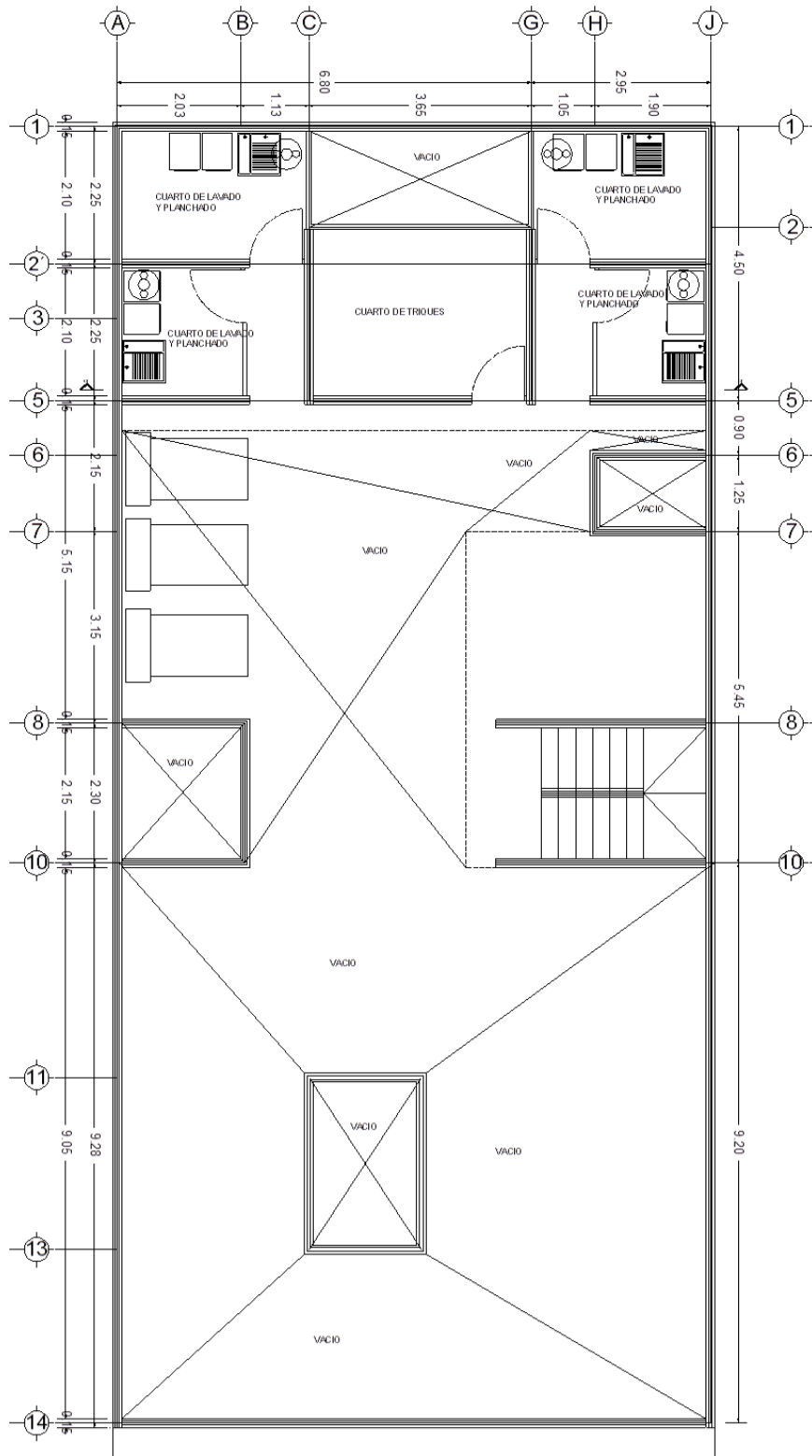


Imagen 29. Planta de azotea

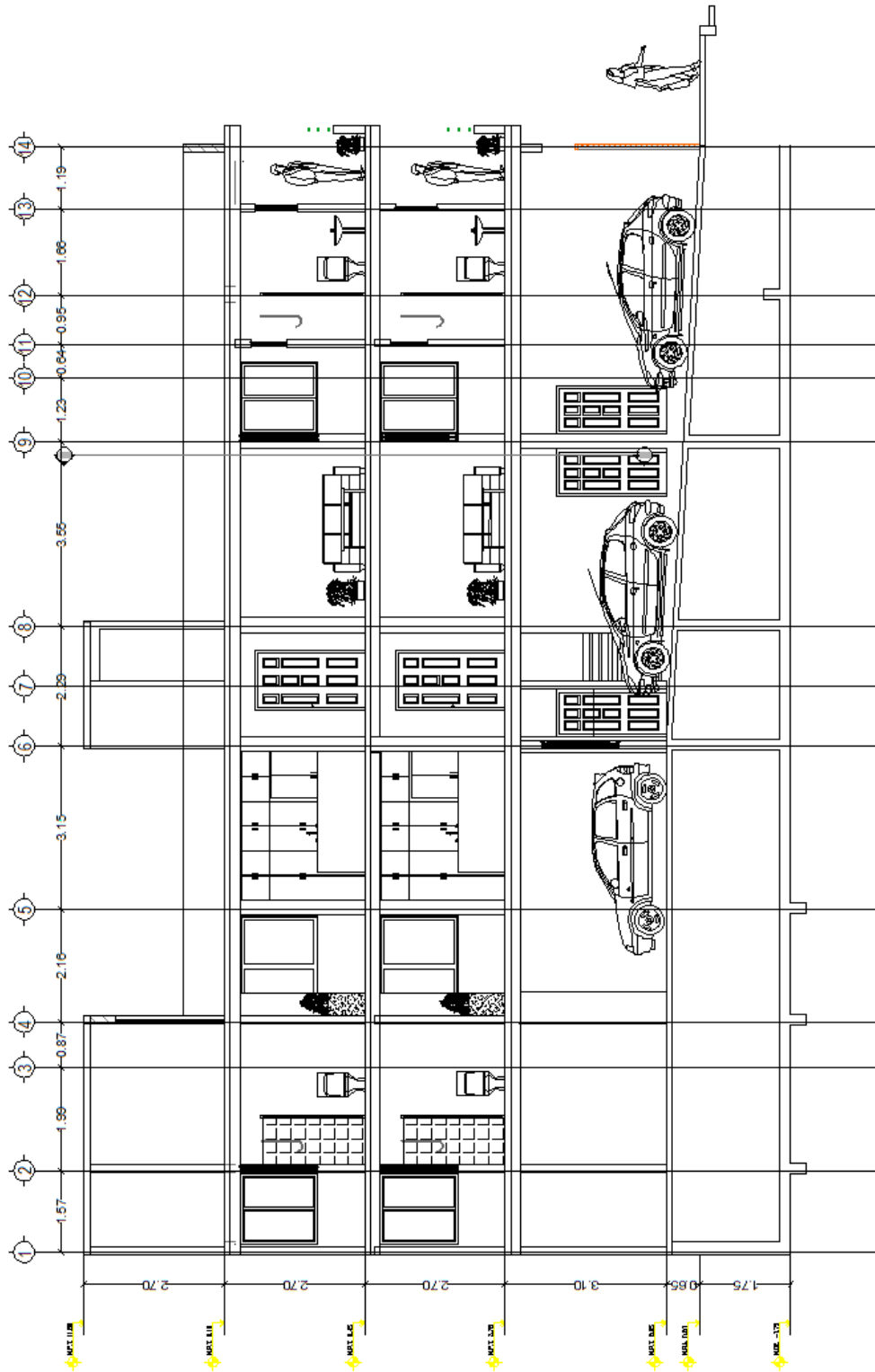


Imagen 30. Corte Longitudinal

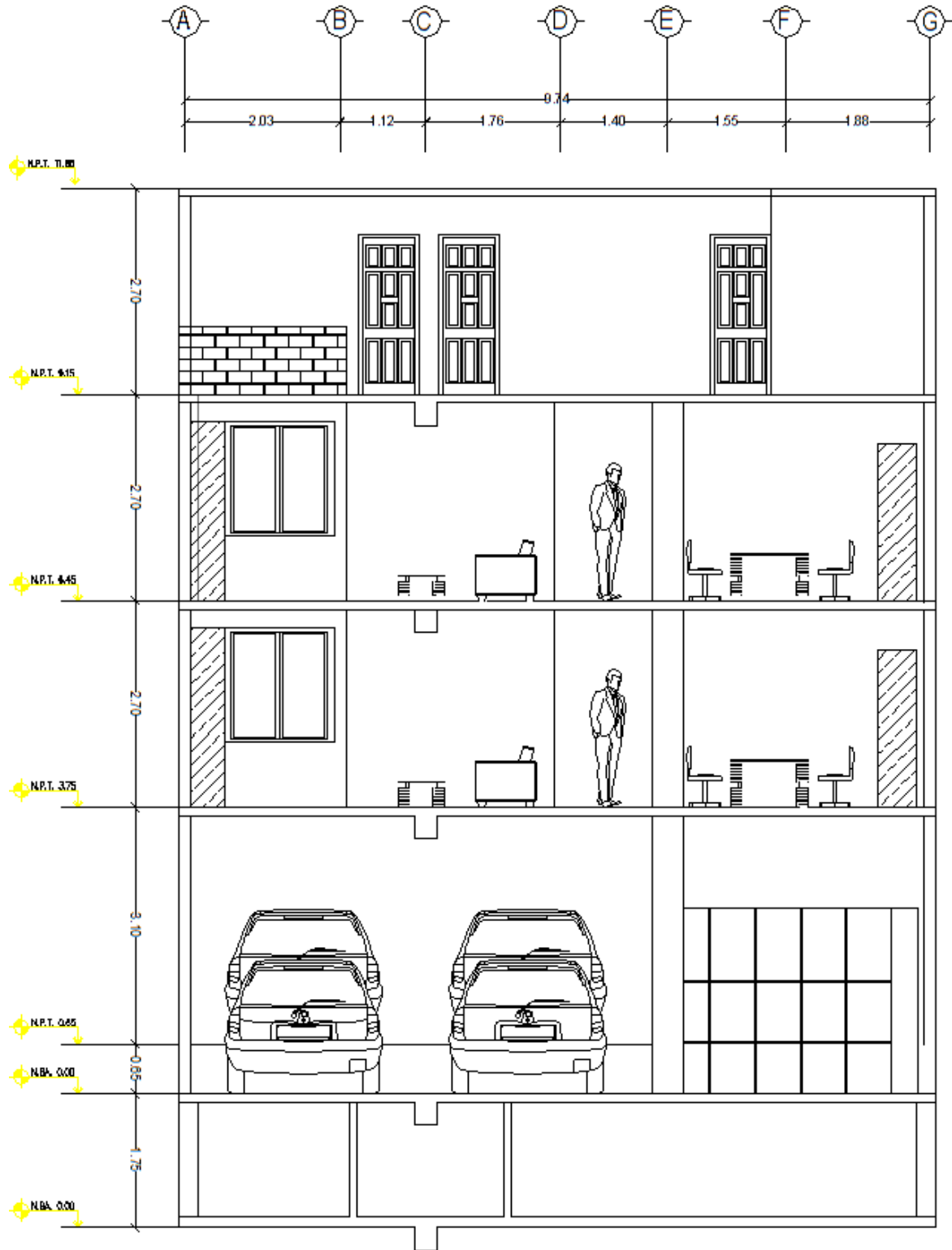


Imagen 31. Corte transversal



### 3. PROPUESTA DE DISEÑO

Para definir las distintas variables para el diseño del tren de tratamiento, esta investigación se apoyó de las tablas que presentan los distintos organismos del agua en México y de datos que presentan distintos autores, asimismo, se realizó una encuesta<sup>40</sup> en la zona para precisar los valores que se utilizan en el desarrollo de la investigación.

#### 3.1. Selección del sistema de tratamiento

Los contaminantes presentes en las aguas grises son muchos y diversos, estos varían de acuerdo a los hábitos, costumbres, nivel socio-económico y el nivel de cultura del agua de los usuarios, asimismo, estos contaminantes son los que definirán la calidad del agua a tratar y por ende el sistema de tratamiento a usar.

La selección del sistema tiene relación directa con la calidad del agua a tratar así como de los requerimientos para los que se desee usar el agua tratada, los requisitos a cumplir de acuerdo a la normatividad aplicable al caso y las condiciones que aseguren la sostenibilidad y eficiencia a través del tiempo.

El tratamiento de las aguas grises con fines donde el hombre tiene contacto directo con el agua tratada pero no tiene calidad bebibible se rige por la norma NOM-003-SEMARNAT-1997.

El sistema de tratamiento deberá ser eficiente y adecuado en lo económico, ambiental y social, garantizando la salud del usuario.

La sostenibilidad del sistema se debe considerar dentro de los siguientes factores:

- Viabilidad tecnológica.
- Costos adicionales que pueden generarse durante la instalación u operación.
- Factibilidad de operación por parte del propietario de la edificación.
- Factibilidad de mantenimiento por parte del propietario de la edificación.
- El sistema deberá estar dimensionado al tamaño de la población de la edificación considerando dentro de lo posible, el crecimiento de la población.
- Los materiales de construcción, mantenimiento, equipos y mano de obra sean de fácil acceso para el usuario.
- Voluntad de pago para la instalación y para el mantenimiento del sistema por parte del usuario, por lo cual el sistema deberá ser económico y atractivo.

Dentro de las alternativas que pueden cumplir con lo anteriormente expuesto, la que se elija deberá tener un costo económico a valor presente, debe ser compatible con los objetivos de calidad perseguidos, así como objetivos energéticos, con el espacio propuesto para el sistema dentro de la edificación, así como de fácil instalación y manejo.

Se debe tener especial cuidado en el mantenimiento que requiera el sistema seleccionado, para que no se convierta en un lastre para el usuario la instalación del tren de tratamiento.

<sup>40</sup> Para mayor referencia ver "Resumen de respuestas de la encuesta" en la sección de apéndices



Sin embargo, el factor que más influye en la selección del tipo de operaciones y/o proceso que conformaran el tren de tratamiento es la calidad del agua del afluente (aguas grises) y el nivel de calidad del producto final que se requiera.

Los procesos seleccionados tienen mucho que ver con el conocimiento y experiencia de los diseñadores, la selección se hace con referencia al conocimiento de las alternativas tecnológicas, para posteriormente determinar los costos de construcción, operación y mantenimiento con un grado de confiabilidad que permita decidir si cumple tecnológicamente y económicamente el sistema de tratamiento para los fines propuestos. Entonces esta selección debe efectuarse dentro de un orden técnico, científico y económico, pensando siempre en a quien va dirigido y poniendo énfasis en satisfacer las necesidades del usuario.

Hay que tener en cuenta que no todas las operaciones unitarias son factibles de ser utilizadas en la práctica; muchas de ellas representan soluciones muy costosas o son desarrollos tecnológicos que aún no han pasado a la categoría de práctica común o tecnología establecida.

### **3.2. Calidad de las aguas grises**

Resulta de fundamental importancia el conocimiento detallado del agua a tratar, no solamente desde el punto de vista de los contaminantes a remover, sino también de los elementos que puedan interferir en el proceso.

La determinación de los parámetros de calidad del agua debe realizarse en base a criterios físicos, químicos y biológicos. Estos parámetros de calidad se fijan de manera diferenciada, de conformidad con los diversos usos a los que se va a destinar el recurso (consumo humano, riego, industria, ganadería, recreación, vida acuática, etc.).

La obtención de los contaminantes presentes en las aguas grises se realiza mediante pruebas físico-químicas que se realizan en laboratorio. Asimismo, una parte crucial del análisis de los contaminantes presentes en el agua a tratar se encuentra en la calidad de las muestras las cuales deben de cumplir con un estricto control para que sean representativas del agua a tratar.

Para los fines de esta tesis y aprovechando las distintas subdivisiones que se pueden hacer al agua después de usarla, se tratarán las aguas grises provenientes de la regadera, tina y lavadora, con esta subdivisión los contaminantes que nos presenta el agua a tratar serán en menor cantidad y tipo. Debido a la imposibilidad para realizar un muestreo para la correcta caracterización de las aguas grises para esta investigación se tomarán los valores correspondientes al intervalo de concentración baja presentes en la Tabla 9 Aguas grises domésticas y sus componentes, los cuales son valores promedio de la composición de este tipo de aguas (METCALF & Eddy, Ingeniería Sanitaria. Agua Residual Municipal.)

### **3.3. Gastos de diseño**

Como se indicó anteriormente el agua que se captara en el sistema de tratamiento es la que proviene del lavado de ropa y de la ducha. El agua resultante del tratamiento tendrá la calidad suficiente para ser usada en el lavado de vehículos, riego de áreas verdes, lavado de patio, limpieza general de la casa y descarga del W.C.

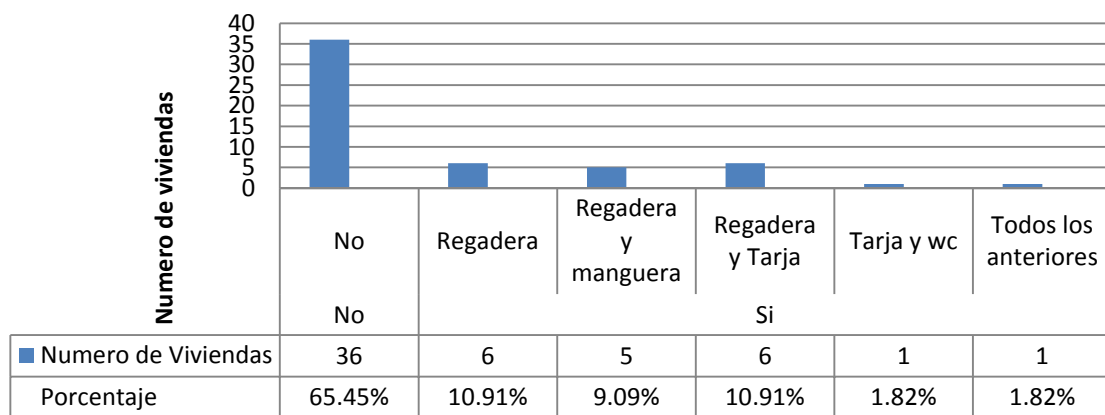


Para poder determinar la cantidad de agua que captara el sistema y contrastarla con la cantidad de agua proveniente del sistema de tratamiento que utilizara el usuario, se analiza de la siguiente manera.

### 3.3.1. Gasto de diseño a la entrada del sistema

Para determinar el gasto promedio de aguas residuales generadas en una vivienda, para los conceptos de lavado de ropa y ducha, se siguió la siguiente metodología.

- ❖ Se verifico mediante una encuesta si la población usa dispositivos ahorradores de agua, obteniéndose los siguientes resultados (Grafica 2)



**Grafica 2. Uso de dispositivos ahorradores**

Lo cual nos indica que la mayoría no usa dispositivos ahorradores y los que usan son principalmente en la regadera no obstante el uso de este accesorio en porcentaje es solo del 30.91%.

- ❖ Se auxilió de la encuesta para conocer la frecuencia con que se ducha la población así como el tiempo que tarda en ducharse, obteniéndose los siguientes resultados (Tabla 19 y Tabla 20)

**Tabla 19. Probabilidad de que una persona se bañe al día**

Habitantes por vivienda	Número de viviendas	Veces que se usa la regadera al día por vivienda	Probabilidad de que se bañe una persona al día
2	2	4	100%
3	8	22	92%
4	12	44	92%
5	15	57	76%
6	12	66	92%
7	5	32	91%
8	1	6	75%
<b>Promedio</b>			<b>88%</b>





La probabilidad es variable de acuerdo al número de habitantes en una misma vivienda, sin embargo podemos obtener la probabilidad promedio de que una persona se bañe al día la cual es de 0.88.

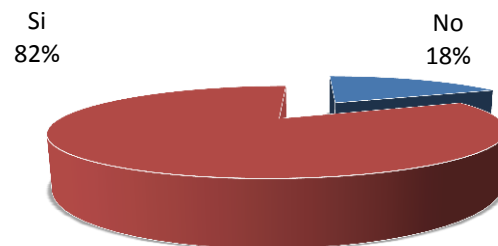
La duración que tardan en bañarse es la siguiente:

**Tabla 20. Información de duración del baño por habitante**

Habitantes por vivienda	Tiempo que tarda en ducharse (minutos)						
	5	10	15	20	25	30	60
2		1				1	
3		2		2	1	3	
4			5	3	1	3	
5			5	4	1	5	
6	1	2	2	3		3	1
7		1		3	1		
8				1			
<b>Total general</b>	<b>1</b>	<b>6</b>	<b>12</b>	<b>16</b>	<b>4</b>	<b>15</b>	<b>1</b>

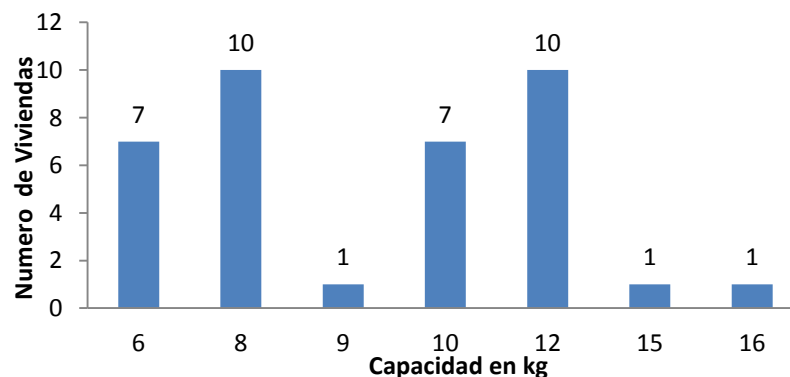
Con estos datos se obtuvo una media de 20 min y una mediana de 21.50 min de duración por persona en la regadera.

- ❖ Se verificó mediante la encuesta si la población usa lavadora (Grafica 3), asimismo, la capacidad de la lavadora (Grafica 4), los días que lavan a la semana y las cargas que realizan cada día que lavan ropa obteniéndose los siguientes resultados.



**Grafica 3. Viviendas que usan lavadora**

Este valor se usó para verificar que es factible captar e integrar al gasto de diseño de la planta el agua gris generada del lavado de ropa., específicamente de la lavadora.



**Grafica 4. Capacidad de lavadoras usadas por vivienda**



De acuerdo a los datos de la Grafica 4, obtenemos una media de  $9.51 \approx 10$  kg en capacidad de la lavadora.

La frecuencia obtenida por medio de la encuesta para los días de la semana que se lava ropa es de 3 días por semana, con una media de 4 cargas de ropa por día de lavado, considerando el promedio de habitantes que nos da la encuesta que es de 5 habitantes/vivienda y que una lavadora eficiente gasta un máximo de 12 Litros de agua por kilogramo de ropa<sup>41</sup>, tenemos que por cada habitante se gasta un promedio de:

$$LRH = \frac{DLR * CR * CL * 12}{7 * Nh}$$

Dónde:

LRH = Agua usada en el lavado de ropa por habitante (L/habitante/día)

DLR = Número de días que se lava ropa a la semana en la vivienda (días/sem)

CR = Cargas de ropa que se realizan (cargas/día)

CL = Capacidad de la lavadora (kg/carga)

Nh = Número de habitantes (hab)

7 = días a la semana

12 = litros por kilogramo de ropa.

*Sustituyendo datos se obtiene:*

$$\frac{3 * 4 * 10 * 12}{7 * 5} = 41 \text{ L/Hab/dia}$$

De acuerdo a lo anterior se tiene que cada habitante consume 41 litros de agua en el lavado de ropa, valor muy cercano al uso negligente que nos presenta la Tabla 7 (dicha tabla presenta 3 distintas dotaciones<sup>42</sup> de acuerdo a los hábitos y a la cultura de agua que tenga el usuario)

- ❖ Con base en los resultados de la encuesta se tomaron los gastos de alimentación al sistema de tratamiento, de acuerdo a los valores que presenta la Tabla 7 Uso del agua en el servicio doméstico para la regadera se tomó el valor de uso negligente debido a la duración media del baño y a que la mayoría de las viviendas no cuenta con regaderas ahorradoras o accesorios en la misma que cumplan esta función. Para el lavado de ropa se toma el valor de uso negligente que es de 40 Litros por habitante por día.

Por lo tanto, el agua que se va a captar para alimentar el sistema de tratamiento es:

Tabla 21. Gasto de alimentación del sistema de tratamiento

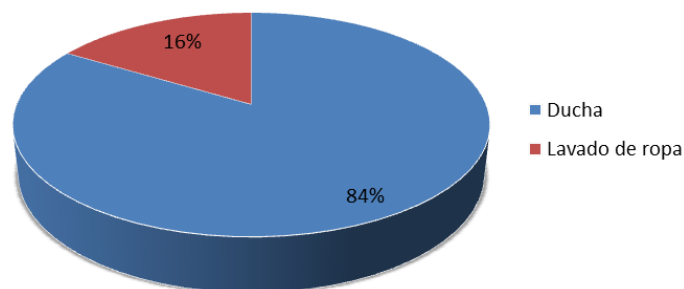
USO	Gasto (L/hab/día)
Ducha	204
Lavado de ropa	40
Alimentación al sistema	244

<sup>41</sup> Según datos de la publicación *ego la revolución invisible* el consumo de agua por concepto de ropa representa el 20% del consumo, asimismo, el consumo por ciclo de lavado de una lavadora eficiente no debe superar los 12 litros de agua por kilogramo de ropa en el ciclo normal de algodón a 60°C, algunas marcas de lavadoras como es el caso de *Whirlpool* maneja un rango de entre 9 y 20 litros según la eficiencia del modelo.

<sup>42</sup> Dotación es la cantidad de agua potable que se consume en promedio durante el día por una persona (L/persona/día), esto incluye, la cantidad necesaria para su aseo personal, alimentación y otras necesidades, cabe hacer notar que las dotaciones, no son resultado de una ciencia o cálculo exacto, si no son datos prácticos recopilados a través de la experiencia.



Lo cual representa que la ducha es la actividad que más agua aporta al sistema.



Grafica 5. Porcentaje por concepto de captación de agua para el sistema de tratamiento

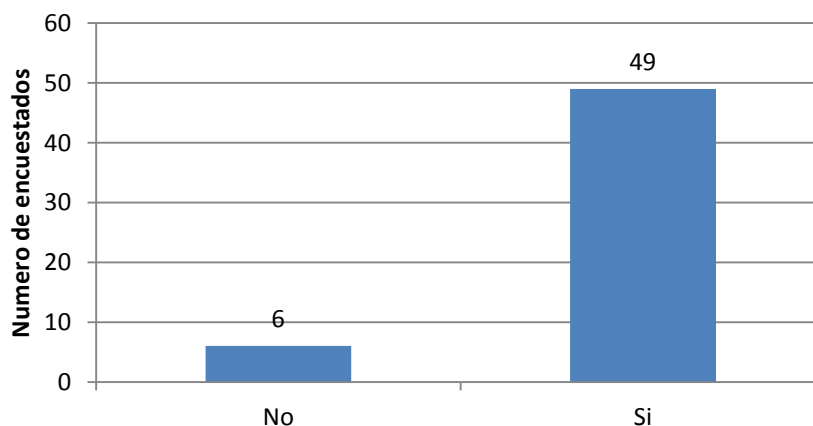
### 3.3.2. Gasto requerido para los usos propuestos del sistema

Como se ha mencionado anteriormente los usos que se le dará al agua resultante del sistema de tratamiento son:

- Lavado de vehículo
- Riego de áreas verdes
- Descarga de W.C.
- Lavado de la calle
- Lavado de patios y limpieza en general

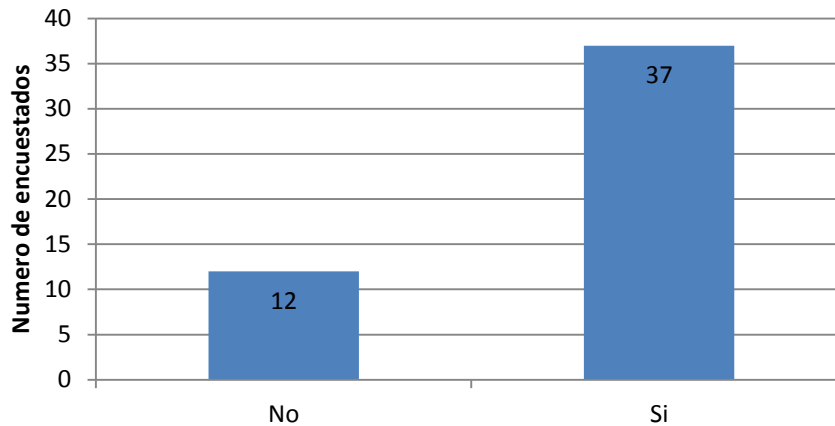
El cálculo de estos gastos se hizo de la siguiente manera:

- ❖ El gasto por concepto de lavado de vehículo se obtuvo de la encuesta, cabe destacar que en las dotaciones presentadas por el SACM (Tabla 7) y por las NTC-RCDF 04<sup>43</sup> no incluyen este concepto en las dotaciones diarias por habitante. La Grafica 6, Grafica 7 y Grafica 8 muestran los resultados que arroja la encuesta referente al número de viviendas que cuentan con vehículo, al lavado de vehículo en casa, así como si este se lava en casa y de ser así, si este se lava con manguera o cubeta.

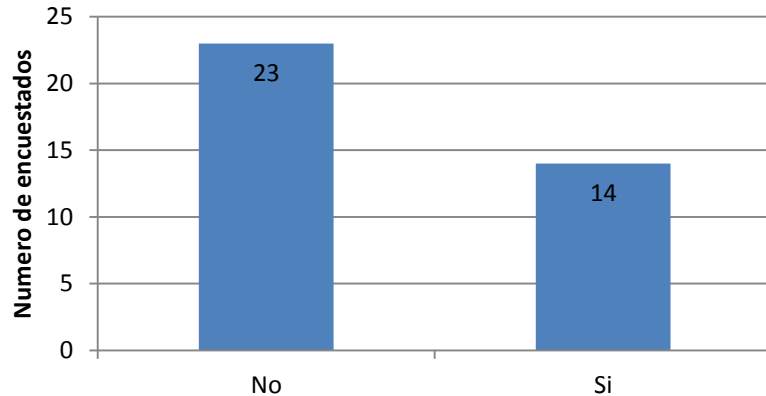


Grafica 6. Número de viviendas que cuentan con vehículo

<sup>43</sup> Dotaciones de NTC-RCDF 04 Ver anexo A



Grafica 7. Número de encuestados que lavan en casa el vehículo



Grafica 8. Personas que lavan su vehículo con manguera

En las gráficas anteriores se obtiene que el 89% de las personas encuestadas cuentan con vehículo, de este porcentaje el 75% lava su vehículo en casa de estas el 37% lava con manguera el vehículo y el 63% restante lo lava con cubeta.

Las personas que lavan su vehículo en casa con manguera tardan un tiempo medio de 20 min, asumiendo que en el peor de los casos mantienen todo el tiempo que tardan en lavar el vehículo la manguera abierta tenemos.

Tomando como valor 10 L/min de agua de una manguera conectada al grifo abierto<sup>44</sup>, tenemos:

$$\text{Lavado del vehículo} = 20\text{min} * \frac{10\text{L}}{\text{min}} = 200 \text{ L/evento}$$

La media del lavado de vehículo con cubeta es de 45 L/evento (obtenida de la encuesta)

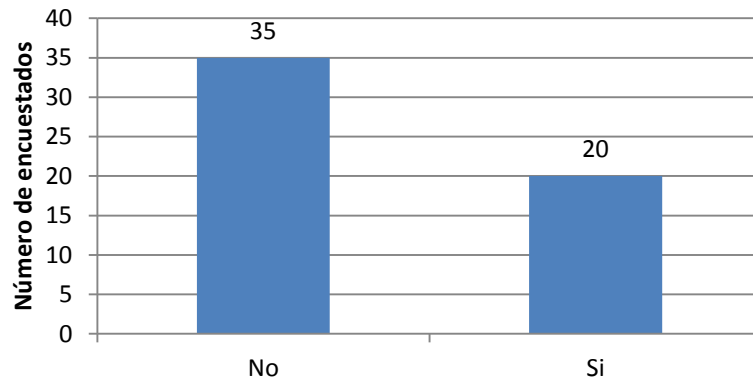
Para el diseño del sistema se toma el valor de 200 L/evento, de acuerdo a los datos obtenidos en la encuesta se consideran 2 eventos por semana, esto debido a que en promedio se tienen 2 vehículos por vivienda, y la encuesta nos dice que hay 5 habitantes promedio, por lo cual, el gasto de diseño es de 12 L/hab/día.

<sup>44</sup> Según la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Tijuana una Manguera abierta regando gasta 600 L/min de agua.

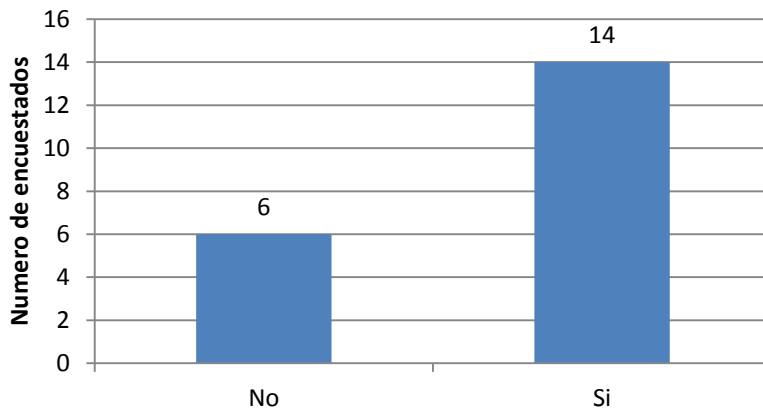


- ❖ El gasto por concepto de descarga del W.C. se tomara de la dotación que nos presenta el SACM (Tabla 7) para uso negligente, el cual es de 36 L/hab/día.
- ❖ Para el gasto de riego de áreas verdes se calculó como sigue:

Mediante la encuesta se investigó si las viviendas cuentan con área de jardín (Grafica 9), así como, el tamaño del jardín y de qué manera se riega (Grafica 10).



Grafica 9. Personas que cuenta con jardín



Grafica 10. Personas que riegan el jardín con manguera

El 36% de los encuestados cuentan con jardín de un área promedio de 12 m<sup>2</sup> de estos el 70% riega el jardín en promedio durante 8 minutos con manguera, para las veces que riega el jardín se toma el valor máximo que es de 2 veces a la semana.

Aunque el porcentaje de personas que cuentan con jardín es solo 1/3 de los encuestados, se incluirá este gasto para diseño del sistema de tratamiento.

Debido a que se desconoce el tipo de plantas que se riegan se calcula el gasto por concepto de riego de áreas verdes de la siguiente manera:

$$Gr = \frac{Tr * E * 10}{7 * Nh} = \frac{8 * 2 * 10}{7 * 5} = 4.57 \approx 5 \text{ L/hab/día}$$

Dónde:

Gr=Gasto por riego de áreas verdes (L/hab/día)



Tr=Tiempo de riego (min/evento)

E = Numero de eventos (Eventos/semana)

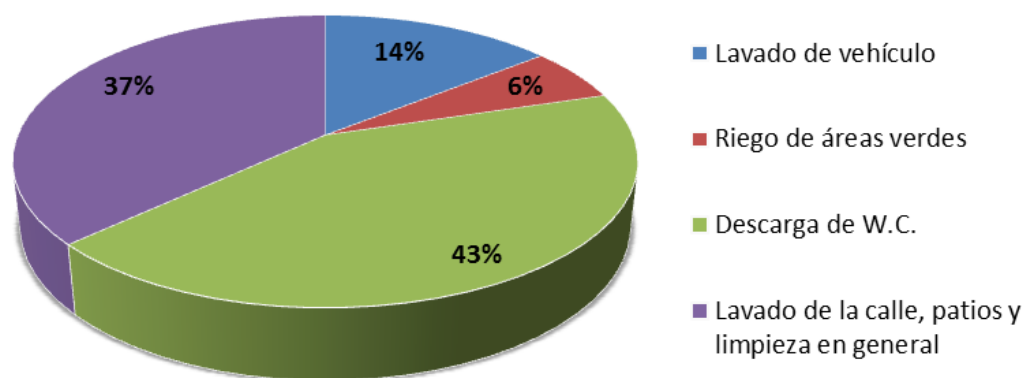
10 = gasto medio de un grifo en L/min

- ❖ Para los conceptos de lavado de calle, patios y limpieza en general se tomó el valor que presenta la Tabla 7.

Resumiendo el gasto requerido para cubrir la demanda de la vivienda se tiene:

Tabla 22. Gasto necesario para cubrir la demanda de los usos propuestos

USO	Gasto (L/hab/día)
Lavado de vehículo	12
Riego de áreas verdes	5
Descarga de W.C.	36
Lavado de la calle Lavado de patios y limpieza en general	31
<b>Gasto</b>	<b>84</b>



Gráfica 11. Porcentaje por concepto de usos propuestos

Por lo tanto los gastos por habitante quedan como lo marca la Tabla 23.

Tabla 23. Resumen de gasto a la entrada del sistema y gasto necesario para usos propuestos

USO	Gasto (L/hab/día)
Gasto de alimentación al sistema	244
Gasto para los usos propuestos	84

El gasto para los usos propuestos representa el 35% del gasto de alimentación, lo cual garantiza que siempre se cuente con la suficiente cantidad de agua a tratar para cubrir las necesidades propuestas.



### 3.3.3. Gastos del caso de estudio

La edificación cuenta con 4 departamentos de 2 recamaras cada departamento. Por lo cual de acuerdo a las NTC-RCDF 04<sup>45</sup> le corresponden 4 habitantes por departamento

Tabla 24. Número de habitantes

<b>Número de habitantes por departamento</b>	<b>4</b>
<b>Número de habitantes del edificio</b>	<b>16</b>

Tabla 25. Coeficientes para el cálculo de gastos

<b>Coeficiente de variación diaria (Cd) =</b>	<b>1.2</b>
<b>Coeficiente de variación horaria (Ch) =</b>	<b>1.5</b>

Por lo tanto los gastos de la edificación son:

Tabla 26. Gastos en la edificación

<b>Concepto</b>	<b>L/día</b>
<b>Producción de aguas grises útiles por departamento</b>	976
<b>Producción de aguas grises útiles de la edificación</b>	3904
<b>Consumo de agua tratada por departamento</b>	336
<b>Consumo de agua tratada de la edificación</b>	1344

Para los gasto de diseño se toma el valor de la producción de aguas grises útiles de la edificación, lo cual tiene un valor 2.9 veces superior a la cantidad de agua tratada que consumirá la edificación, garantizando que se cuente en todo momento con agua tratada para la realización de las actividades.

Tabla 27. Gastos de diseño

<b>Gasto medio diario</b>	0.045 L/s
<b>Gasto Máximo Diario</b>	0.054 L/s
<b>Gasto Máximo horario</b>	0.081 L/s

<sup>45</sup> (GOBIERNO DEL DISTRITO FEDERAL, 2004)



### 3.4. Propuesta de diseño del tren de tratamiento

La propuesta del tren de tratamiento de aguas grises se hace atendiendo a las premisas de viabilidad y factibilidad mencionadas en el apartado 3.1, haciendo énfasis en el costo de implementación, mantenimiento y el área requerida para el tratamiento ya que se debe ajustar al área disponible en la edificación.

Los procesos y operaciones unitarias que se proponen y que conformarán el tren de tratamiento en estudio de esta investigación son:

- ❖ Tamizado.
- ❖ Sedimentación simple.
- ❖ Coagulación.
- ❖ Floculación.
- ❖ Filtración lenta mediante un filtro lento de arena (FLA).
- ❖ Desinfección, mediante carbón activado, cloración y ozonificación.

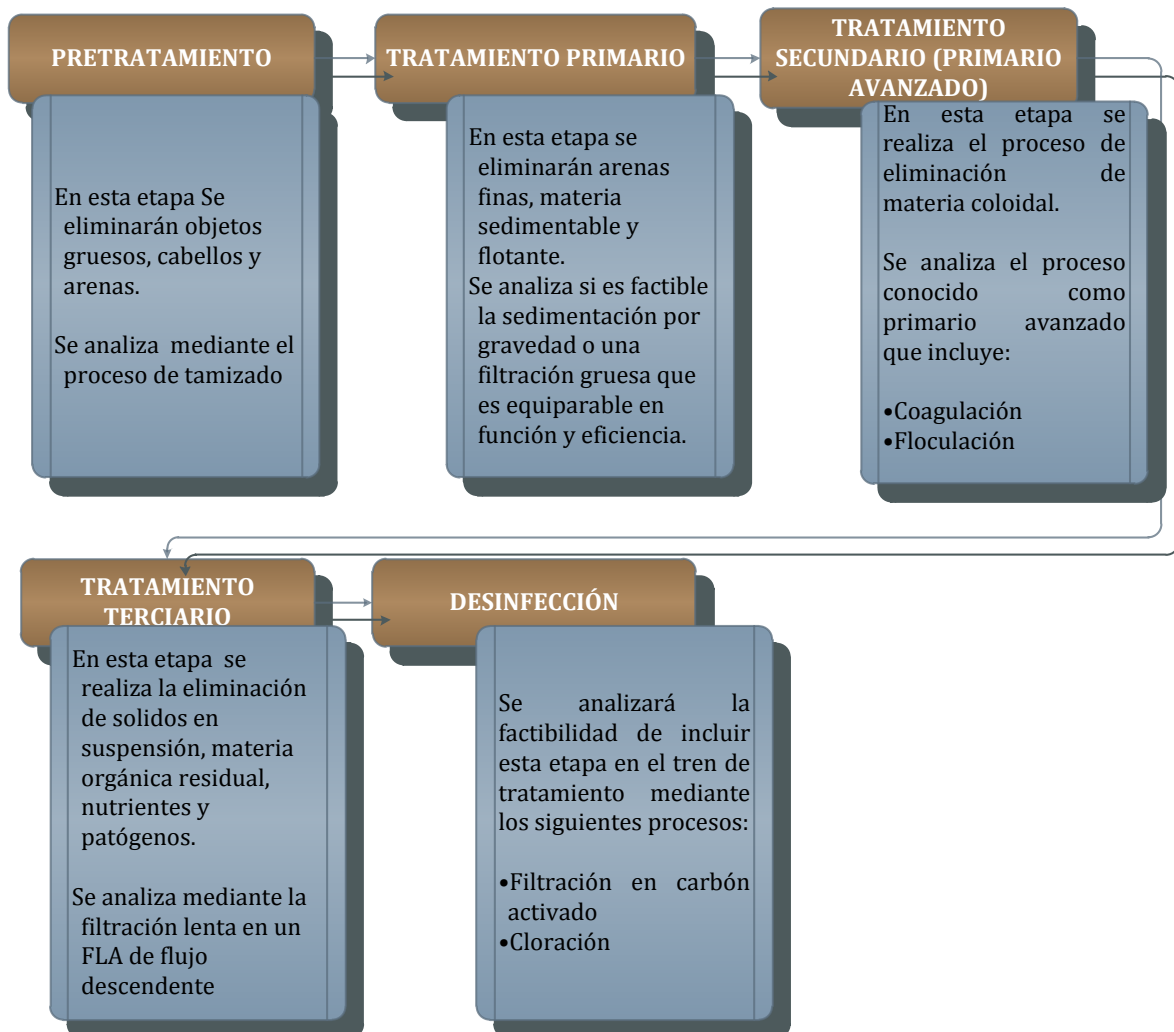


Imagen 32. Propuesta de análisis de tren de tratamiento de aguas grises.





El análisis del tren se realizó como lo indica el siguiente diagrama

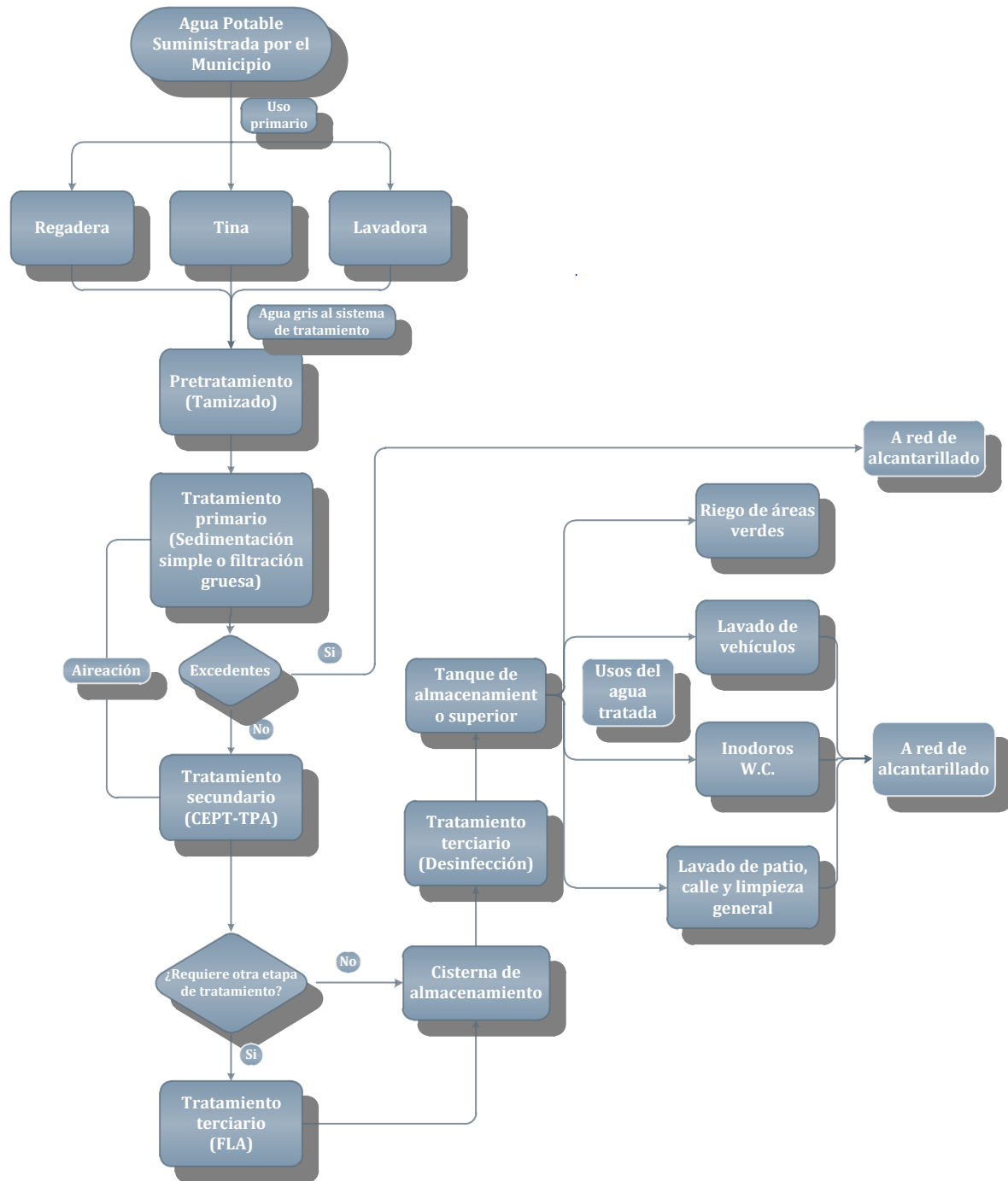


Diagrama 3. Flujo de análisis de sistema propuesto



### 3.4.1. Tamizado

El tamizado es una filtración sobre soporte delgado, que se utiliza en numerosos campos del tratamiento del agua. Según las dimensiones de los orificios de paso del soporte se distinguen dos variantes:

- El macrotamizado (sobre chapa perforada o enrejado metálico con paso superior a 0.3 mm) se emplea para retener ciertas materias en suspensión, flotantes o semiflotantes, residuos vegetales o animales, insectos, ramas, algas, hierbas, etc., de tamaño superior a 0.2 mm
- El microtamizado (sobre tela metálica o plástica de malla inferior a 100 micras) se utiliza para retener materias en suspensión de muy pequeñas dimensiones, contenidas en las aguas de abastecimiento (plancton) o en aguas residuales pretratadas

Esta operación es la inicial dentro del tren de tratamiento.

En el tamizado se realiza la separación sólido-líquido y ayuda a evitar deterioro en instalaciones y a mejorar los procesos posteriores.

Los tamices son de plancha o malla tejida pudiendo ser metálicos o de tela plástica. Retienen principalmente arenas gruesas, colillas, pelos, materia orgánica, entre otros.

El tipo de tamices puede ser como el mostrado en la Imagen 33. Donde pueden ser planchas perforadas como las mostradas en la A, B y C o malla trenada como D y E

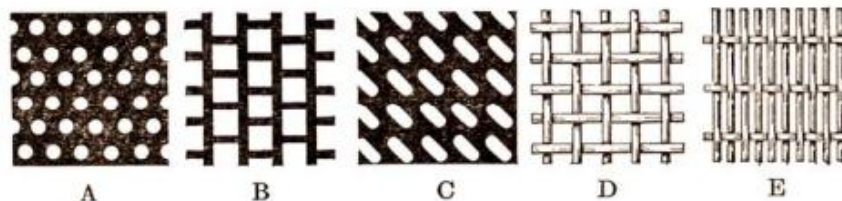


Imagen 33. Tipos de mallas para tamizado

En este trabajo se realiza un macrotamizado sobre mallas dispuestas una tras otra en un flujo horizontal, dicho sistema de tamices es estático.

Estas mallas serán montadas en marcos de acero, que son introducidos en el registro destinado para este fin, estos serán desmontables de forma manual ver Imagen 34.

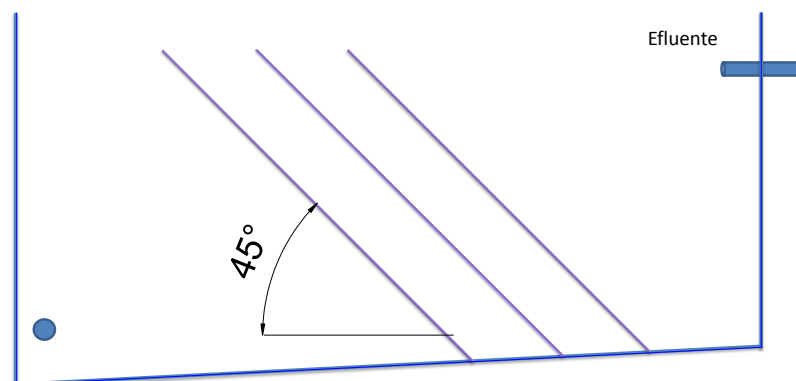


Imagen 34. Disposición de rejillas en registro



Generalmente los tamices se calculan a partir de tablas que suministra el fabricante como la mostrada en la Tabla 28, Sin olvidar que estos valores se refieren a tamices comerciales como el que se muestra en la Imagen 35.

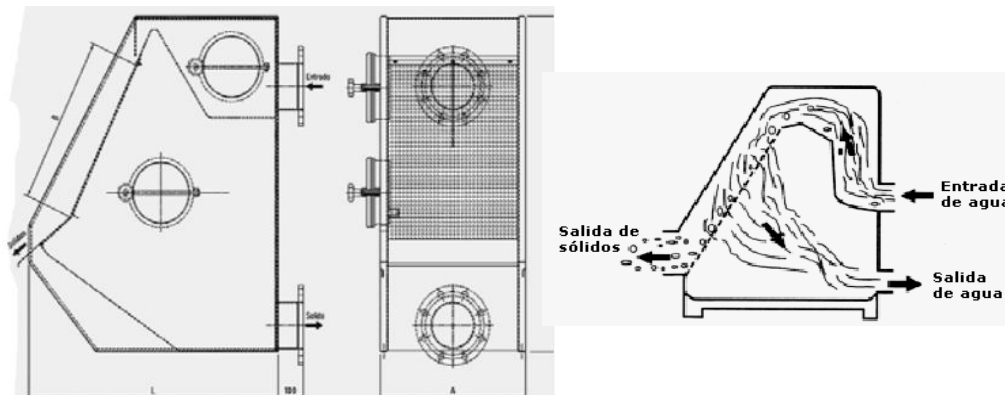


Imagen 35. Tamiz estático comercial

Tabla 28. Dimensiones de tamices estáticos

Capacidad (m <sup>3</sup> /h)				Ancho barrotes (A), canal en zona de rejilla (B) y de entrada (C)			Diámetro Conductos (mm)	
Separación libre entre barras (mm)				A	B	C	Entrada	Salida
<b>0.50</b>	<b>0.75</b>	<b>1.00</b>	<b>1.50</b>	A	B	C	Entrada	Salida
5-20	6-23	7-26	10-33	250	1044	300	100	100
10-40	12-47	13-55	20-65	302	992	600	100	200
15-80	20-90	26-105	35-135	302	1019	1200	150	200
30-120	35-140	40-160	50-200	329	1018	1800	200	300

Fuente: MUÑOZ Hernández. (1996). Manual de Depuración URALITA. URALITA Productos y Servicios, S.A

El gasto a tratar por un filtro de malla dependerá de la calidad del agua, el área neta del elemento filtrante y la pérdida de carga admisible. Para un filtro de malla fina (50-200 mesh<sup>46</sup>) se recomienda una velocidad de filtración (velocidad de paso del agua a través del orificio de malla) de 0,4 a 0,9 m/s. En aguas superficiales, generalmente muy cargadas de algas, no conviene sobrepasar la velocidad de 0,6 m/s. Esta misma recomendación se hace para las mallas más finas (120 – 200 mesh) para evitar la rápida colmatación del filtro. Se podrá llegar a valores de 0,9 m/s. En el caso de aguas muy limpias. (Ver Tabla 29)

Tabla 29. Gasto permitido en función de la velocidad

Velocidad en m/s	Gasto por m <sup>2</sup> de Área. En m <sup>3</sup> /h
0.40	1440
0.60	2160
0.90	3240

Como se puede observar la capacidad (m<sup>3</sup>/h) que nos presenta la Tabla 28 es muy superior a la capacidad que se requiere en el diseño el cual es de 0.17 m<sup>3</sup>/h, Por lo cual al ser un gasto muy pequeño no hay ningún inconveniente en su implementación dentro del sistema.

<sup>46</sup> Para ampliar la información dirigirse al apéndice D



El arreglo de las mallas será en orden decreciente de abertura de la siguiente manera 3.00 mm, 1.50 mm y 0.50 mm, con un ángulo de 45°. (Ver Imagen 36)

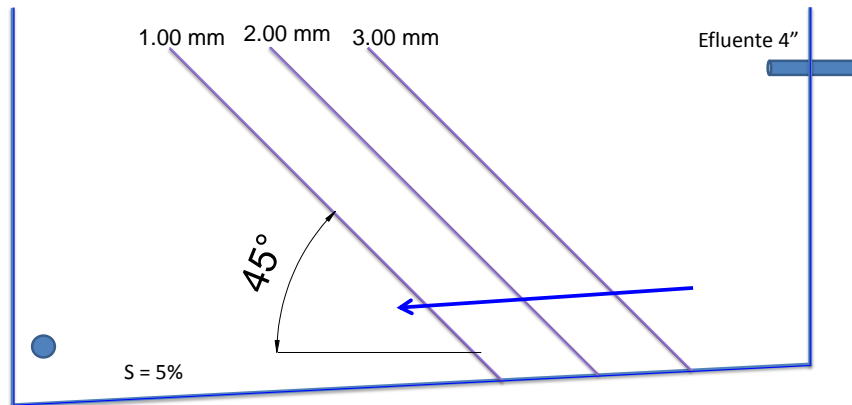


Imagen 36. Acomodo de mallas en registró.

Tentativamente se propone la utilización de un registro cerrado de 2.00 x 0.50 x 0.60 m de altura dimensiones libres, para la colocación de las mallas, asimismo, para el control de olores se instalará un tubo respirador. (Ver Imagen 37)

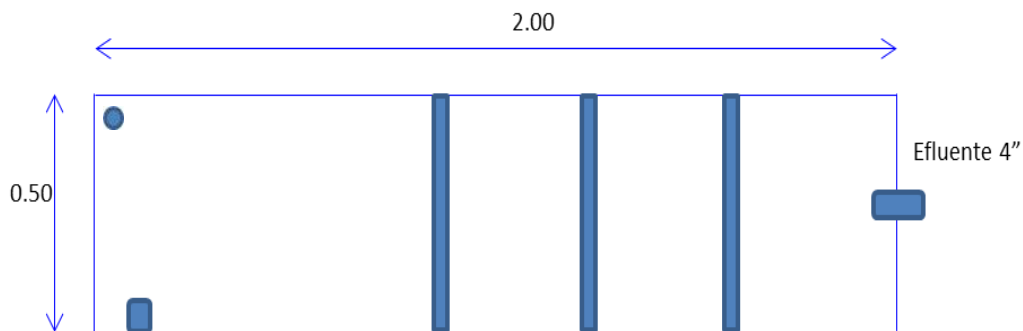


Imagen 37. Vista en planta del registro de tamizado

Por lo que la dimensión de los tamices propuestos es la siguiente: (ver Imagen 38)

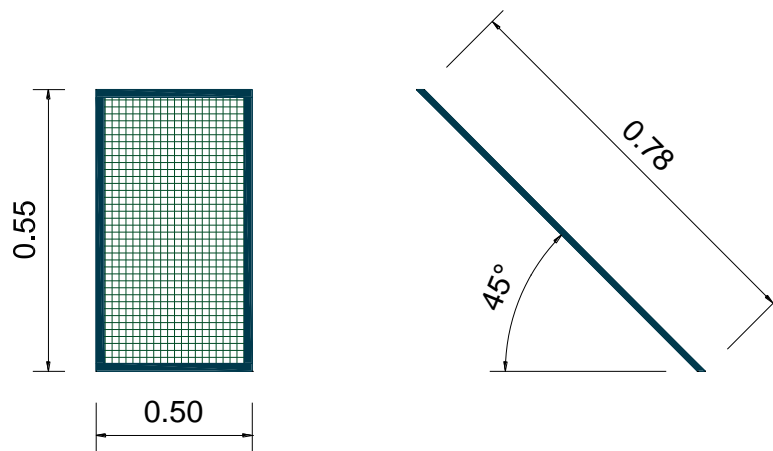


Imagen 38. Dimensionamiento del tamiz



### 3.4.2. Sedimentador o filtración gruesa

#### 3.4.2.1. Sedimentador

Esta operación unitaria está destinada a la reducción de los sólidos suspendidos de las aguas residuales.

Las partículas sólidas suspendidas en el agua a tratar, pueden sedimentar como partículas discretas o como partículas floculentas por acción de la gravedad, formando sedimentos (barros o lodos) o fase sólida de esa suspensión, por lo que se pueden considerar tres tipos de mecanismos o proceso de sedimentación, dependiendo de la naturaleza de los sólidos presentes en suspensión.

- 1) Sedimentación discreta. Las partículas que se depositan mantienen su individualidad, o sea, no se someten a un proceso de coalescencia con otras partículas. En este caso, las propiedades físicas de las partículas (tamaño, forma, peso específico) no cambian durante el proceso.
- 2) Sedimentación con floculación. La aglomeración de las partículas va acompañada de cambios en la densidad y en la velocidad de sedimentación o precipitación.
- 3) Sedimentación por zonas. Las partículas forman una especie de manta que sedimenta como una masa total presentando una interface distinta con la fase líquida. Ejemplo de este proceso incluyen la sedimentación de lodos activos.

En este punto se analizó la sedimentación discreta, ya que este tipo de sedimentación únicamente requiere de la fuerza de gravedad.

En el caso de partículas discretas se utilizan desarenadores para sedimentar material grueso que puede afectar a la aducción de agua por deposición de material inerte en el conducto o por abrasión de equipos mecánicos antes del ingreso al filtrado.

Cuando la turbiedad y los sólidos suspendidos del agua cruda contienen material más fino, mayormente no coloidal, se pueden instalar presedimentadores, denominados también sedimentadores simples, como pretratamiento para la filtración lenta y en algunos casos para optimizar el proceso de coagulación-floculación-sedimentación.

Las partículas discretas sedimentan de forma independiente y con una velocidad de sedimentación constante, se requiere también una velocidad reducida del fluido (ver Tabla 10)

Un sedimentador consta de las siguientes partes:

- Zona de entrada. Estructura hidráulica de transición, que permite una distribución uniforme del flujo dentro del sedimentador.
- Zona de sedimentación. Consta de un canal rectangular con volumen, longitud y condiciones de flujo adecuados para que sedimenten las partículas. La dirección del flujo es horizontal y la velocidad es la misma en todos los puntos, flujo pistón.
- Zona de salida. Constituida por un vertedero, canaletas o tubos con perforaciones que tienen la finalidad de recolectar el efluente sin perturbar la sedimentación de las partículas depositadas.
- Zona de recolección de lodos. Constituida por una tolva con capacidad para depositar los lodos sedimentados, y una tubería y válvula para su evacuación periódica.



Según diversos autores el proceso de sedimentación puede reducir de 20 a 40% la  $DBO_5$  y de 50 a 70% los sólidos en suspensión.

El sedimentador se puede dividir en cuatro zonas: (ver Imagen 39)

a) Zona de entrada

Estructura hidráulica de transición, que permite una distribución uniforme del flujo dentro del sedimentador. En este punto la distribución del caudal es crítica para sedimentadores rectangulares y generalmente se emplea alguno de los siguientes diseños:

- 1.- Canales de entrada con orificios sumergidos
- 2.- Pantallas deflectoras: los deflectores ubicados en la entrada se utilizan para reducir las altas velocidades de ingreso y para distribuir el flujo a lo largo de la mayor sección transversal posible.
- 3.- Canales que ocupan la totalidad del ancho del sedimentador, con vertederos de entrada.

b) Zona de sedimentación

Consta de un canal rectangular con volumen, longitud y condiciones de flujo adecuados para que sedimenten las partículas. La dirección del flujo es horizontal y la velocidad es la misma en todos los puntos, flujo pistón.

c) Zona de salida

Constituida por un vertedero, canaletas o tubos con perforaciones que tienen la finalidad de recolectar el efluente sin perturbar la sedimentación de las partículas depositadas.

d) Zona de recolección de lodos

Constituida por una tolva con capacidad para depositar los lodos sedimentados, y una tubería y válvula para su evacuación periódica.

**Velocidad de sedimentación:**

El uso de la ecuación de Stokes para el diseño de clarificadores es ideal, en la práctica la sedimentación no es ideal, porque dentro del clarificador existen muchos factores como remolinos, cortocircuitos, puntos muertos en el tanque, movimiento de los recolectores de lodos y las partículas que se busca separar en las aguas residuales no son discretas y por tanto no sedimentan a velocidad constante.

Las partículas que se sedimentaran estarán comprendidas entre 0.2 mm y 0.05 mm, en régimen laminar, la ecuación que gobierna es la ley de Stokes.

$$V_s = \frac{1}{18} g \left( \frac{\rho_s - \rho}{\eta} \right) d^2$$

Dónde:

$V_s$  = velocidad de sedimentación de la partícula en cm/s

$g$  = aceleración de la gravedad en  $cm/s^2$

$\rho_s$  = Peso específico de la partícula en  $gr/cm^3$

$\rho$  = Peso específico del fluido en  $gr/cm^3$  (para el caso del agua el valor es 1)



$\eta$  = Viscosidad dinámica del fluido en poises<sup>47</sup>

$d$  = Diámetro aparente de la partícula en cm.

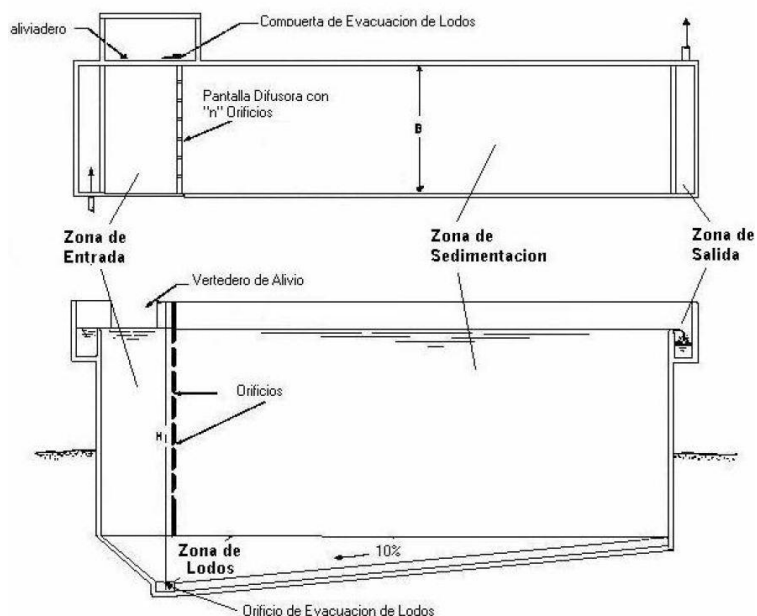


Imagen 39. Zonas de un sedimentador simple

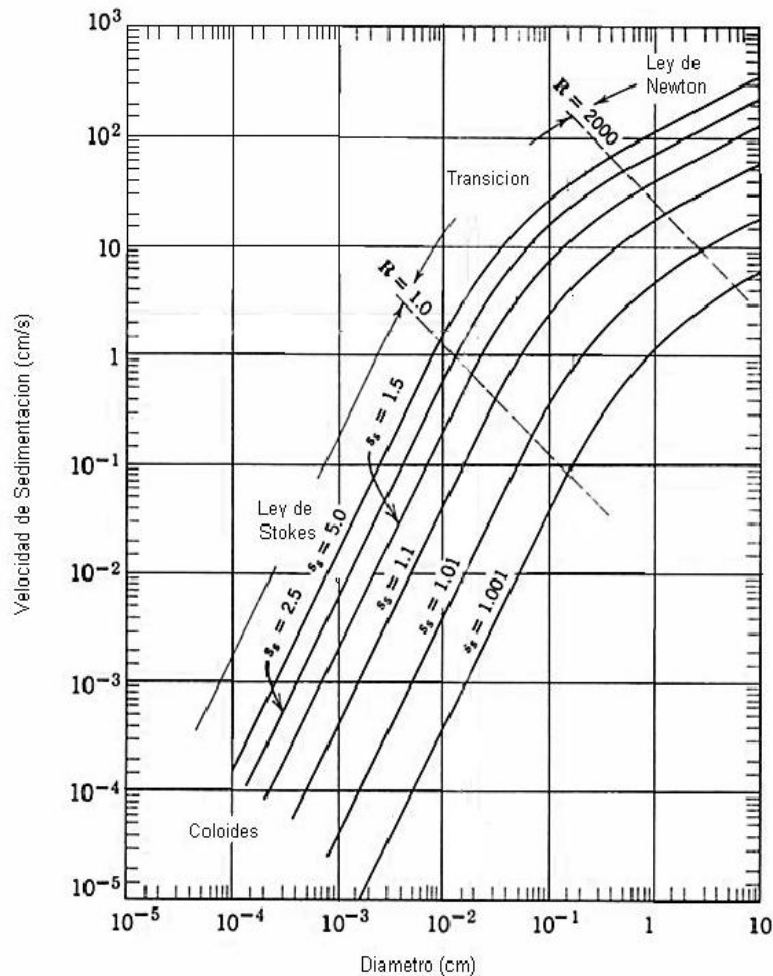
Otra manera de calcular la velocidad de sedimentación es mediante la Grafica 12, si conocemos el diámetro de las partículas más finas que queremos sedimentar.

Metcalf & Eddy proporciona la Tabla 30 en la cual se presentan parámetros de diseño

Tabla 30. Información típica para el diseño de tanques de sedimentación		
CARACTERÍSTICAS	INTERVALO	TÍPICO
Sedimentación primaria seguida de tratamiento secundario:		
Tiempo de retención, h	1.5 -2.5	2
Carga de superficie, m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> *día		
A caudal medio	30-50	40
A caudal punta	80-120	100
Carga sobre vertedero, m <sup>3</sup> /m*día	125 -500	250
Sedimentación primaria con adición del lodo activado en exceso:		
Tiempo de retención, h	1.5 -2.5	2
Carga de superficie, m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> *día		
A caudal medio	24-32	28
A caudal punta	48-70	60
Carga sobre vertedero, m <sup>3</sup> /m*día	125 -500	250

Fuente: (METCALF & Eddy, Ingeniería Sanitaria. Agua Residual Municipal.)

<sup>47</sup> 1 poise (P)  $\equiv 1\text{g}\cdot(\text{s}\cdot\text{cm})^{-1} \equiv 1\text{ dina}\cdot\text{s}\cdot\text{cm}^{-2} \equiv 0.1\text{ Pa}\cdot\text{s}$



Gráfica 12 Velocidad de Sedimentación, Gráfico tomado de Organización Panamericana de la Salud. (2005). Guía para el diseño de desarenadores y sedimentadores. Lima: CEPIS/OPS.

### 3.4.2.1.1. DISEÑO DEL SEDIMENTADOR RECTANGULAR

Datos:

s = peso específico de la arena	2.65
Temperatura del agua =	20 °C
d = diámetro uniforme de la partícula	0.05 mm
Q = Gasto de diseño	0.081 L/s
Ancho propuesto del sedimentador (B)	0.25 m
Tirante operacional propuesto (H)	0.15 m
Velocidad de sedimentación de acuerdo a la <b>Gráfica 12</b>	0.001 m/s

Calculando el área superficial de la zona de sedimentación con la fórmula de la continuidad:

$$A_s = \frac{Q}{V_s} = \frac{0.000081}{0.001} = 0.08 \text{ m}^2$$





Donde

$A_s$  = Área superficial del sedimentador en  $m^2$

$Q$  = Gasto en  $m^3/s$

$V_s$  = velocidad de sedimentación en  $m/s$

Una vez obtenida el área superficial necesaria, se determinan las dimensiones de largo  $L_2$  (m) partiendo del ancho propuesto  $B$  (m).

$$L_2 = \frac{A_s}{B} = \frac{0.08}{0.25} = 0.324 \text{ m}$$

Al resultado obtenido en el largo del sedimentador le sumaremos el espacio que ocupa la pantalla difusora para obtener un flujo pistón.

Para este caso asumimos la distancia de separación  $L_1=0.70$  m

Por lo que la longitud real es:  $L = 1.024$  m

Con el largo total y el ancho del sedimentador. Verificamos que cumpla con las siguientes relaciones:

$$3 < \frac{L}{B} < 6$$

$$3 < 4.10 < 6$$

$$5 < \frac{L}{H} < 20$$

$$5 < 6.83 < 20$$

Procedemos a calcular la velocidad horizontal con la siguiente formula:

$$V_H = \frac{Q}{B * H}$$

$$V_H = 0.0022 \text{ m/s}$$

Hay que tener en cuenta que la velocidad horizontal debe ser menor a  $0.25$  cm/s.<sup>48</sup>

Se continúa con la obtención del tiempo de retención mediante.

$$T_0 = \frac{\text{volumen}}{\text{Gasto}}$$

$$T_0 = 7.90 \text{ min}$$

Este valor es de mucha importancia, ya que a mayor tiempo de retención menor se la carga de turbidez que tratara el filtro lento de arena.

La mejor eficiencia del sedimentador es la que remueve mayor turbiedad en el menor tiempo posible. El tiempo de retención óptimo oscila en el intervalo de 1.5 a 4 h, con un máximo de 6 h. Es de hacer notar que estos valores óptimos están muy por encima del valor de retención del sedimentador.

<sup>48</sup> De acuerdo a las *ormas tecnicas complementarias para el diseño y ejecucion de obras e instalaciones hidraulicas del Distrito Federal* la velocidad horizontal maxima a través de un tanque sedimentador rectangular sera de 2.5 mm/s



Es recomendable que el fondo del sedimentador cuente con una pendiente del 10% para alojar los fangos, con lo cual se obtiene la altura máxima del mismo.

La velocidad de arrastre se calcula con la siguiente ecuación.

$$V_H = \left( \frac{8k(s-1)gd}{f} \right)^{1/2}$$

$$V_H = 0.1138 \text{ m/s}$$

Dónde:

VH = velocidad horizontal mínima a la cual se inicia el arrastre de partículas.

k = constante que depende del tipo de material arrastrado = 0.04

s = peso específico de las partículas.

g = aceleración de la gravedad.

d = diámetro de las partículas.

f = factor de fricción de Darcy-Weisbach. = 0.02

Los valores más comunes de k son 0.04 para arena unigranular, 0.06 para materia más agregada. El factor de Darcy-Weisbach depende de las características de la superficie sobre la que tiene lugar el flujo y del número de Reynolds, sus valores típicos están entre 0.02 y 0.03. Tanto k y f, son constantes adimensionales.

Esta velocidad de arrastre calculada se compara con la velocidad horizontal la cual debe ser menor para que el material sedimentado no sea resuspendido.

Por último se calcula las tasas de remoción de DBO y SST con ayuda de la siguiente fórmula

$$R = \frac{t}{a + bt}$$

Dónde:

R = Porcentaje de remoción de DBO o SST esperado en %

T= Tiempo nominal de retención en h

a y b = Constantes empíricas (Ver Tabla 31)

Tabla 31. Valores de las constantes empíricas a y b		
Variable	a	b
DBO	0.018	0.020
SST	0.0075	0.014

Fuente: (CRITES & TCHOBANOGLOUS, 2000)

Calculo de la remoción de DBO

$$R = 44.88 \%$$

Calculo de la remoción de SST

$$R = 66.89 \%$$

Dichos valores están dentro del parámetro establecido, sin embargo los que nos arroja el cálculo se encuentran fuera de lo que nos presenta la Tabla 30 esto debido a que el sedimentado tiene datos fuera de lo común al tratarse para una población pequeña.



### 3.4.2.2. Filtración gruesa

El pretratamiento empleando filtros gruesos de grava para retener parte del material en suspensión antes de la filtración lenta se utilizó en Europa y Estados Unidos hasta principios del siglo XX. Posteriormente su uso fue abandonado, por lo que existe poca información técnica sobre este tipo de instalaciones.

Recientemente se han realizado investigaciones para determinar la eficiencia y parámetros de diseño de este tipo de instalaciones. Entre diversos estudios sobre el comportamiento de los filtros gruesos se tiene el “Proyecto integrado de investigación y demostración de métodos de pretratamiento para sistemas de abastecimiento de agua” desarrollado por CINARA IRC, International Water and Sanitation Center en su Fase I (CINARA IRC – 1989 a1993) y por Galvis y colaboradores en 1993. El proyecto fue desarrollado en Puerto Mallarino, EMCALI, Cali – Colombia y en ocho localidades a escala real abastecidas por fuentes superficiales con diversos valores de turbiedad, sólidos suspendidos y coliformes fecales.

Esos estudios demostraron que una combinación de filtración gruesa y filtración lenta es excelente para tratamientos de agua sin dosificación de productos químicos, debiendo únicamente desinfectarse el líquido filtrado (a pesar de su alta eficiencia en reducción bacteriológica).

Los resultados dieron remociones superiores a 60% e inferiores a 85% para turbiedades entre 150 y 500 UTN, mientras que la eficiencia se reduce a valores entre el 50 al 80% en períodos de turbiedad entre 30 y 50 UTN.

Como medio granular fueron ensayados diversos materiales (piedra pómez, esferas de cuarzo, carbón vegetal) con diferentes características superficiales. En las condiciones en que se realizaron los ensayos el desempeño de todos ellos fue similar.<sup>49</sup>

#### Clasificación

Los filtros gruesos de grava se pueden clasificar en base al tamaño de la grava dg (mm), velocidad media del escurrimiento dentro del manto de grava (m/h), sentido de ese flujo (ascendente, descendente u horizontal) y sistema de limpieza de los mantos colmatados.

Se pueden mencionar los siguientes sistemas:

- *Filtro grueso dinámico*: son tanques que contienen una capa delgada de grava fina (6 a 13mm) en la superficie, sobre un lecho de grava más grueso (13-25mm) y un sistema de drenaje en el fondo. Es aplicado como una primera etapa de tratamiento, acondicionando la calidad del agua en las siguientes etapas.
- *Filtro grueso propiamente dicho*: conforman el último proceso de pretratamiento a la filtración lenta de arena o eventualmente a otros procesos. El tamaño de los granos de grava disminuye con la dirección del flujo y según el sentido del flujo y número de compartimentos en serie se tienen las siguientes variantes:
  - ❖ Flujo descendente en serie.
  - ❖ Flujo ascendente en serie o en un compartimento, en capas de grava.
  - ❖ Flujo horizontal.

Para efectos de esta investigación se toma en consideración el ***filtro grueso de flujo vertical ascendente*** (ver Imagen 40)

<sup>49</sup> (CIFUENTES, CAMPAÑA, & KOTIK, FILTRACIÓN LENTA)



Un filtro grueso ascendente generalmente está compuesto de:

- cámaras de filtración,
- lecho filtrante,
- estructuras de entrada y salida,
- sistema de drenaje y cámara de lavado y
- accesorios de regulación y control.

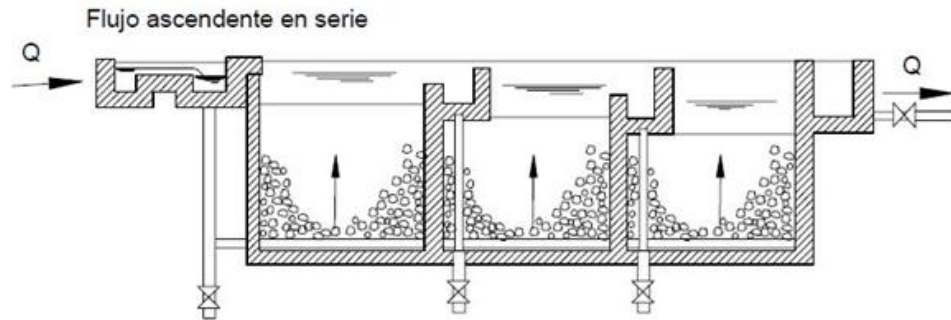


Imagen 40. Filtro grueso de flujo ascendente en serie, imagen tomada de CIFUENTES, O., CAMPAÑA, H., & KOTIK, D. (s.f.). FILTRACIÓN LENTA. Recuperado el 15 de Agosto de 2011, de Universidad Tecnológica Nacional; Facultad Regional Bahía Blanca

Parámetros de diseño del filtro grueso de flujo vertical

- Velocidad media de filtración

Se define a  $V_f$  (m/h), como el caudal  $Q$  ( $m^3/h$ ) aplicado al filtro grueso, dividido por la superficie filtrante  $A_f$  ( $m^2$ ) perpendicular a la dirección del flujo, o sea:

$$V_f = Q/A_f.$$

$V_f = 0.3$  a  $1.00$  m/h = velocidad media de filtración, constante durante la filtración.

- Tamaño de la grava

Varía generalmente entre 25 y 4 mm, debiendo ser uniforme para tener una buena porosidad. El tamaño de los granos de grava disminuye con la dirección del flujo.

$F_u = d_{g\text{máx}}/d_{g\text{mín}}$  = factor de uniformidad debe ser menor de dos

Dónde:

$d_{g\text{máx}}$  = tamaño máximo (mm)

$d_{g\text{mín}}$  = tamaño menor (mm)

La granulometría varía conforme se colocan los compartimentos:

- ❖ Primer compartimento: tamaños entre 25 y 19 mm.
- ❖ Segundo compartimento: tamaños entre 19 y 13 mm.
- ❖ Tercer compartimento: tamaños entre 13 y 4 mm.

- Altura  $H$  (m) y ancho  $B$  (m) del filtro grueso

Se recomiendan estructuras poco profundas,  $H = 1.00$  a  $2.00$  m por consideraciones hidráulicas, normalmente no mayor a  $1.50$  m por la facilidad en remover el lecho de grava cuando está muy colmatado.



- Pérdida de carga en el flujo dentro del manto de grava

La resistencia del escurrimiento se incrementa progresivamente a medida que avanza la operación de la unidad.

En una carrera de filtración la pérdida de carga final en un filtro grueso, generalmente de pequeño valor, se supone que podría variar hasta un máximo de 0.30 m.

La variación de la pérdida se registra con el aumento del nivel líquido en la cámara de entrada a la unidad.

#### Eficiencias Esperadas en Filtros Gruesos de Grava

De acuerdo a experiencias del CINARA<sup>50</sup>:

- Para rangos entre 150 y 500 UT

Filtros verticales ascendentes: E = 79 % con  $V_f = 0.30$  m/h, E = 82% para  $V_f = 0.45$  m/h, E = 80 % con  $V_f = 0.60$  m/h.

Filtros verticales descendentes: E = 69 % con  $V_f = 0.30$  m/h, E = 83 % con  $V_f = 0.45$  m/h, E = 78 % con  $V_f = 0.60$  m/h.

Filtros gruesos horizontales: E = 78 % con  $V_f = 0.30$  m/h, E = 85 % con  $V_f = 0.45$  y 0.60 m/h.

- Sólidos suspendidos

Para un agua con valores medios de 198.3 mg/L y máxima de 978 mg/l. Se tienen las siguientes concentraciones del efluente de:

Filtros gruesos verticales ascendentes: 2.2 mg/L de promedio y 10 mg/L máximo

Filtros gruesos verticales descendentes: 2,1 mg/L de promedio y 8.3 mg/l máximo

#### Diseño del filtro grueso de flujo vertical ascendente

Datos:

N = Número de unidades = 2

Q = 0.081 L/s = 0.000081 m<sup>3</sup>/s = 0.2916 m<sup>3</sup>/hora

$V_f = 0.60$  m/h (propuesta de acuerdo a la eficiencia deseada)

- Calculando el área superficial ( $A_s$ ):  $A_s = \frac{Q}{N \cdot V_f} = 0.243 \text{ m}^2$
- El diámetro de la unidad es:  $D = \sqrt{\frac{4A_s}{\pi}} = 0.556 \text{ m}$

Por lo que se proponen 2 unidades cilíndricas con las siguientes características.

Diámetro= 0.60 m

Altura= 0.90 m

Área superficial ( $A_s$ ) = 0.283 cada unidad X 2 unidades = 0.566 m<sup>2</sup>

- Verificando la velocidad real  $V_f = 0.52$  m/h Valor aceptable
- Calculando el sistema de distribución (este debe estar compuesto por un distribuidor y tuberías laterales con orificios) debe cumplir con la siguiente relación:  $n^{A_o}/A_L \leq 0.42$

<sup>50</sup> Cinara, Instituto de Investigación y Desarrollo en Abastecimiento de Agua, Saneamiento Ambiental y Conservación del Recurso Hídrico, Colombia.



Datos:

Diámetro de la tubería lateral =	1.5"
Diámetro del orificio =	1 cm
A <sub>o</sub> = área del orificio =	0.000079 m <sup>2</sup>
A <sub>L</sub> = Área lateral <sup>51</sup> de la tubería =	0.1652 m <sup>2</sup>
Numero de orificios propuestos =	150

Verificando:

$$0.12 \leq 0.42$$

Cumple con la condición

Se utilizara la misma tubería de alimentación como sistema de drenaje, el sistema de drenaje debe cumplir con la siguiente condición:

$$n \frac{A_o}{A_L} \leq 0.15$$

Por lo que  $0.12 \leq 0.42$

Por lo que pasa la propuesta.

La granulometría es: (ver Tabla 32 e Imagen 41)

Tabla 32. Granulometría y espesor de capas de filtro grueso

Capa	Lecho filtrante (mm)	Altura (m)
1	25-19	0.40
2	19-13	0.40
3	13-6	0.40
4	6-3	0.40

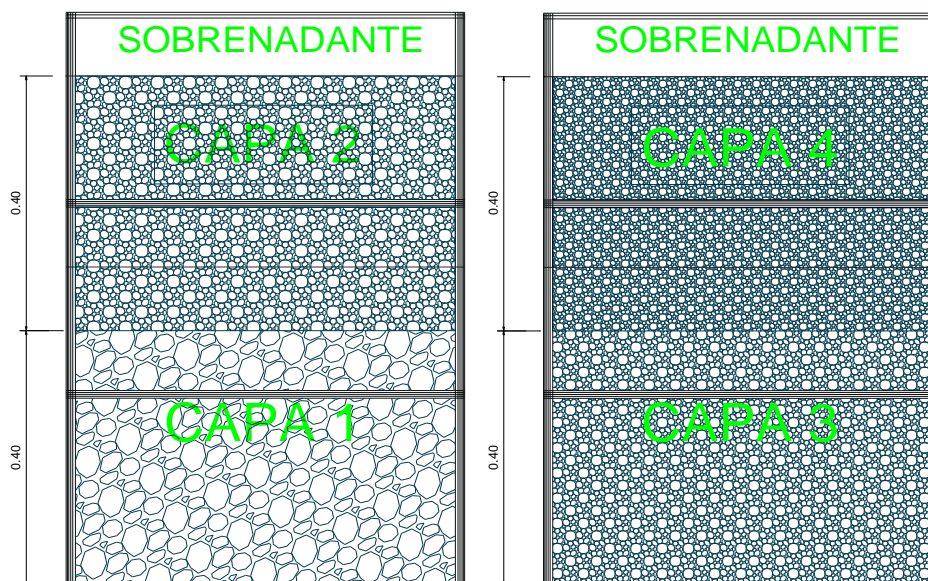


Imagen 41. Acomodo de la granulometría en recipientes.

<sup>51</sup> Área lateral: Superficie de un cuerpo geométrico excluyendo las bases, en este caso es un cilindro por lo que el área lateral = perímetro de la base x altura =  $A_{lateral} = 2\pi r \cdot h$



El sistema de distribución y drenaje queda acomodado en el fondo de cada recipiente ver Imagen 42

Para el filtro número 2 que contiene las capas 3 y 4 se colocara una malla de polietileno que impida el paso de la grava por los orificios. (Ver Imagen 43)

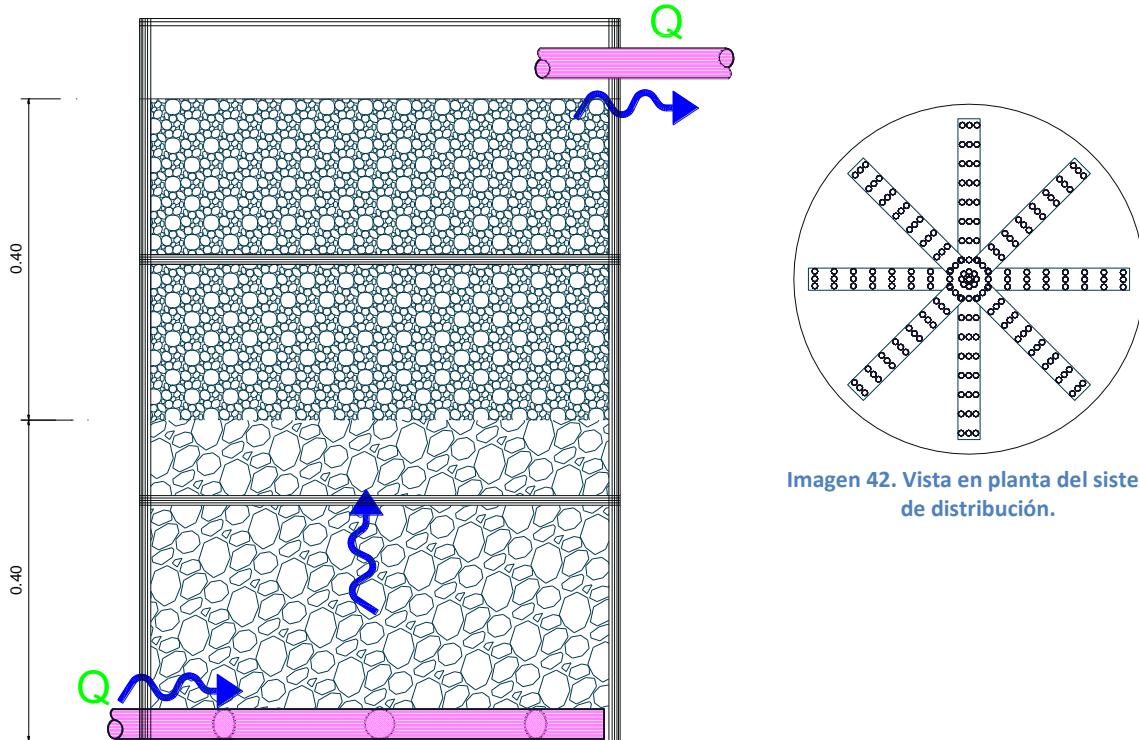


Imagen 43. Detalle filtro flujo ascendente

Imagen 42. Vista en planta del sistema de distribución.

### Comparativa entre el sedimentador simple y el filtro grueso ascendente

Tabla 33. Resumen de resultados del sedimentador y el filtro grueso (en porcentaje)				
Operación	DQO	DBO	SS	TURBIEDAD
Sedimentador	20-35 <sup>52</sup>	44.88	66.89	Sin datos
Filtración gruesa	Sin datos	5.0	80	70

El sedimentador presenta una mejor eficiencia en la DBO, así como en la DQO, pero la mayor desventaja es que el flujo debe ser continuo y necesita mayores medidas de control en su operación, asimismo se necesitaría capacitar a los residentes de la edificación para su operación, y requiere mano de obra calificada para su construcción, por otro lado, la filtración gruesa presenta una mayor eficiencia en los SS y en la turbiedad, no así en la DBO y no hay datos de la DQO, sin embargo el filtro grueso no requiere de mano de obra especializada para su funcionamiento y construcción y otra de sus ventajas es que acepta el flujo intermitente.

<sup>52</sup> Eficiencia según ROJAS, R. (2002). Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales. *Gestion integral de tratamiento de aguas residuales* (págs. 3-19). CEPIS/OPS-OMS.



Debido a lo anterior se optó por incluir el filtro grueso ascendente en el tren de tratamiento.

Sin embargo se propone colocar en la parte inferior de los tamices una zona que sirva para mantener los sólidos que sedimenten y no sean arrastrados hacia el filtro grueso. (Ver Imagen 44)

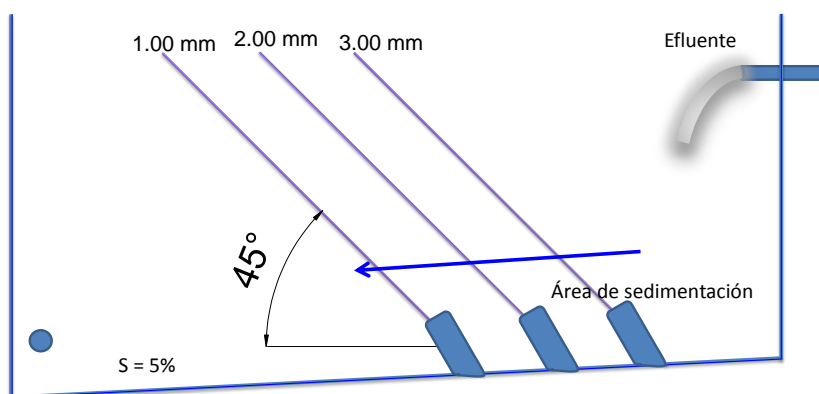


Imagen 44. Acomodo de mallas modificada para sedimentación

Cuando se emplea el tamizado como sustituto de la sedimentación primaria se dice que presenta las siguientes eficiencias

Tabla 34. Eficiencia esperada de tamices finos como reemplazo de sedimentadores primarios

Operación	DQO	DBO	SS	TURBIEDAD
Tamiz estático	Sin datos	5-20	1-5	Sin datos

Fuente: (CRITES & TCHOBANOGLOUS, 2000)

### 3.4.3. Tratamiento primario avanzado

El tratamiento primario avanzado es un proceso físico-químico que puede ser aplicado al comienzo, en medio o al final del tratamiento de las aguas residuales. Este puede ser aplicado en una fase única como tratamiento primario o como complemento a fases posteriores de tratamiento, permitiendo que los requerimientos en tratamientos secundarios o terciarios sean menores. La estrategia que brinda los mayores beneficios económicos y ambientales es su aplicación al comienzo, o como etapa única del tratamiento.

El proceso físico-químico. Consiste en remover con ayuda de coagulantes, principalmente sales metálicas y/o polielectrolitos, los sólidos suspendidos o disueltos que poseen. El tratamiento físico químico utiliza dosis pequeñas de coagulante, acompañado en ocasiones con una mínima dosis de polímero, lo que implica bajos costos de operación

El fenómeno coagulación-floculación es complejo y no existe a la fecha un modelo plenamente aceptado que lo explique. La dosis de coagulante, de acuerdo con el modelo físico de la coagulación, neutraliza las cargas eléctricas de los coloides por el cambio de la concentración de los iones que determinan el potencial del coloide. Las cargas, que se derivan de la hidrólisis del coagulante añadido al agua (cationes), se adhieren a la superficie de los coloides que originalmente poseen cargas negativas, reduciendo de esta manera el potencial eléctrico del coloide y como consecuencia, permitiendo que la acción de las fuerzas de Van Der Waals derive en la formación de flóculos. Este modelo, sin embargo, no explica la sobredosis, esto es, que el fenómeno se presenta a ciertas dosis denominadas dosis óptima, pero no a dosis ligeramente mayores o ligeramente menores<sup>53</sup>

<sup>53</sup> (CASTILLO Borges, HERRERA Canché, & MENDEZ Novelo)





Por lo que el proceso de coagulación-floculación de aguas se realiza primeramente a nivel laboratorio siguiendo la metodología de las pruebas de jarras<sup>54</sup> esto para obtener la dosis óptima de acuerdo a la caracterización del agua a tratar.

El propósito del trabajo de laboratorio es el de determinar con pruebas los parámetros de diseño de las diferentes unidades que componen un tratamiento fisicoquímico de aguas residuales domésticas, en los que se obtengan las mejores eficiencias de remoción de materia orgánica medida como Demanda Química de Oxígeno (DQO):

- Dosis óptima de coagulantes necesarios para obtener eficiencias de remoción de materia orgánica, similares o superiores a los obtenidos por tratamientos biológicos.
- pH óptimo.
- Concentración óptima de coagulante.
- Número de Camp (Gradiente hidráulico por tiempo de retención de la mezcla rápida)
- Número de Camp (Gradiente hidráulico por tiempo de retención para la mezcla lenta)
- Carga superficial para diseño de sedimentadores para una eficiencia predeterminada.

En la práctica se emplean coagulantes como son:

- Sulfato de Aluminio
- Sulfato Ferroso
- Sulfato Férrico

Otros agentes que también se emplean para coagular y que se les llama auxiliares de la coagulación son: la cal o hidróxido de calcio y el carbonato de sodio. Estos compuestos favorecen la coagulación al ajustar el valor del pH a un valor óptimo para la formación del polímero que atrapa las partículas o para incrementar la alcalinidad del agua y favorecer la aparición del coágulo.

---

<sup>54</sup> Esta prueba consisten en simular en vasos de precipitado o jarras, el proceso de coagulación-floculación que se producirá en la planta de tratamiento y evaluar distintos parámetros durante o al final de los ensayos para caracterizar su funcionamiento. El objetivo básico es la determinación de los coagulantes y auxiliares de coagulación (metálicos o prepolimerizados), sus dosis óptimas, secuencia de adición de los mismos para una turbiedad, un color, un pH, una temperatura, una alcalinidad y una dureza dados. Estas pruebas deben repetirse no menos de 10 veces para distintas condiciones del agua cruda. Los análisis de laboratorio deben hacerse de acuerdo con la normatividad vigente y en su ausencia con los métodos estándar Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water de la APHA, AWWA y WPCF, 1995. Las pruebas de jarras se pueden usar para la determinación de:

- 1) Dosis óptima de coagulantes, alcalinizantes y desinfectante.
- 2) Evaluaciones cualitativas:
  - a) Tamaño del floculo producido
  - b) Tiempo inicial de formación del floculo.
- 3) Evaluaciones cuantitativas:
  - a) Determinaciones físicas: turbiedad y color residuales, así como tiempos y gradientes óptimos de velocidad. Cuando sea pertinente pueden también determinarse: la velocidad de sedimentación de los flóculos formados, y el número de partículas presentes por tamaños.
  - b) Determinaciones químicas: pH y alcalinidad antes y después de la coagulación. Adicionalmente la concentración del aluminio residual, hierro y/o manganeso si procede.



### **Fases del proceso**

- La primera fase del proceso de coagulación-floculación se denomina mezcla rápida y en ella, los coagulantes químicos son agregados al agua residual, para desestabilizar las partículas coloidales, permitiendo su aglomeración. El proceso de desestabilización ocurre unos pocos segundos después de la adición de los coagulantes.
- En la fase de floculación, las partículas desestabilizadas crecen y se aglomeran para formar grandes flocs. La floculación es más lenta y más dependiente del tiempo y del nivel de agitación que la mezcla rápida. Los tiempos de detención típicos para la floculación varían entre 5 y 30 minutos

### **Desventajas**

- Una de las principales desventajas del tratamiento físico químico es la mayor cantidad de lodos producidos.
- La Cantidad de Lodos Producidos tanto en términos volumétricos como másicos en el tratamiento físico químico es mayor que la cantidad en el tratamiento primario convencional. Existe un aumento de la cantidad de ST en los lodos primarios debido al aumento de remoción de sólidos en el afluente y a que parte de los químicos adicionados sedimenta junto con los sólidos removidos y pasa a formar parte de la masa ST en lodos.
- Uso de energía eléctrica para realizar el mezclado de los polímeros con el agua a tratar.

### **Ventajas**

- El efluente del CEPT-TPA generalmente presenta menos de la mitad de la concentración de SST de un sistema de tratamiento primario convencional, reduciendo las necesidades de tratamiento secundario en forma proporcional a su efectividad.
- La remoción de metales en el CEPT-TPA es 2 veces superior a la del tratamiento secundario convencional.
- La rápida velocidad de sedimentación alcanzada por el CEPT-TPA permite incrementar la carga hidráulica recomendada para el diseño de los sedimentadores primarios convencionales

### **Eficiencia del proceso CEPT-TPA**

- Remoción de DBO entre 40% y 70%
- Remoción de DQO entre 30 y 60%
- Remoción de SST entre 60 y 90%
- Remoción de fósforo entre 60 y 90%
- Carga de coliformes entre 80 y 90%

Debido a la imposibilidad de la toma de muestras del agua residual a tratar no se pudo realizar la prueba de jarras, por lo cual no se pudo determinar el tipo y la cantidad de coagulante, sin embargo de acuerdo a la bibliografía consultada es una opción viable ya que el desarrollo que han tenido los polímeros convierten al CEPT-TPA en una alternativa económica y técnicamente atractiva.



De acuerdo a lo anterior unas de las ventajas que se presentan en la aplicación del proceso en una edificación habitacional serian:

- El poco espacio que requiere para su instalación.
- El sistema de tratamiento primario avanzado con filtración y desinfección, permite alcanzar la calidad de agua para reuso urbano solamente si el contenido de contaminantes orgánicos en ésta es bajo.<sup>55</sup>
- El desarrollo de nuevos polímeros ha permitido reducir las dosis de las sales metálicas usadas como coagulantes, mediante la dosificación de pequeñas dosis de polímero como ayudante de floculación, disminuyendo costos y convirtiendo así este tratamiento como una tecnología viable para el manejo de las aguas residuales.

#### 3.4.3.1. Efecto de la coagulación en el comportamiento de un FGA

La opción de integrar al CEPT-TPA antes del filtro grueso ascendente es una alternativa atractiva por su simplicidad en operación y mantenimiento, aunado a su bajo costo de instalación y operación.

Una adecuada combinación de dosis y pH de coagulación permiten aumentar significativamente la remoción del material particulado en la operación de la Filtración Gruesa Ascendente en Capas, independiente del tipo de mecanismo con que se realiza la desestabilización, pero una disminución en la eficiencia hidráulica del sistema<sup>56</sup>

El integrar el sistema de esta forma presentara una mayor eficiencia en la remoción de los contaminantes, pero reducirá el tiempo de operación del FGA lo que ocasiona una disminución del tiempo entre limpieza del FGA.

La acumulación de depósitos en los intersticios de la grava, ocasionan una disminución de hasta 3 veces el tiempo de residencia teórico con respecto al inicio de la carrera; presentándose un aumento significativo de cortos circuitos, y disminución del flujo a pistón<sup>57</sup>

Por lo antes expuesto se considera que la inclusión del CEPTA-TPA es viable dentro del tren de tratamiento propuesto, ya que presenta una eficiencia superior al tratamiento convencional, así como, una utilización de espacio reducida y costos económicos, aunque debido a que el flujo no es constante ya que tiene variaciones en cantidad y calidad presentaría problemas en controlar la velocidad de sedimentación, por lo cual se propone incluir el CEPTA-TPA antes del FGA ya que con un diseño que facilite la limpieza se atacaría el problema de la “rápida” colmatación del FGA.

El coagulante que se recomienda usar es el sulfato de aluminio.

Se recomienda usar una torre de saturación para dosificar el sulfato de aluminio en forma de piedra. El dosificador consta de una torre que puede ser un tubo de PVC adaptado para contener el sulfato de aluminio. El agua se distribuye en toda la sección superior de la torre, mediante un plato o bandeja perforada. (Ver Imagen 45)

<sup>55</sup> (MIJAYLOVA, y otros, 2002)

<sup>56</sup> (QUINTERO González)

<sup>57</sup> ÍDEM

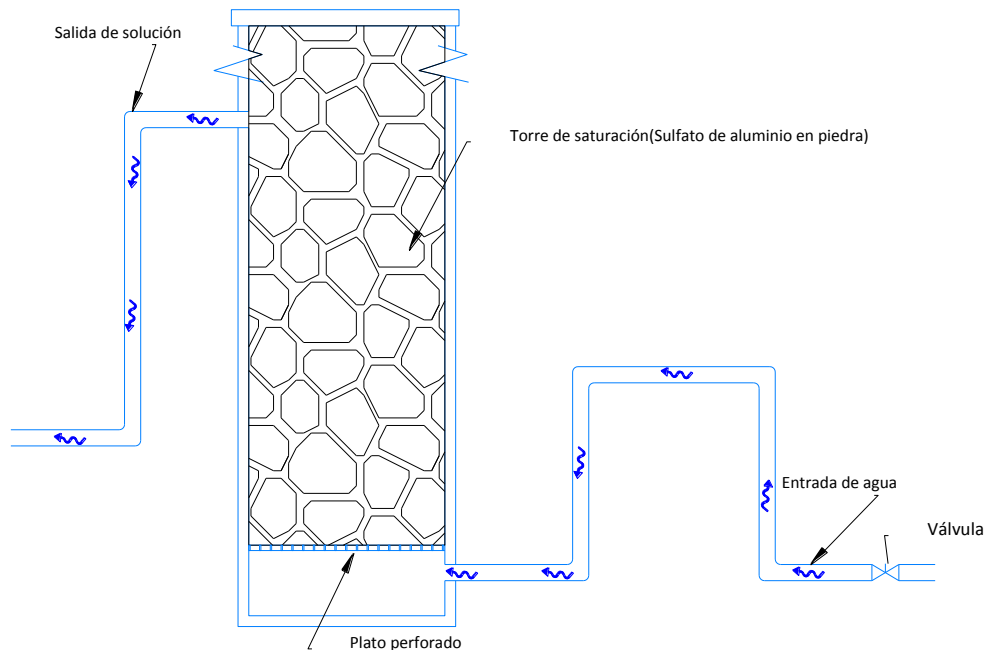


Imagen 45. Dosificador de sulfato de aluminio por gravedad

#### 3.4.4. Filtro lento de Arena

La filtración lenta en arena es el sistema de tratamiento de agua más antiguo. Copia el proceso de purificación que se produce en la naturaleza cuando el agua de lluvia atraviesa los estratos de la corteza terrestre y forma los acuíferos o ríos subterráneos. El desconocimiento de sus ventajas y el surgimiento de la filtración rápida han hecho que se menosprecie y sea relegado a zonas rurales en el mejor de los casos.

La filtración Lenta (o filtración biológica) se consigue al hacer circular el agua a través de un manto poroso de algún material<sup>58</sup> que pueda retener o remover impurezas. Durante el recorrido del agua dentro del filtro las impurezas entran en contacto con la superficie de las partículas del medio filtrante y son retenidas desarrollándose adicionalmente procesos de degradación química y biológica que reducen a la materia retenida a formas más simples, las cuales son llevadas en solución o permanecen como material inerte hasta un subsecuente retiro o limpieza.<sup>59</sup>

La principal característica de la filtración lenta es que, por efecto de la actividad biológica, permite la remoción de organismos patógenos del agua, en particular de las bacterias y virus responsables de la transmisión de enfermedades relacionadas con el agua. Además, no necesita la adición de productos químicos ni una supervisión altamente cualificada y continua.

<sup>58</sup> Por lo general se utiliza como manto poroso la arena, piedra pómez, carbón vegetal entre otros, en esta investigación se utiliza arena sílica.

<sup>59</sup> (CANEPA de Vargas)



Cabe hacer notar que el Filtro lento de arena (FLA) es un proceso muy complejo donde las condiciones físicas, químicas y bacteriológicas del agua son mejoradas por medio de un solo paso, que comprende varios Procesos unitarios que se complementan entre sí, actuando en forma simultánea.

Una de las propiedades más importantes del manto filtrante es la adherencia, fenómeno resultante de la acción de fuerzas eléctricas, acciones químicas y atracción de masas.

En los poros o espacios vacíos del medio filtrante (aproximadamente 40% del volumen) se desarrolla un proceso activo de sedimentación, fenómeno que se incrementa apreciablemente por la acción de fuerzas electrostáticas y de atracción de masas.

La superficie de los granos de arena es revestida con una capa de una composición similar al schmutzdecke<sup>60</sup> o piel de filtro, este revestimiento biológico es muy activo hasta los 0.40 m de profundidad en el medio filtrante.

Como consecuencia de los procesos que se dan en el manto filtrante, el agua cruda que ingresa en el filtro lento con sólidos en suspensión en estado coloidal y amplia variedad de microorganismos y complejas sales en solución sale virtualmente libre de tales impurezas y con bajo contenido de sales inorgánicas en solución.

Uno de los factores más importantes en la eficiencia del filtro es la tasa superficial o velocidad de filtración, esta es recomendable que se encuentre entre los valores de 0.1 y 0.5 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>h<sup>61</sup>

Se considera que 1 m<sup>3</sup> de manto contiene 15.000 m<sup>2</sup> de superficie (para un tamaño efectivo de 0.25 mm y porosidad inicial de 38%), lo que provoca la remoción de partículas superiores a 4 micrones (0.004 mm) con escurrimiento laminar en los poros o espacios vacíos entre los granos de arena (la porosidad varía entre el 38% y el 45% para la granulometría aceptada para filtros lentos).

Las condiciones del agua a tratar que más afectan la eficiencia del filtro son la temperatura, la concentración de nutrientes, de sustancias tóxicas y afluentes con turbiedad y color alto.<sup>62</sup>

- Temperatura: la eficiencia de remoción de bacterias coliformes fecales puede reducirse de 99% a 20°C a 50% 2°C; permaneciendo inalterables todas las condiciones restantes.
- Concentración de nutrientes: la velocidad de desarrollo de la formación biológica en el filtro depende de la concentración de nutrientes en el agua, debido a que esta es la fuente de alimentación de los microorganismos.
- Concentración de algas: las algas en concentraciones adecuadas es beneficioso para el funcionamiento del filtro.
- Concentraciones altas de turbiedad y color: la capacidad de los filtros lentos para reducir la turbiedad y el color es muy limitada. El agua a tratar no debe sobrepasar de 10 a 20 UTN

<sup>60</sup> Capa de material de origen orgánico, formado por numerosas formas de vida tales como, algas, plancton, diatomeas, protozoarios, rotíferas y bacterias. La acción intensiva de estos microorganismos atrapa, digiere y degrada la materia orgánica contenida en el agua.

<sup>61</sup> Se debe notar que (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>h) = (m/h)

<sup>62</sup> (CANEPA de Vargas)



por periodos prolongados, pudiendo aceptarse picos de 50 a 100 UTN por pocas horas, debido a que causan enlodamiento de la superficie del filtro, reduciendo la capacidad de remoción de la formación biológica del filtro y reduciendo dramáticamente la duración de la carrera de filtración. Esta condición provocaría un mayor mantenimiento al filtro lo cual incrementaría costos.

Se ha elegido la utilización del filtro lento de arena (FLA) debido a la economía y eficiencia que este representa en el tratamiento de agua y a que la FLA se ha utilizado exitosamente desde el siglo XIX en el tratamiento para consumo humano a gran escala.

Los procesos que se llevan a cabo en la filtración lenta de arena son:

**Mecanismos de transporte:** en esta etapa de remoción básicamente hidráulica se llevan a cabo básicamente los mecanismos mediante los cuales se da la colisión entre las partículas y los granos de arena. Estos mecanismos son: cernido, intercepción, sedimentación, difusión y flujo intersticial.

- 1) Cernido: En este mecanismo, las partículas de mayor tamaño que los intersticios del material filtrante son atrapadas y retenidas en la superficie del medio filtrante lo cual ayuda a la eliminación de sólidos suspendidos.
- 2) Intercepción: Mediante este mecanismo las partículas pueden colisionar con los granos de arena.
- 3) Sedimentación: Permite que las partículas sean atraídas por la fuerza de gravedad hacia los granos de arena, lo que provoca su colisión. Este fenómeno se incrementa apreciablemente por la acción de fuerzas electrostáticas y de atracción de masas, lo cual elimina parte de los sólidos suspendidos y algunas sustancias coloidales
- 4) Difusión: Se produce cuando la trayectoria de la partícula es modificada por micro variaciones de energía térmica en el agua y los gases disueltos en ella, lo cual puede provocar su colisión con un grano de arena.
- 5) Flujo intersticial: este mecanismo se refiere a las colisiones entre partículas debido a la unión y bifurcación de líneas de flujo que devienen de la tortuosidad de los intersticios del medio filtrante. Este cambio continuo de dirección del flujo crea mayor oportunidad de colisión.

**Mecanismos de adherencia:** este mecanismo es el que permite remover las partículas que, mediante los mecanismos de transporte, han colisionado con los granos de arena del medio filtrante. La propiedad adherente de los granos de arena es proporcionada por la acción de fuerzas eléctricas, acciones químicas y atracción de masas así como por película biológica que crece sobre ellos, y en la que se produce la depredación de los microorganismos patógenos por organismos de mayor tamaño tales como los protozoarios y rotíferas.

**Mecanismo biológico de la desinfección:** Este proceso se debe al efecto conjunto del mecanismo de adherencia y el mecanismo biológico. Es necesario que para que el filtro opere como un verdadero "sistema de desinfección" se haya producido un *schmutzdecke* vigoroso y en cantidad suficiente.

Los subproductos del FLA son sustancias naturales de degradación biológica sin ningún riesgo para la salud, puesto que el proceso no requiere de sustancias químicas que reaccionen con la materia disuelta en el agua. En tal sentido, los subproductos de la filtración lenta son dióxido de carbono y sales relativamente inocuas, como sulfatos, nitratos y fosfatos, además de un contenido bajo de oxígeno disuelto.



La filtración por un lecho de arena silíceo y/o antracita, es el método más idóneo para la eliminación de turbiedad de las aguas.

#### **Ventajas de los FLA**

- Mejora simultánea en la calidad física, química y bacteriológica del agua.
- La eficacia en la eliminación de bacterias totales es igual que en los filtros rápidos.
- No se necesitan compuestos químicos.
- La operación y mantenimiento pueden ser llevados a cabo por mano de obra semiespecializada.
- El proceso de filtración es llevado a cabo por gravedad; no hay otras partes mecánicas que precisen de energía para funcionar.
- El manejo de lodos no causa problemas; las cantidades de lodos son pequeñas.

Tabla 35. Resumen de la eficacia de la eliminación de contaminantes por el FLA

País(es)	Autor(es)	Organización(es)	Año	Contaminantes	Eficiencia de remoción reportada
Camboya	Liang, K. Sobsey, MD	Universidad de Carolina del Norte	2007	E. Coli	95%
				Turbidez	82%
Nicaragua	Vanderzwaag, J.	Universidad de Columbia Británica	2007	E. Coli	97%
República Dominicana	Stauber, C. Elliot, M.	Universidad de Carolina del Norte	2006	E. Coli	95-98%
				Virus	80-90%
Haití	Duke, W. Baker, D.	Universidad de Victoria, CB; CAWST	2006	E. Coli	98.5%
				Turbidez	85%
Etiopia	Earwaker, P.	Universidad de Cranfield, Silsoe	2006	E. Coli	87.9%
				Turbidez	81.2%
Etiopia		*Bolsa del Samaritano	2006	E. Coli	97%
				Turbidez	80%
Kenia, Mozambique Camboya, Vietnam, Nicaragua	Kaiser, N. Liang, K. Maertens, M. Snider, R.	Bolsa del Samaritano Canadá	2002	Coliformes fecales	93%
Nepal	Lee, T.	Instituto de Tecnología de Massachussets (MIT)	2001	E. Coli	83%
Nicaragua	Manz, D Buzunis, B. Morales, C.	Universidad de Calgary	1993	Coliformes fecales (después de 21 días)	97%
				Coliformes fecales (después de 2 meses)	96.4%

Fuente: (CAWST, 2008)

Aunado a los parámetros presentados en la tabla anterior el FLA presenta una remoción del 60% de color, 69% de la DQO, 71% de la DBO<sub>5</sub>.



### Avances en los filtros lentos de arena

Uno de los avances más recientes para optimizar el funcionamiento de los filtros lentos de arena ha sido el uso de mantas sintéticas que se colocan sobre el manto filtrante.

Mediante el uso de mantas sintéticas, conocidas como geotextiles, el desempeño de los filtros puede mejorar considerablemente en términos de aumento de la carrera de filtración y en la simplificación de las tareas de limpieza.

Las mantas sintéticas no tejidas son producidas a partir del uso de hilos de diferentes materiales que son entrelazados mediante agujas. Los principales constituyentes son fibras de poliéster, poliamida, polietileno y polivinil, siendo las de propileno las más indicadas por ser más resistentes a la abrasión, al calor, a los rayos ultravioletas y al ataque de compuestos como ácidos y álcalis.

Los objetivos de la utilización de mantas no tejidas sobre los mantos de arena de los filtros son: concentrar el proceso de purificación en las mantas para evitar la necesidad de removerlos para su limpieza, aumentar la duración de las carreras y reducir el espesor del manto de arena.

Por ser un proceso de purificación con una combinación compleja de varios mecanismos físicos, químicos y biológicos, no es posible modelar su diseño a partir de las teorías de la filtración, por lo que se requiere la realización de estudios en plantas piloto. Los ensayos deberán determinar el espesor, porosidad y tipo de manta más adecuada para cada caso particular.

### Diseño de FLA

Se denomina carrera durante la operación de un filtro, el período entre dos limpiezas sucesivas, o sea el lapso de tiempo que tarda en ensuciarse. Esa situación se evidencia cuando se produce el incremento brusco de la pérdida de carga y/o por la disminución rápida de la calidad del líquido efluente.

La pérdida de carga total  $H$  (m) durante una carrera, es igual a la suma de la pérdida de carga inicial correspondiente al filtro recién limpiado  $h_0$  (m) y la que ocurre durante el período operativo

$$H_f = N_{m\acute{a}x} - N_{m\acute{i}n} (m)$$

Se considera como velocidad de filtración a la velocidad del agua en el sobrenadante, o sea:

$$U_f = q = \frac{Q}{A_f} = \text{velocidad de filtración} (m/d)$$

Notemos que el cociente  $\frac{Q}{A_f}$  es por definición la "Carga hidráulica", o sea:

$$q = \frac{Q}{A_f} = \text{carga hidráulica sobre el lecho filtrante} (m^3/m^2 \cdot d)$$

Por lo que

$$U_f = q$$

Para lograr que la velocidad de filtración sea constante en una carrera, deben serlo el caudal afluente a tratar  $Q = Q_f = \text{caudal filtrado} (m^3/d)$  y la superficie filtrante  $A_f (m^2)$





La capacidad del filtro lento será con la demanda media de agua potable correspondiente al gasto máximo horario.

### Velocidad de filtración

La velocidad de filtración es el parámetro básico en el diseño y operación del FLA y está en función de los procesos u operaciones que antecedan al FLA o sea que el parámetro velocidad de diseño dependerá de la calidad del influente.

En el manual II de CEPIS<sup>63</sup>, se establecen los siguientes valores para la velocidad de filtración  $U_f$  (m/h) o carga hidráulica  $q_f$  ( $m^3/m^2 \cdot d$ )

$$U_f = 0.10 \text{ a } 0.20 \text{ m/h} = 2.4 \text{ a } 4.8 \left( \frac{m^3}{m^2} \cdot d \right); \text{ Únicamente filtración lenta}$$

$$U_f = 0.15 \text{ a } 0.30 \text{ m/h} = 2.6 \text{ a } 7.2 \left( \frac{m^3}{m^2} \cdot d \right); \text{ Sedimentación o prefiltración más filtración lenta}$$

$$U_f = 0.30 \text{ a } 0.50 \text{ m/h} = 7.2 \text{ a } 12.0 \left( \frac{m^3}{m^2} \cdot d \right); \text{ Sedimentación y prefiltración más filtración lenta}$$

Azebedo Netto establece la siguiente expresión:

$$U_f = 20/T^{1/2} \left( \frac{m^3}{m^2} \cdot d \right)$$

Donde T = Turbiedad media del agua del influente.

Estas velocidades son verificadas en laboratorio con el material filtrante propuesto (arena silíceo) considerando el espesor de las arenas finas de 0.40 a 0.60 m.

### Superficie requerida

La superficie filtrante está en función de:

$$Q_{Dn} = Q(m^3/d)$$

Dónde:  $Q_{Dn}$  = Gasto de diseño

$$U_f = q_f (m^3/m^2 \cdot d)$$

Del número de unidades filtrantes ( $N_f$ )

Y del número de horas diarias de funcionamiento  $N_h$

Por lo que el área filtrante ( $A_f$ ) es:

$$A_f = 24 \frac{Q}{N_f N_h q_f} = \text{superficie filtrante}(m^2)$$

<sup>63</sup> (CEPIS, 1992)



El número de unidades requeridas estará en función del área filtrante y de la geometría del área disponible para su construcción así como del tipo de limpieza (manual o mecanizada) que se piense instalar en el mismo.

### Alimentación y drenaje del filtro

El diseño de la alimentación del filtro es de suma importancia, ya que la entrada del agua no debe alterar la capa de arena, por lo que se debe disponer de algún dispositivo que evite la socavación y altere la capa de arena y al mismo tiempo permita la distribución uniforme del agua y no altere el proceso de filtración. Dichos dispositivos pueden ser a base de una geomalla

El drenaje del agua filtrada se debe efectuar a través de sistemas colectores que pueden estar conformados por conductos o bloques con orificios de ingreso o por ladrillos de construcción formando canales.

Una manera sencilla y efectiva es mediante tuberías perforadas pudiendo ser estas de concreto, PVC, o algún otro material que no altere la calidad del agua, y que a la vez no permitan el paso de la arena a través de ellos.

### Análisis y resultados

Datos:

N = Número de unidades = 2 (filtros en paralelo)

Q = 0.081 L/s = 0.000081 m<sup>3</sup>/s = 0.29 m<sup>3</sup>/hora = 6.99 m<sup>3</sup>/día

$V_f = 0.50 \text{ m/h} = q_f = 12 \left( \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \cdot \text{día}} \right)$  (de acuerdo a la eficiencia deseada y al sistema de prefiltración propuesto)

➤ Calculando el área superficial ( $A_f$ ):  $A_f = 24 \frac{6.99}{2 \cdot 24 \cdot 12} = 0.29 \text{ m}^2$

➤ El diámetro de la unidad es:  $D = \sqrt{\frac{4A_f}{\pi}} = 0.60 \text{ m}$

Por lo que se proponen 2 unidades cilíndricas con las siguientes características comerciales.

Diámetro= 0.60 m

Altura= 0.90 m

Área superficial ( $A_s$ ) = 0.283 cada unidad X 2 unidades = 0.566 m<sup>2</sup>

Verificando la velocidad real  $V_f = 0.52 \text{ m/h}$  Valor aceptable

➤ Calculando el sistema de distribución (este debe estar compuesto por un distribuidor y tuberías laterales con orificios) debe cumplir con la siguiente relación

$$n \frac{A_o}{A_L} \leq 0.42$$

Datos:

Diámetro de la tubería lateral = 1.5"

Diámetro del orificio = 1 cm

Ao = área del orificio = 0.000079 m<sup>2</sup> = 0.79 cm<sup>2</sup>



Proponiendo el número total de orificios que servirán como drenaje = 18

Los orificios de drenaje deben cumplir con la siguiente condición:

$$\frac{\text{Area total de orificios}}{\text{Area total de filtración}} = 0.0015 \text{ a } 0.005$$

Verificando

$$\frac{18 * 0.000079}{0.283} = 0.005 \text{ por lo que cumple.}$$

La composición de la capa filtrante será de arena silica (ver Tabla 36) y la eficiencia esperada de acuerdo al análisis bibliohemerográfico se presenta en la Tabla 37

Tabla 36. Composición del filtro

CAMADA	TIPO	DIÁMETRO DE PARTÍCULA (mm)	ESPESOR (cm)
Superior	Arena fina	0.15 a 0.35	50
Media	Arena gruesa	0.50 a 1.3	10
Inferior	Gravilla	3.18 a 6.35	10

Tabla 37. Eficiencia de remoción esperada (%)

Coliformes fecales	E. Coli	Turbidez	Virus
95	92	82	80

#### Detalles de construcción

Para el diseño del FLA se ha adoptado por un recipiente de diámetro medio de 60 cm y una altura de 90 cm que contendrá las capas de acuerdo a la Tabla 36 (ver Imagen 46)

El tiempo de “maduración” del FLA es de 2 a 4 semanas dependiendo de la calidad del influente y temperatura principalmente, Hay que tener en consideración que el filtro solo trabajara adecuadamente una vez que haya “madurado”, antes de esta etapa el filtro no eliminara gérmenes patógenos.

El funcionamiento del filtro es el siguiente, tomando en consideración las recomendaciones del ingreso del agua al filtro y a la salida del mismo. (Ver Imagen 47 e Imagen 48)

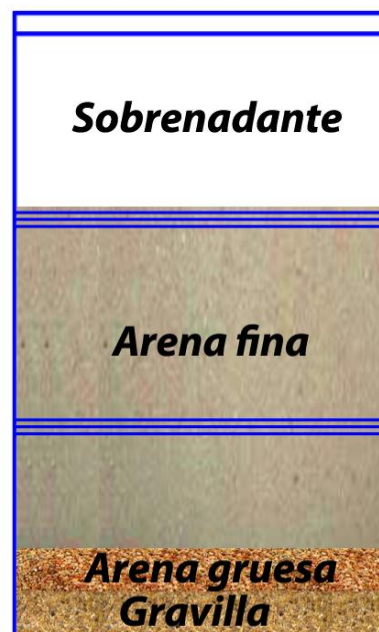


Imagen 46. Filtro Lento de Arena

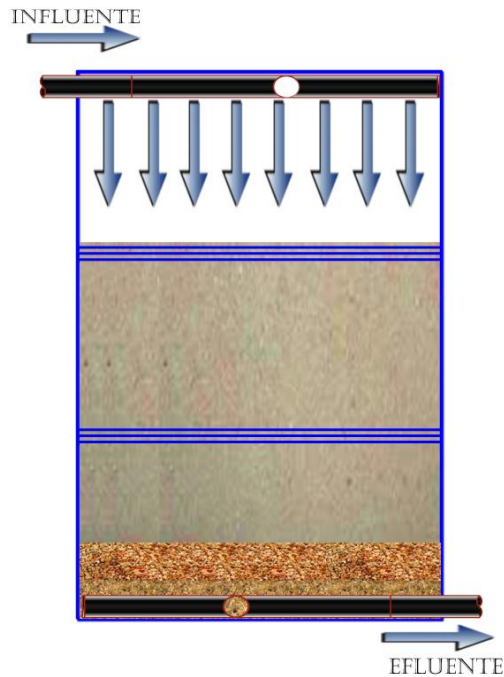


Imagen 47. Funcionamiento de filtro propuesto

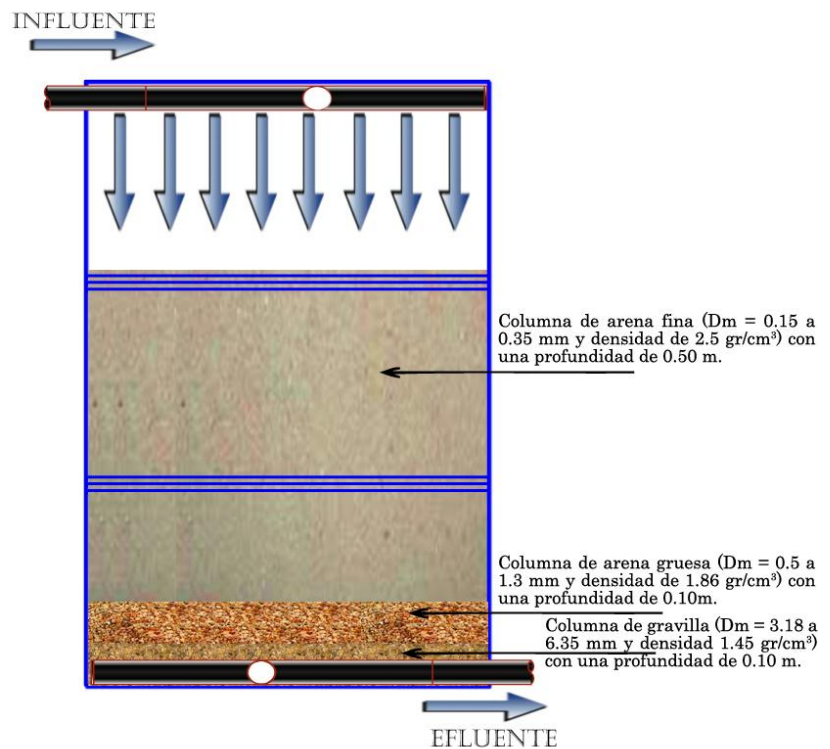


Imagen 48. Detalles filtro propuesto

Se recomienda el uso de una geomembrana sobre el lecho filtrante que servirá para agilizar y simplificar el mantenimiento rutinario del filtro.



### 3.4.5. Desinfección

Se evaluaron los procesos que de acuerdo al análisis realizado conjuntamente con los asesores en base a la bibliografía especializada, se puede garantizar la calidad del agua tratada y cumplir con la normatividad.

- Carbón activado
- Cloración

#### 3.4.5.1. Carbón activado

El carbón activado es una tecnología antigua que está recibiendo una especial atención debido a los avances que ha tenido en épocas recientes.

El carbón activado es un material que, como su nombre lo indica, es materia carbonizada la cual puede ser de origen vegetal o mineral. Se le llama activado debido a que toda la materia carbonizada tiene propiedades adsorbentes, pero el estado de activación que se da a este tipo especial de carbón le confiere propiedades especiales que lo hacen tener una gran capacidad para adsorber ciertas sustancias.

El carbón activado es un adsorbente universal. Es decir, retiene todo tipo de moléculas fluidas en estado líquido o vapor, siempre y cuando la molécula quepa dentro de los poros del carbón. Las moléculas que más tienden a cumplir con estas características son las de tipo orgánico. Es por ello que, para fines prácticos, se define al carbón activado como un adsorbente de moléculas orgánicas.

El carbón activado es capaz de retener contaminantes poco polares, covalentes y no disociados que suelen ser los de origen orgánico en cualquier concentración, entre las moléculas orgánicas que están presentes en agua, y que remueve el carbón activado, están:

- ❖ **Plaguicidas y herbicidas.** Generalmente provienen de los lixiviados de tierras de cultivo.
- ❖ **Tricloroetileno.** Este es el compuesto orgánico volátil que se encuentra con mayor frecuencia en aguas de mantos acuíferos.
- ❖ **Olor y sabor.** Estos son ocasionados por compuestos orgánicos como los que se producen en la descomposición de algas y otros vegetales.
- ❖ **Color.**
- ❖ **Surfactantes y detergentes.**
- ❖ **Aceites disueltos.**
- ❖ **Triclorometano y otros compuestos halogenados.** todos ellos carcinogénicos. Estos compuestos se generan al reaccionar el cloro libre usado como desinfectante, con los contaminantes orgánicos.
- ❖ **Bifenilos policlorados.** son una serie de compuestos organoclorados, que constituyen una familia de 209 congéneres, los cuales se forman mediante la cloración de diferentes posiciones del bifenilo, 10 en total
- ❖ **Fenoles.**
- ❖ **Benceno, tolueno y sus derivados clorados o nitrados.**
- ❖ **Compuestos orgánicos no biodegradables.**
- ❖ **Compuestos carcinogénicos.** Se ha encontrado que existe un sin número de compuestos orgánicos provenientes de aguas residuales industriales, que son carcinogénicos. La mayoría de estos compuestos son adsorbidos eficazmente por el carbón activado.



- ❖ **Sulfuro de hidrogeno.** Este es el típico olor a huevo podrido, y se elimina del agua clorándola, y posteriormente pasándola por una cama de carbón activado granular.
- ❖ **Algunos metales pesados.** El carbón puede retener ciertos metales como el níquel, cromo y cobre, aunque con baja eficiencia.
- ❖ El carbón activado elimina también algunos compuestos inorgánicos, por medio de reacción química, en la que puede intervenir como reactivo o como catalizador. Entre estos compuestos están, el cloro libre, el ozono, las cloraminas y el peróxido de hidrógeno. La remoción del cloro libre con carbón, constituye una de sus principales aplicaciones.

En el tratamiento de aguas residuales, el carbón activado suele aplicarse en la última etapa, denominada “tratamiento terciario”. En esta etapa se busca “pulir” el agua. Es decir, se busca llevarla a mayores niveles de pureza de los que se pueden alcanzar con los métodos tradicionales fisicoquímicos y biológicos. Si después de los tratamientos primario y secundario, el agua aún contiene una DQO de entre 30 y 100 mg/l, con carbón activado se puede disminuir a valores de entre 2 y 10 ó si después de los tratamientos primario y secundario, el agua ya cumple con lo esperado en cuanto a la DQO, pero aún presenta un color o un olor de origen orgánico, el carbón activado puede eliminarlo.

Generalmente se puede encontrar la presentación del carbón activado granular CAG (tamaño de partícula superior a 1 mm) y carbón activado en polvo CAP (tamaño inferior a 200 mallas), las dos presentaciones tienen aplicabilidad en el tratamiento de agua, pero para esta investigación se utilizara el CAG ya que presenta las ventajas siguientes.

- No se requiere un proceso de separación carbón-agua y la operación en un proceso continuo es muy sencilla.
- Se puede reactivar y reutilizar.
- En su operación, se promueve la formación de biomasa que degrada la materia orgánica adsorbida y libera los espacios de adsorción, aumentando así la vida útil del carbón activado.

Para poder determinar si el CAG es factible para una aplicación, se necesita conocer varios factores:

- Capacidad de flujo—gpm (promedio y pico)
- Horas de operación—8, 16, 24 horas o días
- Información del afluente—Compuestos a ser removidos
- Requerimientos del efluente—límites permitidos, carbono orgánico total (COT), demanda química de oxígeno (DQO), aceites y grasas, entre otros.
- Temperatura de la corriente— °C (el CAG funciona mejor a 4 - 32°C)
- pH de la corriente—(el CAG funciona mejor a un pH de 4 - 10)
- Pre-tratamiento disponible—filtro de arena, tratamiento biológico, ajuste de pH, etc.
- Índice estimado de uso de CAG—lbs de CAG por día Otros compuestos en la corriente — ¿Tiene el afluente un alto contenido mineral u otros orgánicos?
- Concentración en partes por millón (ppm), miligramos por litro (mg/L) o libras por día (lbs/día)



### 3.4.5.1.1. Diseño

Para la mayoría de los sistemas de tratamiento de aguas/aguas residuales industriales, comerciales y muchas municipales, el CAG se utiliza en una operación de columna y la corriente del líquido se pasa a través de la cama de CAG en un flujo descendente o ascendente.

Debe tenerse en cuenta que una misma cantidad de carbón actúa mejor en una capa más alta que ancha. Por lo que se proponen filtros tipo botella.

Aun cuando hay muchos tipos de carbón activado hechos a partir de diversas materias primas, los de base carbón mineral y de cáscara de coco son los más comunes para los sistemas de operación de columna en tratamiento de agua. La vida de servicio depende del tipo de carbón, de los contaminantes influentes, de la capacidad de flujo, del tiempo de contacto, del diseño del sistema, etc. El carbón activado desgastado puede ser reciclado.

Se plantea colocar dos filtros de flujo de columna en serie sobre la línea de alimentación de agua al tinaco. (Ver Imagen 49 e Imagen 50 )

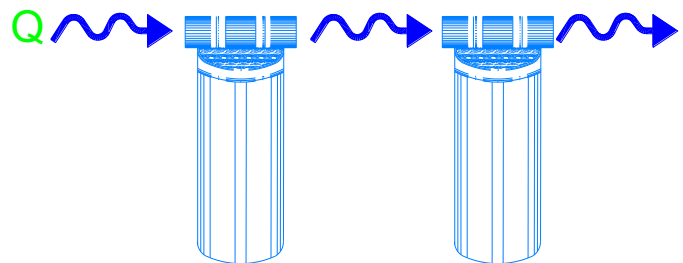


Imagen 49. Filtros tipo botella en serie

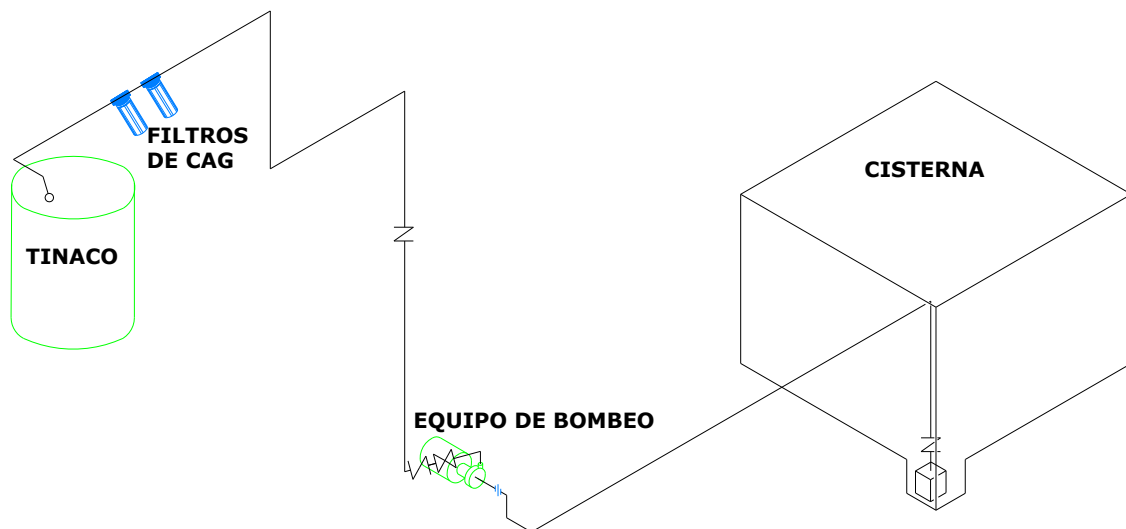


Imagen 50. Posición de filtros de CAG

Es conveniente hacer notar que el filtro de carbón se está considerando no para que realice un trabajo exhaustivo o potabilización del agua, si no únicamente como un tratamiento para pulir el tratamiento anterior por lo que el tiempo mínimo de contacto entre el fluido y el filtro no se considera en este cálculo.



### Cálculo del índice estimado de CAG.

Datos:

Compuestos orgánicos presentes en el agua = 5 mg/L

Gasto = 0.081 L/s = 6998.40 L/día

Como cada litro contiene 5 mg/L tenemos que:

$$5 * 6998.40 = 34992 \text{ mg/día} = 0.077 \text{ lbs/día}$$

Según la página web de Carbotecnia<sup>64</sup> la capacidad del carbón activado puede ser de entre 20% y el 50% de su propio peso.

Considerando una capacidad igual al 50% de su peso tenemos:

$$\frac{0.077}{50\%} = \mathbf{0.154 \text{ lbs de carbon activado al dia}}$$

Por lo que se deberá elegir el filtro comercial que se adapte al volumen de carbón necesario, para un tiempo mínimo de uso de un mes, asimismo, el filtro funcionara con la presión que da la bomba centrífuga al momento de subir el agua al depósito superior.

### 3.4.5.2. Cloración

La cloración es la aplicación de cloro, o compuestos de cloro, al agua para desinfección

Se propone clorar el agua para asegurar que la calidad del agua producida por el sistema de tratamiento no desmejore durante su almacenamiento en el tinaco y durante su transporte en la red, asimismo, nos aseguraría que el agua producto del tratamiento es bacteriológicamente segura ya que destruye los organismos al ser inactivados mediante la oxidación del material celular.

En el mercado existen cloradores para las distintas presentaciones del cloro sin embargo el costo de estos equipos es alto y su manejo requiere una capacitación especializada. No se debe olvidar que el cloro es una sustancia química la cual debe ser manejada con precaución y medidas de seguridad, que de acuerdo a su presentación<sup>65</sup> van aumentando o disminuyendo<sup>66</sup>.

Los factores que modifican la eficiencia remocional de la cloración se relacionan con:

- Las características del agua.
- Las características del sistema de cloración.

El cloro es un desinfectante que tiene ciertos limitantes en términos de salubridad y seguridad, pero al mismo tiempo tiene un largo historial como un desinfectante efectivo.

Las ventajas que presenta la cloración son:

- La cloración es una tecnología bien establecida.
- El cloro residual que permanece en el efluente del agua residual puede prolongar el efecto de desinfección aún después del tratamiento inicial, y puede ser medido para evaluar su efectividad.

<sup>64</sup> <http://www.carbotecnia.info/preguntas.htm#potabilizar>

<sup>65</sup> El cloro puede ser suministrado en muchas formas que incluyen el gas de cloro, las soluciones de hipoclorito y otros compuestos clorinados en forma sólida o líquida.

<sup>66</sup> Todas las formas de cloro son muy corrosivas y tóxicas. Como consecuencia, el almacenamiento, el transporte y el manejo presentan riesgos cuya prevención requiere normas más de seguridad.





- La desinfección con cloro es confiable y efectiva para un amplio espectro de organismos patógenos.
- El cloro es efectivo en la oxidación de ciertos compuestos orgánicos e inorgánicos.
- El cloro puede eliminar ciertos olores molestos durante la desinfección.
- Es de fácil aplicación
- Presenta un bajo costo.
- En las dosis utilizadas en la desinfección de las aguas, no constituye riesgo para el hombre ni para los animales.

En este trabajo se propuso la cloración del agua mediante el Hipoclorito de Calcio<sup>67</sup> ya que su manejo es menos riesgoso que las otras presentaciones de cloro y la infraestructura que requiere es más sencilla, sin embargo, la dosificación deberá ser realizada de forma automática pero a nivel domiciliario, Por lo que se presenta la metodología propuesta para lograrlo.

- Primeramente se tiene que preparar la solución de hipoclorito que se dosificara en el tanque de almacenamiento, de acuerdo a la Tabla 38<sup>68</sup>
- La solución se debe preparar en recipientes limpios de polietileno. Se agrega primero el volumen de agua requerido (1 litro). Luego se agrega al agua la cantidad requerida del Hipoclorito de Calcio. Se revuelve con un agitador limpio de madera o metal, asegurándose de mantener la mezcla alejada de la ropa, la piel y los ojos<sup>69</sup>.
- Se deja reposar la solución por alrededor de 20 min para que asiente (algunos carbonatos en el agua se precipitarán hacia el fondo del recipiente, al igual que la pequeña cantidad de materiales insolubles presentes en el Hipoclorito de Calcio).
- La solución debe prepararse y almacenarse lejos de los rayos del sol.

Tabla 38. Preparación de un litro de solución de hipoclorito al 1% a partir de varios compuestos de hipoclorito de calcio

Nombre del compuesto	Cloro disponible	Gramos de hipoclorito de calcio por litro de agua
Cal clorada	20	50
	25	40
Hipoclorito de calcio	35	28.60
	65	15.40
	70	14.30

Otras concentraciones pueden obtenerse aumentando proporcionalmente la cantidad del compuesto.

<sup>67</sup> El cloro se presenta principalmente como hipoclorito de calcio o de sodio. El hipoclorito de calcio se puede comprar en forma de polvo con concentraciones de alrededor de un 20, 35, 65 ó 70 por ciento de cloro y en forma de pastillas con una concentración de cloro disponible de alrededor de 65 por ciento. El hipoclorito de sodio es un líquido, que se puede obtener en concentraciones de un 3 a un 5 por ciento y hasta un 10 por ciento. Con una concentración mayor del 10 por ciento es muy inestable. El hipoclorito de sodio comercial generalmente contiene otras sustancias que podrían ser tóxicas por lo cual no debe emplearse para desinfectar agua para beber.

<sup>68</sup> Es conveniente comprar el hipoclorito de calcio en forma de polvo, esto para su fácil manejo y dosificación en la preparación de la solución. Se deberá de evitar que el producto entre en contacto con los ojos, la piel o la ropa, y no se debe aspirar el polvo.

<sup>69</sup> Se debe seguir estrictamente el procedimiento agregando siempre el cloro al agua. No deberá de invertirse este procedimiento ya que puede ocurrir una evolución rápida de calor, lo cual podría resultar en salpicaduras o incluso, en una explosión si el recipiente está cerrado.



- Para obtener el volumen de solución que se requiere de acuerdo al volumen de agua a desinfectar se sigue el cálculo siguiente:

La dosificación se realizara a 2mg/L

La concentración de cloro libre disponible para efluentes de filtro lento de arena se ubica entre el 1% y el 5%

Para la dosificación se utilizara la siguiente ecuación:

$$pC = VD$$

Dónde:

p = Volumen de solución de hipoclorito requerido en mililitros

V = Volumen de agua que se desinfecta en litros

D = Dosis a lograrse en mg/L

C = concentración % de cloro disponible en la solución de hipoclorito

De este modo la Tabla 39 nos presenta los resultados para distintas concentraciones de cloro libre disponible.

Tabla 39. Dosificación 2 mg/L de cloro							
Cloro libre disponible (soluciones de distintas concentraciones)	Volumen de agua en litros						
	1	10	100	1000	6998.40	3904.00	1344.00
<b>1%</b>	0.20	2.00	20.00	200.00	1399.68	780.80	268.80
<b>2%</b>	0.10	1.00	10.00	100.00	699.84	390.40	134.40
<b>5%</b>	0.04	0.40	4.00	40.00	279.94	156.16	53.76

Por lo que tomando el valor del gasto de la Tabla 26 referente al consumo de agua tratada que es de 1344 L/día y la concentración de 1% se requeriría de 268.80 ml/día de solución para la desinfección.

### Sistema de dosificación

La propuesta del sistema de dosificación deberá contar con las siguientes características:

- Bajo costo de construcción
- Simplicidad en el mantenimiento
- Facilidad de operación y recarga
- Construido con materiales inertes al cloro
- Simplicidad en la concepción
- Que sea lo más exacto en la dosificación
- Capacidad para un tiempo de operación mínimo de 30 días continuos

Se propone un sistema mediante goteo, puesto que es uno de los dosificadores más simples de construir y manejar. Es importante tener en cuenta que mediante este sistema se puede manejar la siguiente relación:

$$1mL \approx 20 \text{ gotas}^{70}$$



Por lo que se puede calcular la velocidad que debe tener el fluido para que nos proporcione 268.80 mL/día aumentado en un 25% por razones de seguridad en la desinfección.

$$(268.80 * 1.25) * 20 = 6720 \text{ gotas}$$

$$\frac{6720}{24 * 60} = 5 \text{ gotas/min}$$

La capacidad mínima del depósito deberá ser de

$$\frac{268.80 * 1.25 * 30}{1000} = 10.08 \text{ L}$$

Por lo que el sistema propuesto se muestra en la Imagen 51, Imagen 52 e Imagen 53

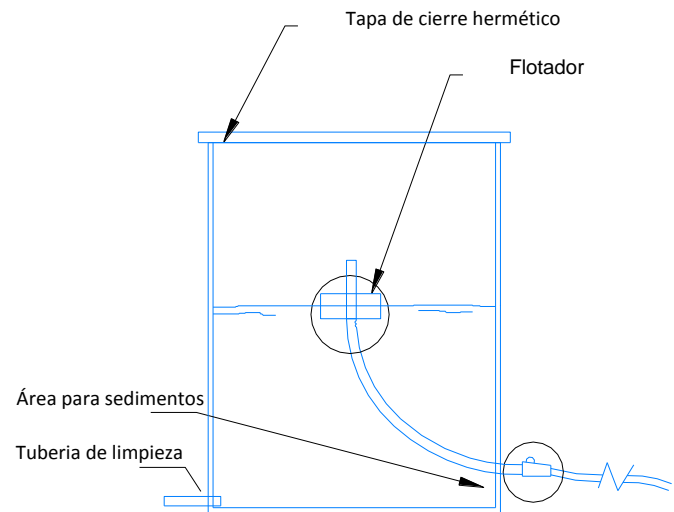


Imagen 51. Dosificador por goteo controlado con llave reguladora

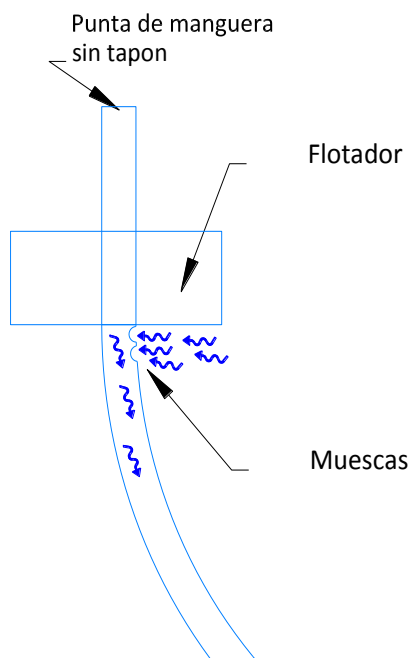
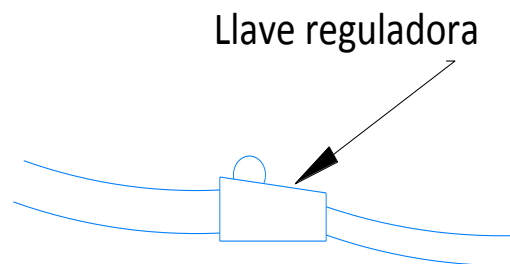


Imagen 52. Detalles de alimentación de y regulación del hipoclorito



<sup>70</sup> La relación de 1 ml  $\approx$  20 gotas está probada para un equipo médico convencional de infusión intravenosa, por lo que se recomienda usar para la dosificación del cloro, el equipo médico de infusión o en su defecto una manguera del mismo diámetro interior. Unas de las ventajas primordiales de usar el equipo de infusión intravenosa son que el material del que está hecho el equipo es resistente al cloro y trae integrada una válvula con la cual se puede regular el flujo de acuerdo al cálculo.

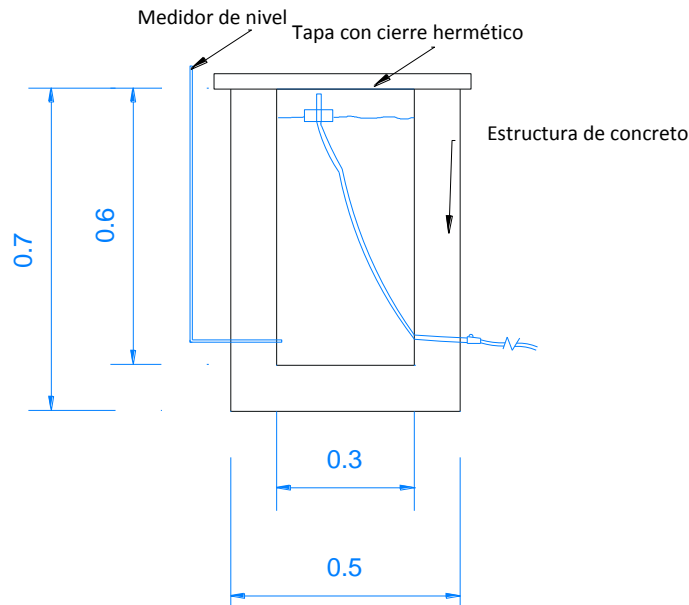


Imagen 53. Dimensiones del hipoclorador

### 3.4.6. Aireación

La aireación es necesaria para mantener la calidad del agua y así evitar su rápida descomposición, en caso de que ésta quede estancada un tiempo (aproximadamente 2 días).

Se propone la utilización de una aireación mediante tubos colocados en el fondo del depósito del CEPTA-TPA los cuales funcionarán cada que sea accionada la bomba centrífuga, se pretende que la elevación del agua tratada y la aireación funcionen con el mismo motor y al mismo tiempo cada que se active el automático que controla el llenado del tinaco, cabe resaltar que el diseño de este dispositivo se presenta de manera conceptual. (Ver Imagen 54)

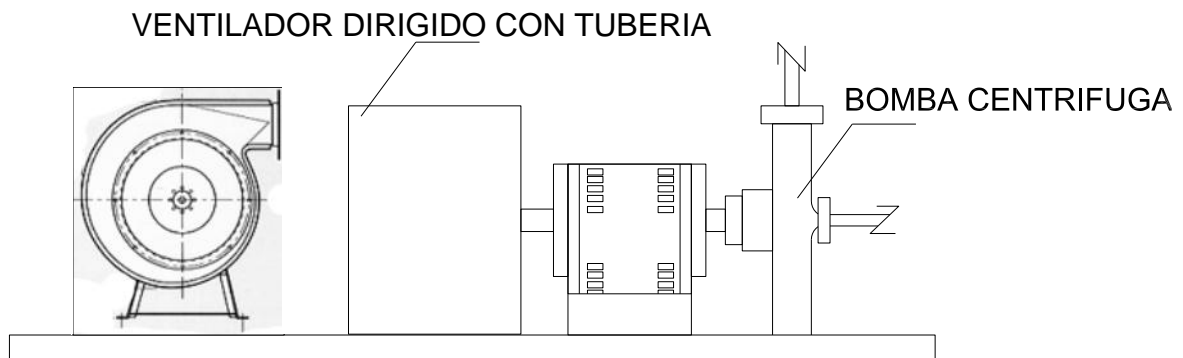


Imagen 54. Diseño de bomba centrífuga y ventilador



### 3.5. Integración del diseño en la edificación

De acuerdo al análisis realizado, las operaciones y procesos unitarios que integran el tren de tratamiento de aguas grises a nivel domiciliario son: (ver Imagen 55)

- ❖ Tamizado, con el registro modificado para sedimentar parte de las arenas
- ❖ Tratamiento primario avanzado, antes de la filtración gruesa de flujo ascendente.
- ❖ Filtración lenta mediante el filtro lento de arena de flujo descendente.
- ❖ Filtración mediante carbón activado
- ❖ Cloración

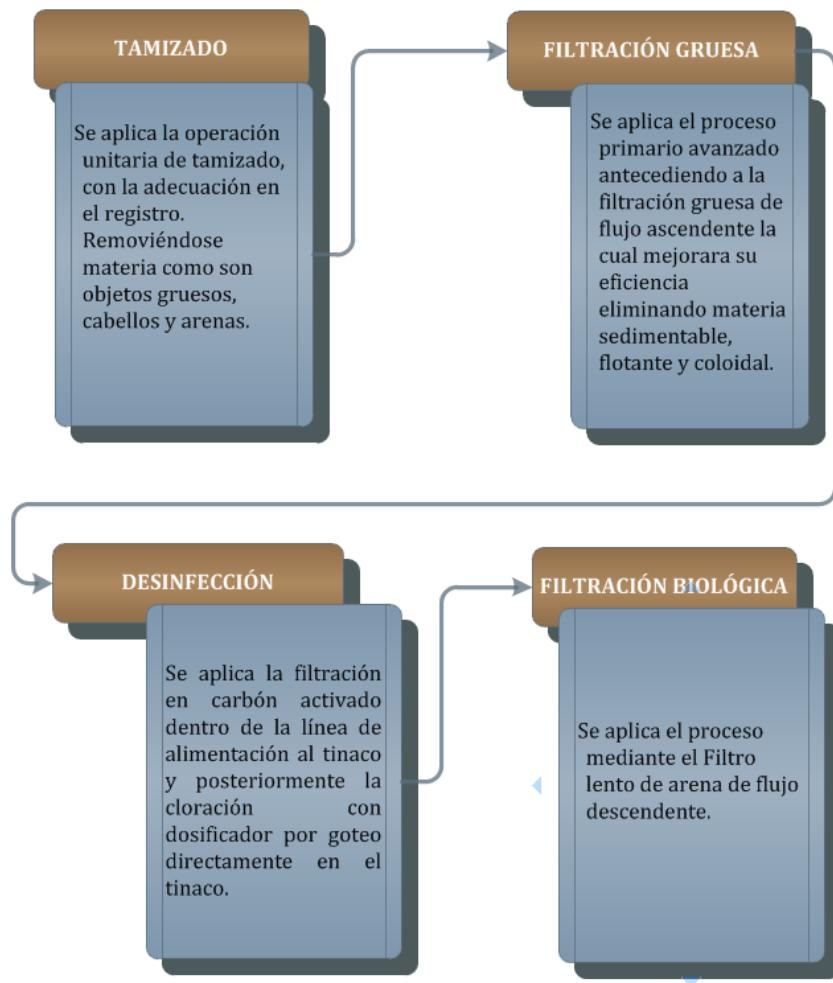


Imagen 55. Operaciones y procesos del tren de tratamiento de aguas grises.

Por lo que el sistema en conjunto queda representado por el Diagrama 4

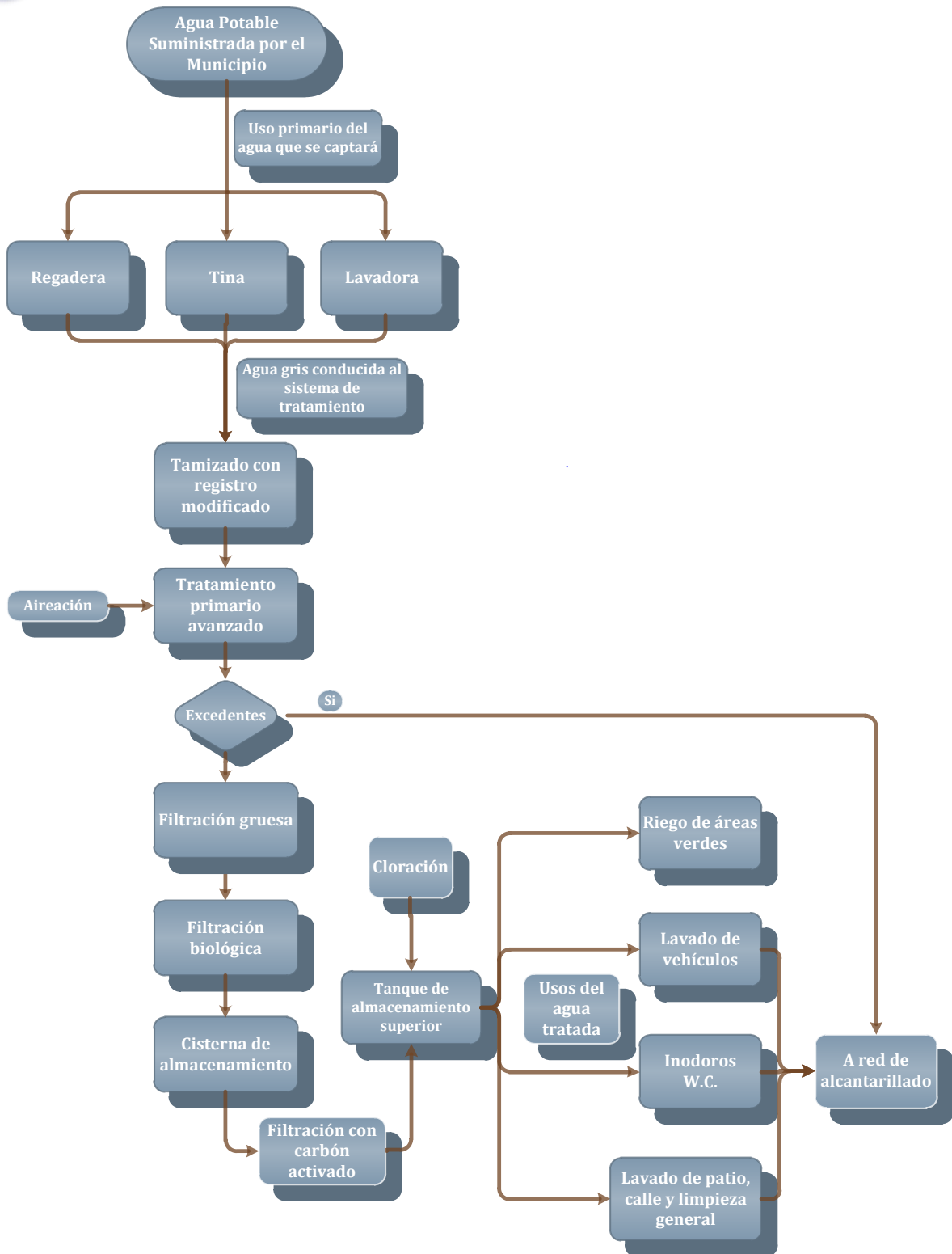


Diagrama 4. Flujo de tren de tratamiento de aguas grises



La integración del tren de tratamiento en la edificación se presenta en: Imagen 56 e Imagen 57

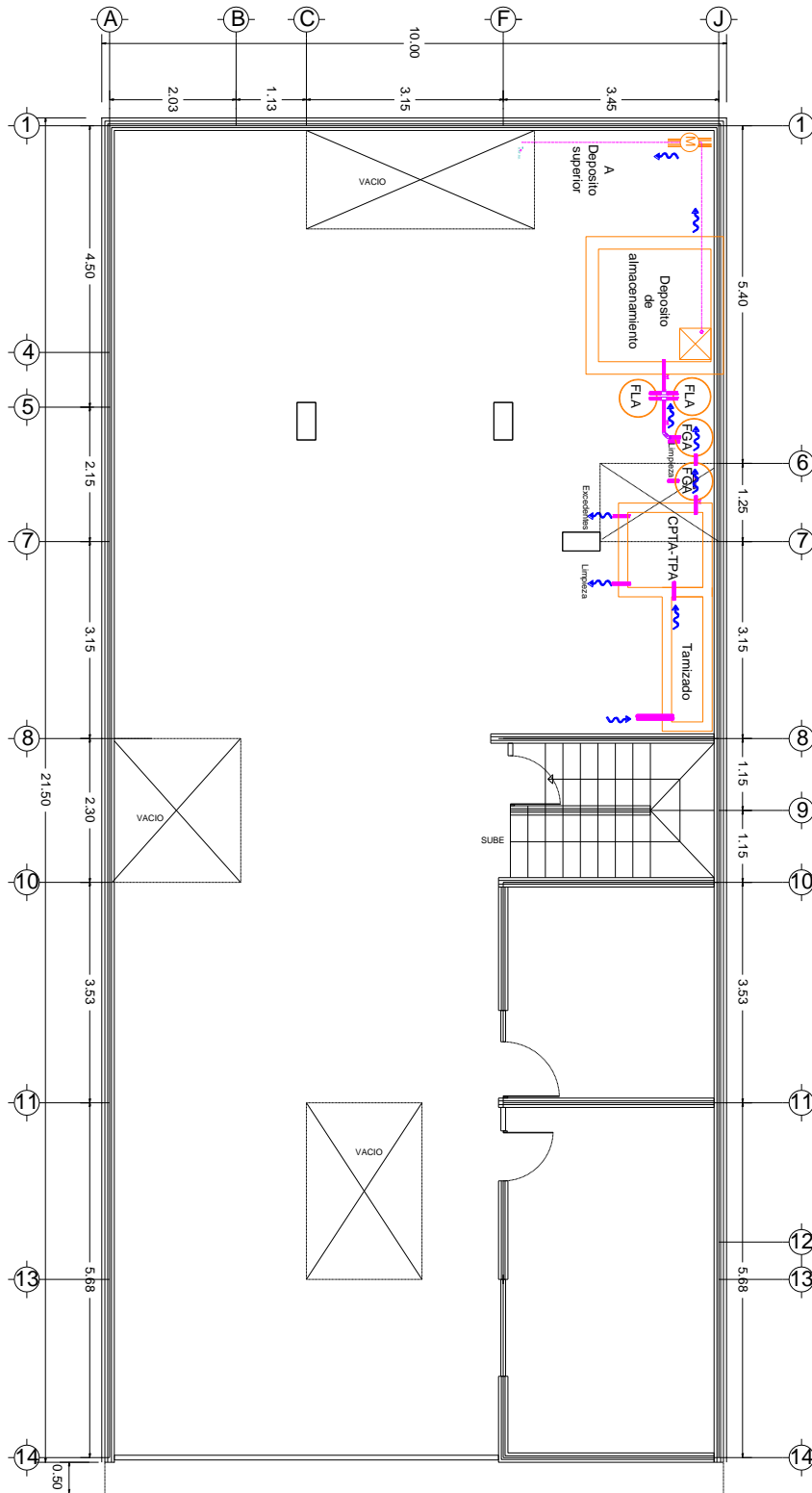


Imagen 56. Ubicación de tren de tratamiento en la edificación

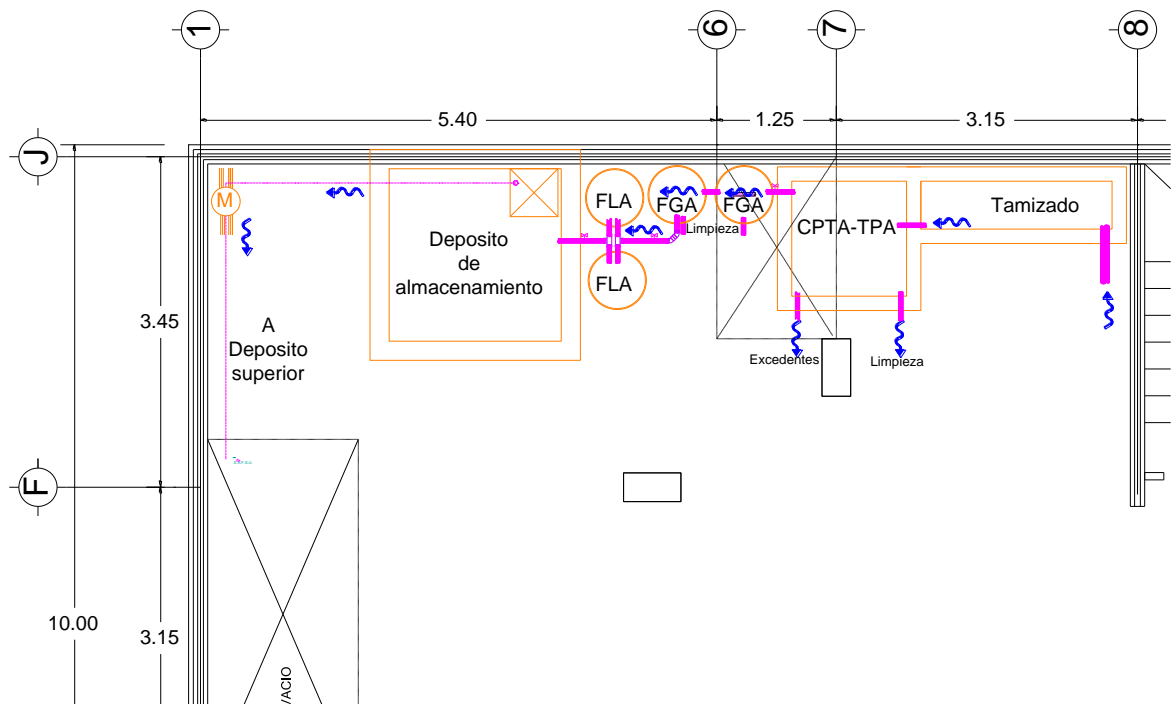


Imagen 57. Detalle de tren de tratamiento

El sistema trabajara a gravedad por lo que se presenta el perfil hidráulico en la Imagen 58, cabe destacar que el espacio que ocupa el sistema en conjunto es de aproximadamente 20 m<sup>2</sup> incluyendo una cisterna como depósito de almacenamiento.

El material de construcción de los depósitos de tamizado, CPTA-TPA y cisterna, obligadamente deberán der de concreto reforzado con un espesor de 20 cm en sus paredes y losa inferior, de acuerdo a la normatividad, deberán de tener aristas interiores redondeadas y tapas con sello hermético.

Los depósitos de FGA y FLA serán a base de tambores de polietileno de media densidad.

La tubería será Polipropileno Copolímero Random PPR, que es tubería económica y comercial ya que se vende para conducción de agua.

El cartucho para la desinfección con carbón activado se colocara en la línea de alimentación de agua al tinaco, por lo cual la filtración funcionara cuando se active la bomba para elevar el fluido.

La aireación del sistema se realizara con una adaptación a la bomba centrífuga la cual al momento de elevar el agua al depósito superior, activara la turbina que funcionara con el mismo motor y alimentara de aire la cisterna.

El clorador como ya se mencionó se colocara a un costado del tinaco



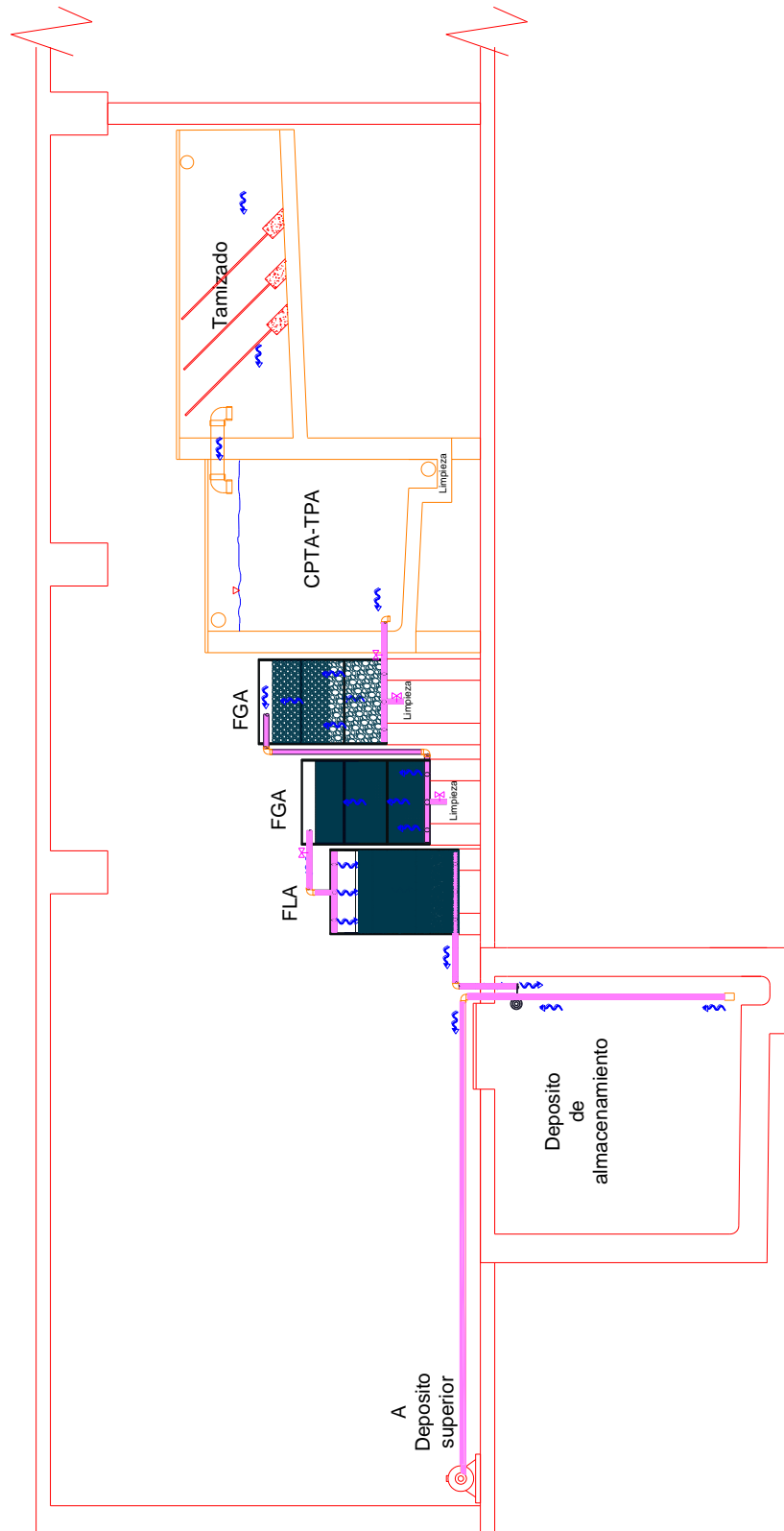


Imagen 58. Perfil hidráulico



Este tren de tratamiento permite garantizar la calidad del agua y el cumplimiento de la norma NOM-003-SEMARNAT-1997 ya que presenta los siguientes resultados.

Tabla 40. Resumen y resultados de la caracterización del agua

PROMEDIO MENSUAL					
Estado	Coliformes Fecales NMP/100 mL	Huevos de Helminto (h/L)	Grasas y Aceites mg/L	DBO <sub>5</sub> mg/L	SST mg/L
Afluente	1000	No se requiere	No se requiere	110	100
Efluente	10	No se requiere	No se requiere	19	5
Servicios al público con contacto directo (NOM- 003-SEMARNAT-1997)	240	≤ 1	15	20	20

Nota: las unidades de los coliformes se leen, número más probable de coliformes por 100 mL de muestra (NMP)

Para el cálculo del efluente se consideraron las siguientes eficiencias de acuerdo a lo que se estableció en los apartados correspondientes.

<b>Tamizado</b>	<b>DBO<sub>5</sub></b>	<b>10%</b>	<b>FGA</b>	<b>DBO<sub>5</sub></b>	<b>5%</b>
	<b>SST</b>	<b>1%</b>		<b>SST</b>	<b>60%</b>
<b>TPA</b>	<b>DBO<sub>5</sub></b>	<b>55%</b>	<b>FLA</b>	<b>DBO<sub>5</sub></b>	<b>55%</b>
	<b>SST</b>	<b>60%</b>		<b>SST</b>	<b>60%</b>
	<b>Coliformes Fecales</b>	<b>80%</b>		<b>Coliformes Fecales</b>	<b>95%</b>

Los valores de Huevos de Helminto no se tomaron en cuenta debido a que no se considera dentro del tren de tratamiento captar el agua del W.C. y por lo tanto, no se tratarán aguas con contaminación fecal.

Las grasas y aceites no se consideran debido a que no se captara agua proveniente de fregaderos y/o cocinas, por lo que el valor de este rubro que se tendría en el agua captada para tratamiento sería muy bajo y puede ser absorbido exclusivamente por el TPA.

Por lo cual, al presentar valores debajo de los solicitados por la norma se afirma que el tren de tratamiento cumple con los requerimientos de la norma NOM-003-SEMARNAT-1997 para el uso del agua tratada con contacto directo.



## Conclusiones

Para abatir en parte la problemática del agua dentro de la ZMVM se presenta un sistema de tratamiento de aguas grises, aprovechando la facilidad que existe en la división de las aguas residuales como se muestra en el Diagrama 5. Se analizó el aprovechamiento de la fracción de las aguas residuales provenientes de la Regadera, tina y lavadora lo cual representa 48% de la dotación diaria por persona.

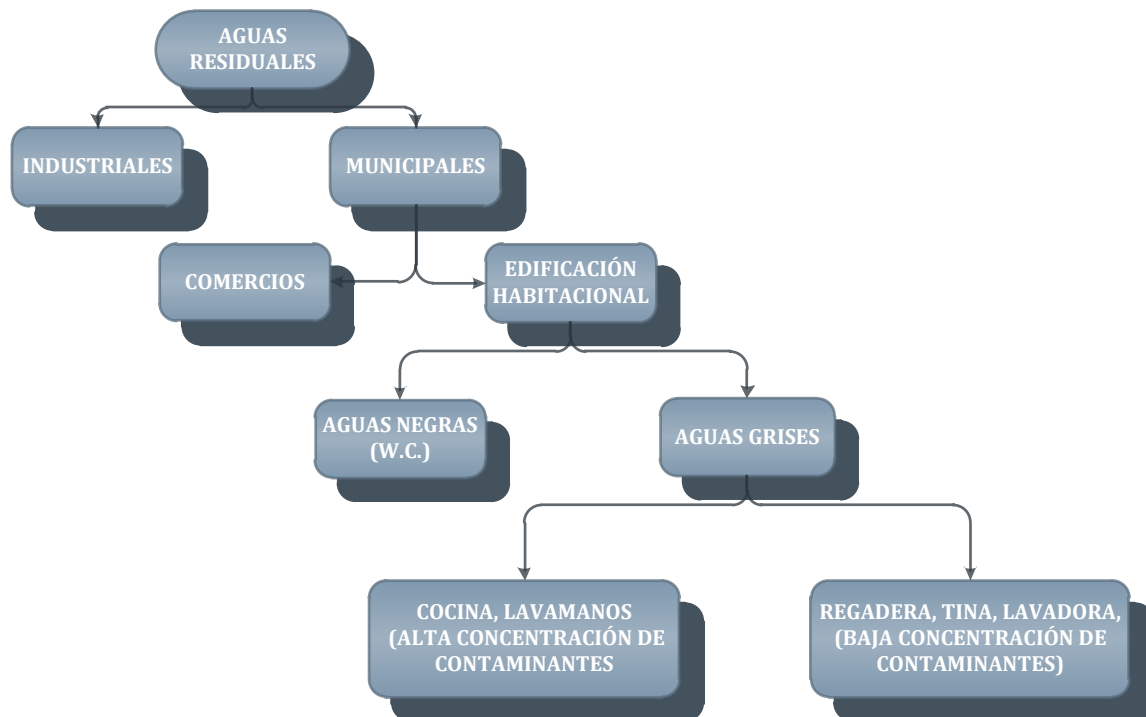


Diagrama 5. División de las aguas residuales

Aunado a lo anterior se propone el uso del agua del efluente del sistema, en actividades consuntivas que no requieren agua potable para su realización como son: lavado de vehículos, riego de áreas verdes, descarga de W.C., lavado de calle, patios y limpieza en general de la edificación. Además queda abierto en este punto el poder ampliar los usos propuestos en una investigación futura o bien para un caso concreto.

Las etapas del tren de tratamiento propuesto son 4 más otras dos que no se tomaron en cuenta en los resultados para el cumplimiento de la norma, pero se proponen para pulir y garantizar la calidad del efluente, las cuales se indican a continuación:

- ❖ Tamizado modificando el registro del mismo para que sedimenten las partículas gruesas en el fondo.
- ❖ Tratamiento primario avanzado.
- ❖ Filtración gruesa de flujo vertical ascendente.
- ❖ Filtración lenta de arena de flujo vertical descendente.



- ❖ Etapas para pulir.
  - Filtro de carbón activado granular
  - Desinfección mediante hipoclorito de calcio

Con estas operaciones y procesos unitarios se realizaron los cálculos, demostrando la viabilidad de las operaciones y procesos unitarios, con los cuales se obtuvieron los siguientes resultados:

- ⇒ En cuanto a los coliformes fecales la norma solicita un máximo de 240 NMP/100 mL, y los obtenidos en el efluente con el tratamiento son de 10 NMP/100 mL. Es conveniente notar que la concentración de coliformes fecales puede llegar a un punto donde es tan alta que el tren de tratamiento no puede disminuirla al punto requerido por la norma, si bien como ya se mencionó, el origen de los coliformes son las aguas negras y excremento básicamente, y este tipo de agua no será captada para su tratamiento, esto hace poco probable que se alcance el nivel más alto de coliformes en el afluente, sin embargo se cuenta con dos etapas que garantizarían la calidad del efluente, que son el filtro de carbón activado que tiene una gran capacidad de remoción y la etapa de desinfección con cloro la cual tiene una eficiencia de hasta el 100% en la inactivación de coliformes lo cual garantiza la calidad del efluente.
- ⇒ Con respecto a los huevos de Helminto no se requiere al no tratar aguas negras o con altas concentraciones de contaminantes fecales, sin embargo el CPTA-TPA tiene la capacidad de retenerlos y el proceso que más eficiencia tiene en este rubro es la filtración lenta ya que llega a ser hasta de un 100% en helmintos y un 98% en microorganismos entre ellos presentes las bacterias, virus y protozoarios.
- ⇒ Las grasas y aceites no se consideran debido a que no se captaran aguas de la cocina y/o fregadero
- ⇒ La DBO<sub>5</sub> se remueve quedando el valor del efluente de 19 mg/L que está por debajo de lo solicitado por la norma
- ⇒ Los SST se remueven quedando el valor de 5 mg/L que es por debajo de la norma.

Por lo anterior, el tren de tratamiento propuesto en esta tesis cumple con los resultados de calidad del efluente al obtener valores por debajo de la norma aplicable (NOM-003-SEMARNAT-1997).

Cabe resaltar que la norma está creada para tratamiento de aguas residuales, y no hay normatividad específica para aguas grises, sin embargo, como ya se mencionó las aguas grises constituyen parte de las aguas residuales, con la ventaja que estas contienen un menor tipo de contaminantes y una baja concentración de los mismos y por lo tanto, la norma es aplicable.

La introducción de técnicas y tecnología de tratamiento de aguas grises en una edificación habitacional urbana, ha demostrado ser factible, poniendo especial énfasis al seleccionar los procesos en el ámbito tecnológico, relacionándolos con lo económico, la facilidad de operación y mantenimiento. Sin olvidar que deberá garantizar ante todo la seguridad del usuario con el cumplimiento de la normatividad aplicable.

La tecnológica y técnica adoptada para el sistema es tal, que permite al usuario ser capaz de manipular correctamente las operaciones y procesos unitarios propuestos, tanto es un operación



como en su mantenimiento general, sin necesidad de herramientas costosas y/o equipo especializado y sobre todo sin la necesidad de tener conocimientos especializados en la materia.

De acuerdo al análisis de gastos en la edificación está garantizado que se contará en todo momento con suficiente agua tratada para que el usuario realice las actividades propuestas sin ningún problema, sin embargo, es recomendable que el proyectista considere conectar las tuberías de distribución de agua potable y de agua tratada, de tal modo que si hubiera una falla en el sistema o durante el mantenimiento no se contará con la suficiente agua almacenada para satisfacer las necesidades, sea posible mediante un juego de válvulas abastecer la línea de agua tratada con agua potable. Asimismo, el sistema presentado en la investigación es flexible ya que se puede adaptar a las necesidades propias del proyecto en particular y queda abierto a la incorporación del agua pluvial al afluente del sistema de tratamiento.

El tren de tratamiento trabaja por gravedad, esto se logra con las operaciones y procesos unitarios propuestos. De este modo se evita la instalación de equipos electromecánicos los cuales inducirían mayores gastos de instalación, operación y mantenimiento. Por otro lado, es importante hacer notar que la inexistencia, o mínima presencia de estos equipos garantiza que las incidencias por averías serán casi eliminadas.

El modelo de tratamiento presentado es aplicable a la edificación habitacional que cuente con un espacio de por lo menos 20 m<sup>2</sup> para la implementación del sistema, sin olvidar que el diseño se piensa para edificación nueva ya que de no ser así se superaría por mucho el costo de construcción del sistema el cual es de \$ 4,201.81 USD, esto por las adecuaciones que se tendrían que realizar en la edificación existente.

Los costos de mantenimiento por mes son de \$ 167.13 USD y una vez cada seis meses aumentaría a \$ 212.26 USD esto para dar mantenimiento y limpieza a la totalidad del sistema.

Esto hace que los costos de construcción y mantenimiento sean atractivos para la población de nivel socioeconómico medio que es el nivel al que está dirigido el proyecto.

Mediante el reuso del agua se logra fomentar el uso eficiente de la misma gracias a la diferenciación de calidad necesaria para cada uso consuntivo, mostrando al usuario final que no todas las actividades que realiza dentro de la vivienda requieren de agua potable.

Cabe recalcar que más del 65% de la población encuestada no usa ningún tipo de dispositivo ahorrador, lo cual indica que la mayoría de la población no tiene una cultura dirigida hacia el cuidado del agua.

Es importante hacer notar que el 58% de los encuestados estaría dispuesto a introducir un sistema de tratamiento y reuso de aguas grises dentro de la edificación, pero solo el 29% la introduciría a aun cuando el gasto por instalación y mantenimiento fuera mayor al costo del agua potable que suministra el municipio, mientras que el 67% de los encuestados piensa que se deberían de reutilizar las aguas grises. Estos datos son interesantes ya que muestran que la instalación de un sistema del tipo descrito en este trabajo es viable y sería bien aceptado por el usuario.

En opinión del autor de este proyecto, un factor que no deja crecer la cultura del reuso del agua es el valor que se le da a esta, ya que en todos los sentidos es irrisorio lo que el gobierno cobra por el



suministro de agua, debido a que se encuentra subsidiado y se maneja más como medida política en favor del gobierno en turno. El pago que realiza la población por el agua que le llega a la vivienda genera que no se le vea como un bien con valor, lo cual no ayuda en la cultura del agua, provocando que se desperdicie y no se le valore como debería de ser.

Sin embargo, en la medida en que estas prácticas se corrijan y se vaya proporcionando el verdadero valor al recurso hídrico tanto económico, social y ambiental, el reuso del agua se volverá más atractivo a todos los niveles.

Se debe recalcar que el problema del agua potable es grave y en su solución deben de participar tanto ciudadanos como gobierno de manera conjunta, por lo que los ciudadanos deben de poner especial atención a los hábitos de consumo y uso del agua y corregirlos de manera dirigida hacia la sustentabilidad y por otra parte, el gobierno debe participar mediante programas que fortalezcan la cultura del agua y con acciones concretas en materia de aguas residuales de tal modo que se piense en reusar el agua que se encuentra dentro de la ciudad y no solo en la importación de agua potable. Dándole cabida a proyectos como el que se presenta en este trabajo.



## Apéndices

### A. Tabla de dotaciones NTC-RCDF 04

DOTACIÓN MÍNIMA RECOMENDADA POR LAS NTC-RCDF 04		
TIPO DE EDIFICACIÓN	DOTACIÓN MÍNIMA (EN LITROS)	
<b>HABITACIONAL</b>		
<b>VIVIENDA</b>		
	150	L/hab/día
Casa habitación tipo popular	150	L/per/día
Casa habitación de interés social	180	L/per/día
Casa habitación de interés medio	200	L/per/día
Departamento de lujo	250	L/per/día
Residencia con alberca	500	L/per/día
<b>COMERCIAL</b>		
<b>ABASTO Y ALMACENAMIENTO</b>		
Mercados públicos	100	L/puesto/día
Locales comerciales en general	6	L/m <sup>2</sup> /día
Baños públicos	300	L/bañista/día
Servicios sanitarios públicos	300	L/mueble/día
Lavanderías	40	L/kg ropa seca
Agencias y talleres	100	L/trabajador/día
<b>SERVICIOS</b>		
<b>Administración</b>		
Oficinas de cualquier tipo	50	L/persona/día
Otros servicios	100	L/trabajador/día
<b>Hospitales y centros de salud</b>		
Atención médica a usuarios externos	12	L/sitio/paciente
Servicios de salud a usuarios internos	800	L/cama/día
<b>Asistencia social</b>		
Asilos y orfanatos	300	L/huésped/día
<b>Asistencia animal</b>		
Dotación para animales en su caso	25	L/animal/día
<b>Educación e instituciones científicas</b>		
Educación preescolar	20	L/alumno/día
Educación básica y media básica	25	L/alumno/día
Educación media superior y superior	25	L/alumno/día
Institutos de investigación	50	L/persona/día
<b>EXHIBICIÓN E INFORMACIÓN</b>		
Museos y centro de información	10	L/asistente/día
<b>INSTITUCIONES RELIGIOSAS</b>		
Lugares de culto: templos, iglesias, sinagogas	10	L/concurrente/día



DOTACIÓN MÍNIMA RECOMENDADA POR LAS NTC-RCDF 04 (Continuación)		
TIPO DE EDIFICACIÓN	DOTACIÓN MÍNIMA (EN LITROS)	
<b>ALIMENTOS Y BEBIDAS</b>		
Cafés, restaurantes, bares, etc.	12	L/comensal/día
<b>ENTRETENIMIENTO</b>		
Espectáculos y reuniones	10	L/asistente/día
<b>RECREACIÓN SOCIAL</b>		
Centros comunitarios, sociales, culturales, salones de fiestas, etc.	25	L/asistente/día
<b>DEPORTES Y RECREACIÓN</b>		
Prácticas deportivas con baños y vestidores	150	L/asistente/día
Espectáculos deportivos	10	L/asiento/día
<b>ALOJAMIENTO</b>		
Hoteles, moteles, albergues y casas de huéspedes	300	L/huésped/día
Campamentos para remolques.	200	L/persona/día
<b>POLICÍA Y BOMBEROS</b>		
Policía y bomberos	200	L/persona/día
<b>RECLUSORIOS</b>		
Centros de readaptación social, de integración familiar y reformatorios	200	L/interno/día
<b>FUNERARIOS</b>		
Agencias funerarias	10	L/sitio/visitante
Cementerios, crematorios y mausoleos	100	L/trabajador/día
Visitantes a cementerios, crematorios y mausoleos	3	L/visitante/día
<b>TRANSPORTES Y COMUNICACIONES</b>		
Estacionamientos	8	L/cajón/día
Sitios, paraderos y estaciones de transferencia	100	L/trabajador/día
Estaciones de transporte, terminales de autobuses foráneos	10	L/pasajero/día
Estaciones de sistema de transporte colectivo	2	L/m <sup>2</sup> /día
<b>INDUSTRIA</b>		
Todo tipo de industria	100	L/trabajador/día
<b>INFRAESTRUCTURA</b>		
<b>EQUIPAMIENTO E INFRAESTRUCTURA</b>		
Aplica las necesidades de uso y funcionamiento y además los índices de los locales correspondientes	100	L/trabajador/día
<b>ESPACIOS ABIERTOS</b>		
Jardines y parques	100	L/trabajador/día
	5	L/m <sup>2</sup> /día





## B. Encuesta

Formato de cuestionario aplicado.

### Encuesta aplicada a los habitantes de Cd. Nezahualcóyotl.

Instrucciones: Marcar con una X las respuestas de su elección en los recuadros y colocar su respuesta sobre las líneas azules.

Fecha: \_\_\_\_\_

Nombre: \_\_\_\_\_ Edad: \_\_\_\_\_ Sexo:  M  F

- 1) Vive en:  CASA  DEPARTAMENTO
- 2) ¿Tiene toma de agua potable?  Si  No
- 3) ¿Cuenta con medidor de agua potable?  Si  No
- 4) ¿Reciben agua potable diario?  Si  No (¿Cuántos días a la semana? \_\_\_\_\_ )
- 5) ¿Cuántas recamaras tiene?  1  2  3  4 otro: \_\_\_\_\_
- 6) ¿Cuántas personas habitan la vivienda?  1  2  3  4  5  6  7 otro: \_\_\_\_\_
- 7) En promedio, ¿Cómo cuantas veces usan la regadera al día? \_\_\_\_\_
- 8) En promedio, ¿Cómo cuánto tiempo tarda en bañarse cada uno? \_\_\_\_\_
- 9) ¿Tiene lavadora?  Si  No (¿Cuál es la capacidad? \_\_\_\_\_ kg)
- 10) En promedio, ¿Cuántas cargas de ropa realizan cada que lavan? \_\_\_\_\_
- 11) En promedio, ¿Cuántas veces se lava ropa a la semana? \_\_\_\_\_
- 12) ¿Qué tipo de detergente usa frecuentemente cuando lava?  Polvo  Liquido  Barra
- 13) ¿Qué marcas de detergente usa frecuentemente?  
 Ariel  Viva  Vel Rosita  Foca  Capi  Roma  1-2-3  ACE  Mas color
- Otro: \_\_\_\_\_
- 14) ¿Tiene jardín con pasto?  Si  No ¿Cuántos metros cuadrados tiene? \_\_\_\_\_  
¿Lo riega con manguera?  Si  No ¿Cuántos días a la semana lo riega? \_\_\_\_\_  
¿Por cuánto tiempo cada día? \_\_\_\_\_
- 15) ¿Con cuántos vehículos cuenta? \_\_\_\_\_
- 16) ¿Lava su vehículo en casa?  Si  No ¿lava su vehículo con manguera?  Si  No



¿Cuántas veces lo lava a la semana? \_\_\_\_\_

¿Cuánto tiempo tiene abierta la manguera cuando lo lava? \_\_\_\_\_

¿Cómo cuánta agua gasta cada que lo lava? \_\_\_\_\_

17) ¿Utiliza agua para limpiar los pisos?  Sí  No ¿Qué tan seguido? \_\_\_\_\_

18) ¿Utiliza agua para barrer y/o limpiar la calle?  Sí  No ¿Qué tan seguido? \_\_\_\_\_

19) ¿Cuenta con cisterna?  Sí  No ¿Cómo de que capacidad es? \_\_\_\_\_

20) ¿Cuenta con tinaco?  Sí  No ¿Cómo de que capacidad es? \_\_\_\_\_

21) ¿Recolecta el agua de lluvia?  Sí  No ¿Qué usos le da? \_\_\_\_\_

22) ¿Cuenta con dispositivos ahorradores de agua?  Sí  No \_\_\_\_\_

¿En qué muebles? \_\_\_\_\_

23) ¿Sabe lo que son las aguas grises?  Sí  No

24) ¿Si pudiera introducir un sistema de tratamiento y reuso de aguas grises a su casa estaría dispuesto a pagar?  Sí  No

25) Si el pago del sistema (instalación y mantenimiento) mensual fuera igual o mayor al del agua potable, ¿Aun así pagaría?  Sí  No

26) ¿Siente que debería de reutilizar las aguas grises antes de enviarlas al alcantarillado?  Sí  No



**PROGRAMA DE MAESTRÍA EN ARQUITECTURA  
CAMPO DE CONOCIMIENTO TECNOLOGÍA**

AGUAS GRISAS: RECOLECCIÓN, TRATAMIENTO, USO E  
INTEGRACIÓN EN LA EDIFICACIÓN HABITACIONAL



### C. Resumen de respuestas de la encuesta

En sentido horizontal se presentan las preguntas

Núm. Enc.	1	2	3	4	4.1	5	6	7	8	9	9.1	10	11	12	13	14
1	Casa	Si	No	Si	7	2	6	6	30	No			2	Polvo	Ariel	No
2	Casa	Si	SI	Si	7	4	5	3	30	Si	16	3	2	Liquido	Mas Color	Si
3	Casa	Si	Si	Si	7	3	3	3	30	No				Liquido	Mas Color	No
4	Casa	Si	SI	Si	7	3	5	4	15	Si			2	Polvo	Ariel	No
5	Casa	Si	No	Si	7	3	5	3	20	Si	10	3	3	Polvo	Viva	No
6	Casa	Si	No	Si	7	4	4	3	15	Si		2	3	Polvo	Ace	No
7	Casa	Si	SI	Si	7	3	6	6	30	Si	10	5	3	Liquido	Mas Color	Si
8	Casa	Si	SI	Si	7	2	4	4	15	Si		3	2	Liquido	Mas Color	Si
9	Depto.	Si	No	Si	7	2	3	2	20	No				Liquido	123	No
10	Depto.	Si	SI	Si	7	2	3	2	30	Si	8	3	3	Polvo	Viva	No
11	Casa	Si	No	Si	7	3	5	4	20	Si		3		Polvo	Ariel	No
12	Depto.	Si	SI	Si	7	2	2	2	30	No			2	Barra	123	No
13	Depto.	Si	SI	Si	7	3	6	6	60	No				Barra	Viva	No
14	Depto.	Si	No	Si	7	2	5	4	30	Si	6	3	2	Polvo	Ariel	No
15	Casa	Si	SI	Si	7	4	6	4	20	No			3	Barra	123	Si
16	Casa	Si	SI	Si	7	3	7	6	20	Si	8	4	3	Liquido	Mas Color	Si
17	Depto.	Si	SI	Si	7	2	5	2	15	Si	12	4	1	Polvo	Ariel	No
18	Depto.	Si	No	Si	7	2	5	1	15	Si	9	6	1	Polvo	Ariel	No
19	Casa	Si	SI	Si	7	4	6	6	20	Si	12	4	2	Polvo	Ariel	Si
20	Casa	Si	SI	Si	7	3	5	5	20	Si	6	4	4	Liquido	Mas Color	No
21	Casa	Si	SI	Si	7	3	4	4	30	Si	10	4	2	Polvo	Ace	Si
22	Depto.	Si	SI	Si	7	3	5	3	30	Si	8	4	2	Polvo	Ariel	No
23	Casa	Si	SI	Si	7	4	8	6	20	Si	6	5	3	Polvo	Foca	No
24	Depto.	Si	SI	Si	7	3	3	3	30	No				Barra	123	No
25	Casa	Si	SI	Si	7	4	6	6	15	Si	10	5	3	Liquido	Vel Rosita	No
26	Depto.	Si	No	Si	7	2	4	4	20	No				Barra	123	No



## PROGRAMA DE MAESTRÍA EN ARQUITECTURA CAMPO DE CONOCIMIENTO TECNOLOGÍA

AGUAS GRISAS: RECOLECCIÓN, TRATAMIENTO, USO E  
INTEGRACIÓN EN LA EDIFICACIÓN HABITACIONAL



Núm. Enc.	1	2	3	4	4.1	5	6	7	8	9	9.1	10	11	12	13	14
27	Casa	Si	SI	Si	7	2	4	2	30	Si	6	3	3	Liquido	Mas Color	Si
28	Casa	Si	SI	Si	7	2	4	4	25	Si	12	6	1	Liquido	Mas Color	Si
29	Casa	Si	SI	Si	7	4	6	3	30	Si	12	3	3	Polvo	Ariel	No
30	Casa	Si	SI	Si	7	3	5	5	20	Si	8	3	2	Liquido	Mas Color	Si
31	Casa	Si	SI	Si	7	2	4	4	15	Si	6	4	2	Polvo	Foca	No
32	Casa	Si	SI	Si	7	2	4	4	15	Si	12	3	4	Liquido	Vel Rosita	No
33	Casa	Si	No	Si	7	3	6	6	20	Si	12	5	3	Polvo	Ariel	Si
34	Casa	Si	SI	Si	7	3	3	3	25	Si	12	2	2	Liquido	Vel Rosita	Si
35	Casa	Si	No	Si	7	4	5	5	15	Si			3	Liquido	Vel Rosita	Si
36	Casa	Si	No	Si	7	3	5	4	30	Si	8	3	3	Polvo	Ace	Si
37	Casa	Si	SI	Si	7	2	7	7	20	Si	6	6	2	Polvo	Roma	No
38	Casa	Si	No	Si	7	2	3	3	10	Si	12	3	2	Polvo	Foca	No
39	Depto.	Si	SI	Si	7	2	2	2	10	No				Barra	123	No
40	Casa	Si	No	Si	7	3	3	3	10	Si		2	1	Polvo	Ace	No
41	Casa	Si	SI	Si	7	3	4	4	20	Si	8	6	1	Polvo	Ariel	Si
42	Casa	Si	SI	Si	7	4	7	6	25	Si	10	5	3	Liquido	Mas Color	Si
43	Casa	Si	No	Si	7	4	6	5	5	Si		4	2	Liquido	Mas Color	No
44	Casa	Si	SI	Si	7	3	4	3	30	Si	10	3	2	Polvo	Viva	Si
45	Casa	Si	No	Si	7	2	5	5	30	Si	8	3	4	Polvo	Roma	No
46	Casa	Si	SI	Si	7	3	5	5	15	Si	12	2	3	Polvo	Viva	Si
47	Casa	Si	SI	Si	7	4	6	6	15	Si	10	3	3	Polvo	Ariel	Si
48	Depto.	Si	No	Si	7	2	3	3	20	Si	12	2	2	Liquido	Mas Color	No
49	Depto.	Si	SI	Si	7	3	4	4	20	Si	8	2	3	Polvo	Ace	No
50	Casa	Si	No	Si	7	3	7	6	10	No				Polvo	Ace	No
51	Depto.	Si	No	Si	7	2	7	7	20	Si	15	5	2	Polvo	Ariel	No
52	Casa	Si	SI	Si	7	3	6	6	10	Si	8	3	3	Polvo	Viva	Si
53	Depto.	Si	SI	Si	7	2	4	4	15	Si	6	3	3	Polvo	Roma	No
54	Casa	Si	No	Si	7	2	6	6	10	Si	8	3	3	Polvo	Foca	No
55	Depto.	Si	No	Si	7	2	5	4	25	Si				Polvo	Foca	No



**PROGRAMA DE MAESTRÍA EN ARQUITECTURA  
CAMPO DE CONOCIMIENTO TECNOLOGÍA**

AGUAS GRISAS: RECOLECCIÓN, TRATAMIENTO, USO E  
INTEGRACIÓN EN LA EDIFICACIÓN HABITACIONAL



Núm. Enc.	14.1	14.2	14.3	14.4	14.5	15	16	16.1	16.2	16.3	16.4	17	17.1	18	18.1	19
1					No	0						Si	3	Si	1	No
2	4	Si	1	5	Si	3	No	No				Si	7	Si	7	Si
3					Si	1	No	No	1			Si	7	Si	4	No
4					Si	2	No					No		Si	1	Si
5					Si	1	Si	No	2		40	Si	7	Si	2	Si
6					Si	2	Si	Si	1	60	150	Si	7	Si	7	Si
7	10	Si	2	12	Si	2	Si	No	1		80	Si	7	Si	7	Si
8	5	Si	1	5	Si	1	No					Si	5	Si	3	Si
9		No			Si	1	Si	Si	1	30		Si	7	Si	2	Si
10					Si	1	Si	No	1			Si	7	No		Si
11					No	0						Si	1	Si	2	No
12					No	0						Si	7	Si	1	No
13					No	0						Si	2	No		No
14					Si	1	No					Si	7	No		Si
15	6	No	1		Si	1	Si	No	1		40	Si	7	Si	3	No
16	6	Si	1	10	Si	3	Si	No	2		60	Si	7	Si	3	Si
17					Si	1	Si	No	1		20	Si	7	No		Si
18		No			Si	1	Si	Si	1	30		Si	1	No		Si
19	15	Si	2	10	Si	3	Si	Si	1	20		Si	7	Si	3	Si
20					Si	3	Si	Si	1	15		Si	7	Si	5	Si
21	8	No	1		Si	2	Si	No	1		60	Si	5	Si	2	Si
22					Si	2	Si	No	0.5	40		Si	4	Si	1	Si
23					Si	3	Si	Si	1	20		Si	4	Si	1	Si
24					Si	1	Si	No		40		Si	7	Si	1	Si
25					Si	3	Si	Si	0.5	20		Si	7	Si	3	Si
26					Si	1	No					Si	4	No		Si
27	10	No			Si	1	Si	No	1		40	Si	7	Si	1	Si
28	15	Si	1	10	Si	1	Si	Si	1	15		Si	7	Si	3	Si
29					Si	2	No					Si	5	Si	1	Si



## PROGRAMA DE MAESTRÍA EN ARQUITECTURA CAMPO DE CONOCIMIENTO TECNOLOGÍA

AGUAS GRISAS: RECOLECCIÓN, TRATAMIENTO, USO E  
INTEGRACIÓN EN LA EDIFICACIÓN HABITACIONAL



Núm. Enc.	1	2	3	4	4.1	5	6	7	8	9	9.1	10	11	12	13	14
30	20	Si	1	12	Si	2	No					Si	5	Si	1	Si
31					Si	1	Si	Si	0.5	10		Si	3	Si	2	Si
32					Si	1	Si	No	1		100	Si	6	Si	2	Si
33	5	No	2	10	Si	2	Si	No	1	80		Si	7	Si	3	Si
34	10	Si	2	5	Si	1	Si	Si	1	15		Si	7	Si	3	Si
35	20	Si	1	10	Si	2	Si	Si	0.5	20		Si	7	Si	2	Si
36	15	Si	2	5	Si	2	No					Si	7	Si	1	Si
37					No	0						Si	7	Si	2	Si
38					Si	1	Si	No	1		40	Si	4	No		No
39					Si	1	Si	No	1		30	Si	2	No		No
40					Si	1	Si	No	1		20	Si	1	Si	1	Si
41	15	Si	1	5	Si	2	Si	Si	0.25	20		Si	7	Si	2	Si
42	20	Si	1	5	Si	3	Si	Si	0.5	15		Si	7	Si	2	Si
43					Si	2	No					No		Si	7	Si
44	10	Si	1	5	Si	1	Si	Si	1	10		Si	7	Si	3	Si
45					Si	2	Si	No	0.5		60	Si	5	Si	2	Si
46	12	Si	1	5	Si	2	Si	No	1		60	Si	7	Si	2	Si
47	9	No			Si	1	Si	No			40	Si	7	Si	1	Si
48					Si	1	Si	No	1		60	Si	7	Si	2	Si
49					Si	1	No					Si	7	Si	1	Si
50					Si	1	Si	No			40	Si		No		No
51					No	0						Si	7	Si	7	Si
52	6	No			Si	2	Si	No	1		20	Si	7	Si	1	Si
53					Si	1	Si	No	1		30	Si	4	Si	1	Si
54					Si	2	Si	No			20	Si	7	No		Si
55					Si	1	No					Si	7	No		Si



**PROGRAMA DE MAestrÍA EN ARQUITECTURA  
CAMPO DE CONOCIMIENTO TECNOLOGÍA**

AGUAS GRISAS: RECOLECCIÓN, TRATAMIENTO, USO E  
INTEGRACIÓN EN LA EDIFICACIÓN HABITACIONAL



Núm. Enc.	19.1	20	20.1	21	21.1	22	22.1	23	24	25	26
1		No		No		No	No	No	No	No	Si
2		Si		No		Si	Todos	Si	Si	Si	Si
3		No		No		No	No	No	No	No	No
4		Si		Si	Trapear	No	No	Si	Si	Si	Si
5		Si	1100	No		No	No	No	No	No	No
6	8000	Si	1100	No		No	No	No	No	No	No
7	10000	Si	1100	Si	Patio	No	No	Si	Si	No	Si
8	6000	Si	1100	No		No	No	No	No	No	No
9		Si		No		No	No	No	No	No	No
10	6000	Si	750	No		Si	Tarja y W.C.	Si	Si	No	Si
11		No		Si	Patio	No	No	No	No	No	No
12		No		No		No	No	No	No	No	No
13		No		No		No	No	No	No	No	No
14		Si	1100	No		No	No	No	No	No	No
15		No		No		No	No	No	No	No	No
16	8000	Si	1100	No		No	No	Si	Si	No	Si
17		Si		No		No	No	Si	No	No	Si
18	6000	Si	1100	No		No	No	No	No	No	No
19	10000	Si	1100	Si	Patio	Si	Regadera y manguera	Si	Si	Si	Si
20	15000	Si	1100	Si	Patio	Si	Regadera y manguera	Si	Si	Si	Si
21	6000	Si	1100	Si	Patio y riego de plantas	Si	Regadera	Si	Si	No	Si
22	5000	Si	1100	No		No	No	Si	Si	Si	Si
23	6000	Si	1100	No		No	No	Si	Si	Si	Si
24	6000	Si	1100	Si	Patio	Si	Regadera y Tarja	Si	Si	Si	Si
25	4000	Si	1100	Si	Patio y riego de plantas	Si	Regadera y manguera	Si	Si	Si	Si
26		Si	1100	No		Si	Regadera	Si	Si	No	Si
27	8000	Si	1100	No		Si	Regadera y Tarja	Si	Si	No	Si
28	6000	Si	1100	Si	Patio	Si	Regadera	Si	Si	Si	Si
29	6000	Si	1100	No		No	No	No	No	No	No



**PROGRAMA DE MAESTRÍA EN ARQUITECTURA  
CAMPO DE CONOCIMIENTO TECNOLOGÍA**

AGUAS GRISAS: RECOLECCIÓN, TRATAMIENTO, USO E  
INTEGRACIÓN EN LA EDIFICACIÓN HABITACIONAL



Núm. Enc.	19.1	20	20.1	21	21.1	22	22.1	23	24	25	26
30	4000	Si	1100	Si	Patio	Si	Regadera	Si	S	No	Si
31	3000	Si	750	Si	Patio	No	No	Si	No	No	No
32		Si	1100	Si	W.C.	No	No	Si	Si	Si	Si
33	9000	Si	1100	No		No	No	No	Si	No	Si
34	5000	Si	1100	No		No	No	Si	Si	No	Si
35		Si		Si	Patio	Si	Regadera y manguera	Si	Si	Si	Si
36		Si		No		No	No	Si	No	No	No
37		Si		No		No	No	No	No	No	No
38		Si	300	No		No	No	No	Si	No	No
39		Si	200	No		Si	Regadera	No	No	No	Si
40	1500	No		No		No	No	No	No	No	Si
41	7000	Si	1100	Si	Patio	Si	Regadera y manguera	Si	Si	Si	Si
42	8000	Si	1100	Si	Patio	No	No	Si	Si	No	Si
43		Si	1100	Si	Calle	No	No	No	Si	Si	Si
44	4000	Si	1100	No		No	No	Si	No	No	No
45	10000	Si	1100	Si	Patio	Si	Regadera y Tarja	No	No	No	Si
46	12000	Si	1100	Si	Patio	No	No	Si	No	No	No
47	5000	Si	750	No		No	No	Si	No	No	Si
48		Si		No		Si	Regadera y Tarja	Si	Si	No	Si
49		Si	1100	No		No	No	Si	Si	No	Si
50		Si	500	No		No	No	No	Si	Si	Si
51		Si		Si	Patio, calle y W.C.	No	No	Si	Si	Si	Si
52	4000	Si	1100	Si	Patio, calle y W.C.	Si	Regadera	Si	Si	No	Si
53		Si		No		Si	Regadera y Tarja	Si	Si	No	Si
54	5000	Si	1100	Si	Patio y W.C.	Si	Regadera y Tarja	Si	S	No	Si
55		Si		No		No	No	No	Si	Si	Si





## D. Detalles de malla de filtrado

Las dimensiones de las mallas metálicas, se expresan según las normas vigentes en diferentes países. En unos se emplean las medidas en milímetros o micras, en USA se designan con números y también se utiliza el mesh, que se ha difundido y es la denominación más usada internacionalmente.

El mesh se define como el número de orificios por pulgada lineal a partir del centro de un hilo. Esta definición es equivalente al número utilizado en la norma norteamericana ASTM E 11-81

El área efectiva de una malla ( $A_e$ ) es el área neta de su orificio, se calcula multiplicando el área total, ( $A$ ) por el porcentaje de hueco de malla.

Es importante destacar que la luz de malla puede variar en dependencia del grueso del diámetro del alambre para un mismo mesh como se observa en la Imagen 59

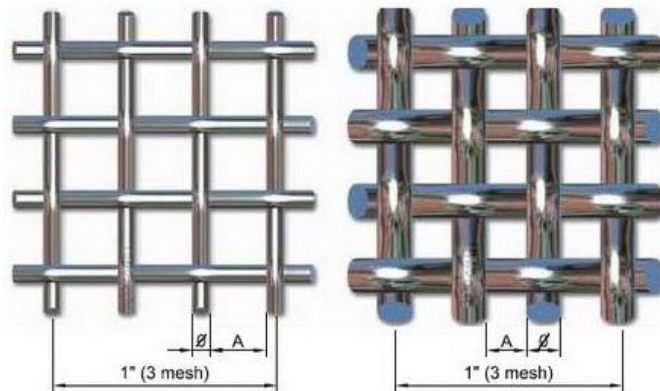


Imagen 59. Malla de un mismo mesh y distinto grosor de alambre.

En mallas metálicas normalizadas, este porcentaje es prácticamente constante entre 50 y 200 mesh, siendo del 58% en sentido lineal y 34 % en superficie, de modo que podemos calcular el área efectiva mediante la expresión:

$$A_e = 0.34A$$

En el caso de las mallas de nylon no hay una correspondencia pero hasta 120 mesh es similar a las metálicas.

En la Imagen 60 se puede apreciar el diámetro del alambre y el  $A_e = A \times A$ .

En la tabla DNN corresponde a  $A$  de la Imagen 60 y DNA al diámetro del alambre. El % de área corresponde al %  $A_e$  con relación al área total de malla.

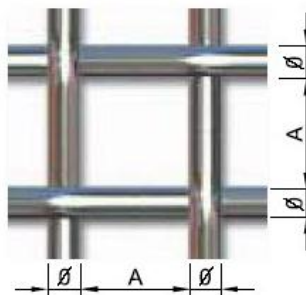


Imagen 60. Detalle de  $A$  y diámetro de alambre



**PROGRAMA DE MAESTRÍA EN ARQUITECTURA  
CAMPO DE CONOCIMIENTO TECNOLOGÍA**

AGUAS GRISES: RECOLECCIÓN, TRATAMIENTO, USO E  
INTEGRACIÓN EN LA EDIFICACIÓN HABITACIONAL



Tabla 41. Nomenclatura de mallas según distintas normas

ISO R 565	ASTM E-11-81				Serie Tyler	
DNN	Desig.	DNN	DNA	% área	Desig.	DNN
mm	N°	mm	mm	%	Mesh	mm
5.6	3 ½	5.6	1.680	59.17	3 ½	5.6
4	5	4	1.370	55.48	5	4
2.8	7	2.8	1.100	51.55	7	2.8
2	10	2	0.900	47.56	10	2
1.4	14	1.4	0.725	43.40	12	1.4
1	18	1	0.580	40.06	16	1
0.710	25	0.710	0.450	37.46	24	0.710
0.500	35	0.500	0.340	35.43	32	0.500
0.355	45	0.355	0.247	34.77	42	0.355
0.250	60	0.250	0.180	33.80	60	0.250
0.180	80	0.180	0.131	33.50	80	0.180
0.125	120	0.125	0.091	33.49	115	0.125
0.090	170	0.090	0.064	34.15	170	0.090
0.063	230	0.063	0.044	34.67	250	0.063



## **E. Recomendaciones constructivas generales**

Las recomendaciones constructivas persiguen armonizar los medios humanos y materiales, con el objeto de aprovechar la mano de obra y los materiales constructivos de la zona de implantación del sistema de tratamiento

Este se compone de indicaciones con el fin de garantizar la óptima construcción y asegurar la calidad del efluente, con un mínimo costo económico y ambiental.

- Es recomendable usar concreto  $f'c=200\text{kg/cm}^2$  reforzado con varilla del número 3  $f_y=4200\text{kg/cm}^2$  para la construcción del registro de tamizado, para el CPTA-TPA, el depósito de almacenamiento (cisterna) y para el dosificador de cloro, esto por la impermeabilidad del material, su fácil limpieza y su tiempo de vida útil, sin embargo el usuario puede considerar algún otro material que se encuentre en la zona de instalación, siempre y cuando garantice la estabilidad estructural del sistema, la fácil limpieza y que el material posea una larga vida útil.
- Las aristas interiores de los depósitos deberán ser redondeadas.
- Es obligación del propietario verificar que los trabajos de construcción se realicen conforme a normatividad de forma que garanticen el buen aspecto del concreto y su funcionalidad, sin necesidad de trabajos correctivos.
- El marco y contramarco de las rejillas de tamizado deben ser completamente de acero inoxidable.
- Es recomendable acomodar el sistema en el proyecto arquitectónico de modo que sea fácil el acceso a los distintos componentes, asimismo se deberán considerar todas las válvulas necesarias para la limpieza del sistema.
- La tubería de comunicación entre depósitos y la de alimentación al tinaco se recomienda sea de Polipropileno Copolímero Random (PPR), el cual es muy económico y no requiere de mano de obra especializada para su instalación.
- El depósito clorador deberá de construirse preferentemente de concreto, colado monolíticamente (losa de fondo y muros), acabado aparente y terminado en el exterior con material aislante al calor.
- La tapa del depósito clorador deberá estar construida de modo que permita un cierre hermético y sea de fácil manipulación.



## **F. Manual de operación y mantenimiento**

El manual de mantenimiento tiene por objeto asegurar y garantizar el normal funcionamiento del sistema de tratamiento de aguas grises.

Tanto el manual como las recomendaciones constructivas se componen de indicaciones con el fin de garantizar que en todo momento se cumpla con la normatividad con lo cual se estaría asegurando la calidad del efluente, con un mínimo costo económico y ambiental.

### **F.1. Tamizado**

#### **Puesta en operación**

- Para la puesta en operación de la etapa de tamizado solo es cuestión de verificar que las mallas embonen perfectamente en el contramarco y se encuentren ordenadas de mayor abertura a menor abertura en dirección del flujo.
- Se verificara que el acabado del registro sea pulido y no cuente con oquedades visibles a simple vista.
- El registro deberá contar con la pendiente de proyecto y los sardineles con la altura que marca el proyecto.

#### **Mantenimiento**

- El mantenimiento regular del filtro consiste en el lavado a presión y/o con cepillo de nylon suave para retirar toda la materia retenida.
- Asimismo se deberá de limpiar el registro retirando toda la materia que se encuentre en el fondo y se deberán lavar las paredes del registro.
- El tiempo entre mantenimiento y mantenimiento tiene que ver con el tiempo de uso y los hábitos de los usuarios, por lo cual es recomendable que se revise semanalmente el registro para verificar visualmente su estado y poder saber cuándo se requiere el mantenimiento. Posteriormente con los datos de inspección se podrá obtener un estimado de tiempo de servicio antes de realizar el mantenimiento, con lo cual se pueden programar con antelación los servicios de mantenimiento.
- Use botas, goggles y guantes para la limpieza.

### **F.2. CPTA-TPA**

#### **Puesta en operación**

- Para la puesta en operación será necesario revisar que el tanque se encuentre limpio y el dosificador este lleno de sulfato de aluminio.
- Cada que se coloque o revise el dosificador deberá contarse con el equipo de seguridad como son: guantes, mascarilla y goggles.



- Se revisara que la válvula se encuentre abierta y la tubería no contenga obstrucciones.
- Debe verificarse que la tubería de excedentes se encuentre libre de obstáculos

### **Mantenimiento**

- Parte del mantenimiento consistirá en revisar de manera regular que el depósito dosificador siempre contenga sulfato de aluminio. El tiempo de llenado se pobra obtener verificando cada tercer día la cantidad de sulfato de aluminio que ha sido utilizada y una vez que se obtengan suficientes datos se podrá estimar el tiempo entre llenado y llenado de la torre de dosificación.
- Debe cuidarse que el depósito se encuentre libre de obstrucciones y de sedimentos.
- Se deberá mantener limpio el tanque retirando los sedimentos, esta actividad se deberá realizar conjuntamente con la limpieza del filtro grueso.

## **F.3. Filtro grueso de grava (FGA)**

### **Puesta en operación**

Para poner el FGA en operación es recomendable tomar en cuenta los siguientes puntos:

- Al momento de llenar el recipiente con las diversas granulometrías es recomendable, evitar que se mezclen las capas.
- El recipiente deberá tener una tapa que selle de manera hermética.
- El recipiente debe encontrarse perfectamente nivelado en el lugar de la instalación final antes de su llenado.
- Es recomendable que la grava que se coloque este limpia, libre de cualquier partícula extraña.
- Se verificara que las válvulas de alimentación se encuentren abiertas y las de desagüe se encuentre cerradas.

### **Mantenimiento**

- Cuando se tenga una pérdida de carga que afecte considerablemente el gasto se procederá a realizar una limpieza mediante retrolavado.
- La pérdida de carga se puede registrar mediante una manguera transparente colocada en el último FGA, que nos indicara la carga disponible y también se registra con el aumento del nivel del líquido en la cámara antes de la entrada al filtro.
- El retrolavado se realizara con la misma cantidad de agua que contenga el filtro, sin embargo si se requiere una limpieza más profunda se realizara con agua a presión con la



## PROGRAMA DE MAESTRÍA EN ARQUITECTURA CAMPO DE CONOCIMIENTO TECNOLOGÍA

AGUAS GRISAS: RECOLECCIÓN, TRATAMIENTO, USO E  
INTEGRACIÓN EN LA EDIFICACIÓN HABITACIONAL



ayuda de un equipo de bombeo, el retrolavado se interrumpirá cuando el agua salga totalmente limpia.

- El tiempo que debe durar el retrolavado a presión depende del grado de suciedad de los filtros. Desde que se inicia el proceso hasta que el agua sale limpia transcurre entre dos y tres minutos aproximadamente.
- Para el proceso de limpieza deberán cerrarse las válvulas de la tubería que alimentaba a los filtros y abrirse las de desagüe. Deberá preverse la conexión al momento de la construcción en la instalación del sistema de conducción, para conectar el equipo hidroneumático cuando se realice la limpieza mediante agua a presión
- Una forma de determinar la frecuencia de limpieza es medir el tiempo que transcurre entre el término de un retrolavado y la saturación del sistema (la pérdida de carga ha llegado hasta el límite recomendado). Se sugiere hacer esta prueba 3 veces. El tiempo promedio de las tres observaciones es el que debe utilizarse como período para la realización de la limpieza

### F.4. Filtro lento de arena

#### Puesta en operación

Para poner el FLA en operación es recomendable tomar en cuenta los siguientes puntos:

- Para llenar el recipiente con las diversas granulometrías es recomendable, llenar de agua el mismo de acuerdo a cada una de las capas.
- Verificar que el depósito se encuentre limpio (libre de aceites, polvo, etc.)
- El recipiente deberá de tener una tapa que selle de manera hermética.
- El recipiente debe encontrarse perfectamente nivelado en el lugar de la instalación final antes de su llenado.
- Al momento de colocar cada una de las capas deberá cuidarse que no se entremezclen, deberá también cuidarse que la parte superior de cada capa se acomode lo mejor posible y mantenga un mismo nivel.
- Es aconsejable que la arena que se coloque este limpia, libre de cualquier partícula extraña.
- Es recomendable revisar la calidad del agua tratada del filtro con regularidad en la etapa de maduración, que es de aproximadamente 4 semanas (a mayor temperatura menor periodo de maduración y viceversa).



## **Mantenimiento**

La adecuada operación mantenimiento determinara la eficiencia del FLA.

Las tareas de mantenimiento comprenden:

- Monitoreo de la calidad del agua producida
- Limpieza del lecho filtrante de arena que puede ser raspado de la superficie de arena (de 1 a 5 cm)<sup>71</sup>
- Sustitución de la capa superior de arena (aprox. 10 cm), esta se realiza después de 10 veces que se haya raspado el lecho filtrante.
- Reconstrucción del lecho filtrante (Sustitución o lavado de todas las capas) es recomendable una vez en no más de 5 años.
- Mediciones y revisión de la calidad del agua, en cada mantenimiento para verificar la maduración del filtro.
- Cuando el FLA cuenta con geomembranas y estas se han colmatado, se retiran y se procede a su limpieza con chorros de agua limpia a presión. Se ha comprobado que la capa biológica se forma en las geomembranas por lo que se recomienda colocar dos piezas superpuestas. Cuando la superior debe limpiarse, al reiniciar la operación del filtro se coloca la inferior arriba (que tiene ya formada la capa biológica) y la geomembrana limpia por debajo.

---

<sup>71</sup> Limpieza del lecho filtrante de arena: se puede efectuar por el método del raspado, que es el método más utilizado para este tipo de filtros en la superficie colmatada en donde se formó la capa biológica.

Esta operación debe iniciarse una vez que se tiene una pérdida de carga considerable en el sistema o eventualmente cuando se tiene una turbiedad en el efluente mayor a la normal.

- En el método del raspado se sigue generalmente la siguiente secuencia.
- Se cierra el ingreso de agua al filtro y se deja que siga filtrando, hasta que el nivel líquido descienda unos centímetros debajo de la superficie del lecho de arena.
- Raspar entre 1 y 5 cm la capa superficial del lecho y retirar fuera del filtro la arena removida. (la arena removida se lava perfectamente para volver a ser utilizada).

Se acomoda y nivela la arena nueva (para ayudar al proceso de maduración del filtro, una variante de este proceso es combinar la arena nueva con una parte de la que se está retirando). Otra variante de este proceso es retirar la arena colmatada de 1 a 5 cm y retirar también una capa de arena más profunda sin revolver con la arena colmatada, colocar la arena nueva que va a quedar en una capa intermedia y finalmente colocar la capa superior de la arena que se retiró más allá de los 5cm de profundidad. Esto reduce significativamente el tiempo de maduración gracias a los microorganismos ya existentes en la arena.



## **F.5. Filtro de carbón activado**

### **Puesta en operación**

- Deberá revisarse que se encuentre perfectamente colocado en la línea de alimentación al tinaco.
- Una vez en operación no deberá de presentar fugas

### **Mantenimiento**

- Consistirá en cambiar el cartucho de carbón activado granular de acuerdo a la capacidad del mismo y en relación con la cantidad de carbón que se utilizara por día según cálculo.
- Es recomendable que el depósito de carbón albergue la cantidad necesaria para cambiar el cartucho en un lapso de tiempo no menor a 1 mes.

## **F.6. Clorador**

### **Puesta en operación**

- Deberá revisarse que el depósito se encuentre perfectamente acabado, que su interior sea pulido y no presente oquedades.
- El depósito deberá contar con protección de aislante térmico en su exterior.
- Se debe revisar y corroborar el cierre hermético de la tapa.
- Se llenara el depósito con la mezcla preparada para una duración de un mes. (cada que se prepare la mezcla y llene el depósito deber contarse con el equipo de seguridad mínimo como es: guantes, mascarilla y goggles)
- La manguera no debe presentar dobleces u obstrucciones que afecten el paso del hipoclorito.
- La dosificación se realizara al momento de ponerlo en operación ajustando la llave reguladora de acuerdo a lo que se necesite.

### **Mantenimiento**

- La limpieza del depósito debe realizarse una vez cada seis meses.
- Cuando se rellene el clorador, se debe chequear y verificar que todas las partes del clorado se encuentren en buen estado.





- Cada relleno deberá de verificarse que se cumpla con la dosificación realizando los ajustes pertinentes que sean necesarios.
- Almacenar el cloro en un lugar oscuro y fresco, y asegurarse de que los recipientes que contienen el cloro se encuentren bien sellados. Un inadecuado almacenamiento del cloro, disminuye su efectividad.

## **F.7. Tanques de almacenamiento**

### **Puesta en operación**

- La cisterna deberá revisarse que se encuentre perfectamente acabada, que su interior sea pulido y no presente oquedades.
- El tanque de almacenamiento superior (tinaco) deberá encontrarse limpio y correctamente instalado.
- Ambos depósitos deben contar con tapa que no permita el paso de polvo.

### **Mantenimiento**

- La limpieza de la cisterna y del tinaco debe realizarse una vez cada seis meses.
- Use botas, goggles y guantes para la limpieza.



**PROGRAMA DE MAESTRÍA EN ARQUITECTURA  
CAMPO DE CONOCIMIENTO TECNOLOGÍA**

AGUAS GRISAS: RECOLECCIÓN, TRATAMIENTO, USO E  
INTEGRACIÓN EN LA EDIFICACIÓN HABITACIONAL



**G. Costos de construcción del sistema**

<b>CONSTRUCTORA OCHOA</b>			
Cliente:	Posgrado de Arquitectura - UNAM	Duración:	
Concurso No.	Tesis	Fecha:	15/09/2012
Obra:	Costos de construcción del sistema para el tren de tratamiento de aguas grises	Inicio Obra:	
		Fin Obra:	
Lugar:	Cd. Nezahualcóyotl, Estado De México		

**PRESUPUESTO DE OBRA**

Código	Concepto	Un	Cantidad	P. Unitario U\$\$	Importe U\$\$	%
<b>REGISTRO PARA TAMIZADO</b>					<b>\$429.54</b>	
<b>CONCRETO</b>						
CEH200	Concreto en estructura, hecho en obra de Fc=200 kg/cm2, incluye: acarreo, colado, vibrado, mano de obra, equipo y herramienta.	M3	0.2000	\$137.14	\$27.43	0.65%
<b>ACERO</b>						
ACERE3	Acero de refuerzo en estructura del No. 3, de Fy=4200 kg/cm2, incluye: materiales, acarreo, cortes, desperdicios, habilitado, amarres, mano de obra, equipo y herramienta.	TON	0.0300	\$1,519.88	\$45.60	1.08%
<b>CIMBRA</b>						
CIMAEM	Cimbra acabado aparente en muros, a base de triplay de pino de 16 mm, con chalfanes en las esquinas, separadores y moños, incluye: materiales, acarreo, cortes, desperdicios, habilitado, cimbrado, descimbrado, mano de obra, equipo y herramienta.	M2	2.5000	\$15.78	\$39.45	0.93%
<b>MALLA DE FILTRADO</b>						
MALLNU M7	Tamizador de malla de polipropileno con luz de 3mm, de 0.90m X 0.50 m cercado con solera de acero inoxidable de 1 1/4" x 1/8" con contramarco de ángulo de acero inoxidable de 1 1/4" x 1/8", incluye: suministro, cortes, desperdicios, tornillería de acero inoxidable, mano de obra, equipo y herramienta.	PZA	1.0000	\$59.63	\$59.63	1.42%
MALLNU M18	Tamizador de malla de polipropileno con luz de 1.50 mm, de 0.90m X 0.50 m cercado con solera de acero inoxidable de 1 1/4" x 1/8" con contramarco de ángulo de acero inoxidable de 1 1/4" x 1/8", incluye: suministro, cortes, desperdicios, tornillería de acero inoxidable, mano de obra, equipo y herramienta.	PZA	1.0000	\$59.63	\$59.63	1.42%
MALLNU M35	Tamizador de malla de polipropileno con luz de 0.50 mm, de 0.90m X 0.50 m cercado con solera de acero inoxidable de 1 1/4" x 1/8" con contramarco de ángulo de acero inoxidable de 1 1/4" x 1/8", incluye: suministro, cortes, desperdicios, tornillería de acero inoxidable, mano de obra, equipo y herramienta.	PZA	1.0000	\$59.63	\$59.63	1.42%
<b>TAPA METÁLICA</b>						
TAPATMZ	Tapa para registro de 0.50x2.20 m, a base de lámina de fierro cal. 18, con marco y contramarco de 3/16x1 1/2", acabado con pintura de esmalte, incluye: herrajes, materiales, soldadura, mano de obra, equipo y herramienta.	PZA	1.0000	\$138.17	\$138.17	3.28%
<b>CONTENEDOR PARA CPTA-TPA</b>					<b>\$169.81</b>	
<b>CONCRETO</b>						
CEH200	Concreto en estructura, hecho en obra de	M3	0.2670	\$137.14	\$36.62	0.87%

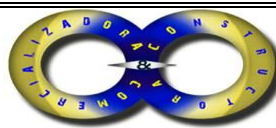


**PROGRAMA DE MAESTRÍA EN ARQUITECTURA  
CAMPO DE CONOCIMIENTO TECNOLOGÍA**

AGUAS GRISAS: RECOLECCIÓN, TRATAMIENTO, USO E  
INTEGRACIÓN EN LA EDIFICACIÓN HABITACIONAL



**CONSTRUCTORA OCHOA**



Cliente: Posgrado de Arquitectura - UNAM  
Concurso No. Tesis

Obra: Costos de construcción del sistema para el tren de  
tratamiento de aguas grises

Lugar: Cd. Nezahualcóyotl, Estado De México

Duración:  
Fecha: 15/09/2012

Inicio Obra:  
Fin Obra:

**PRESUPUESTO DE OBRA**

Código	Concepto	Un	Cantidad	P. Unitario U\$S	Importe U\$S	%
	F <sub>c</sub> =200 kg/cm <sup>2</sup> , incluye: acarreo, colado, vibrado, mano de obra, equipo y herramienta.					
<b>ACERO</b>						
ACERE3	Acero de refuerzo en estructura del No. 3, de F <sub>y</sub> =4200 kg/cm <sup>2</sup> , incluye: materiales, acarreo, cortes, desperdicios, habilitado, amarres, mano de obra, equipo y herramienta.	TON	0.0300	\$1,519.88	\$45.60	1.08%
<b>CIMBRA</b>						
CIMAEM	Cimbra acabado aparente en muros, a base de triplay de pino de 16 mm, con chafanes en las esquinas, separadores y moños, incluye: materiales, acarreo, cortes, desperdicios, habilitado, cimbrado, descimbrado, mano de obra, equipo y herramienta.	M2	3.8500	\$15.78	\$60.75	1.44%
<b>TAPA METÁLICA</b>						
TAPAC1	Tapa para registro de 1.50x1.50 m, a base de lámina de fierro cal. 18, con marco y contramarco de 3/16x1 1/2", acabado con pintura de esmalte, incluye: herrajes, materiales, soldadura, mano de obra, equipo y herramienta.	PZA	1.0000	\$26.84	\$26.84	0.64%
					<b>\$350.18</b>	
<b>FGA</b>						
MATFGA	Filtro grueso de flujo ascendente en tambo de polietileno de media densidad de 0.60 m de diámetro y 0.91 m de altura con tapa de cierre hermético, incluye: 4 capas de grava silica de diversa granulometría, adaptación de conexiones de alimentación y descarga, mano de obra, equipo y herramienta	PZA	2.0000	\$175.09	\$350.18	8.35%
					<b>\$331.58</b>	
<b>FLA</b>						
MATFLA	Filtro lento de arena silica en tambo de polietileno de media densidad de 0.60 m de diámetro y 0.91 m de altura con tapa de cierre hermético, incluye: 3 capas de grava silica de diversa granulometría, adaptación de conexiones de alimentación y descarga, mano de obra, equipo y herramienta	PZA	2.0000	\$165.79	\$331.58	7.90%
					<b>\$1,879.94</b>	
<b>CISTERNA</b>						
CIST03	Cisterna de 6 m <sup>3</sup> de capacidad de 1.80x1.80x1.80 m, a base de muros y losa de concreto de 12 cm. de espesor, armado con	PZA	1.0000	\$1,879.94	\$1,879.94	44.60%

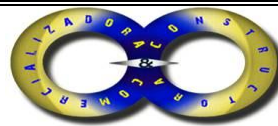


**PROGRAMA DE MAESTRÍA EN ARQUITECTURA  
CAMPO DE CONOCIMIENTO TECNOLOGÍA**

AGUAS GRISAS: RECOLECCIÓN, TRATAMIENTO, USO E  
INTEGRACIÓN EN LA EDIFICACIÓN HABITACIONAL



**CONSTRUCTORA OCHOA**



Cliente: Posgrado de Arquitectura - UNAM

Concurso No. Tesis

Obra: Costos de construcción del sistema para el tren de  
tratamiento de aguas grises

Lugar: Cd. Nezahualcóyotl, Estado De México

Duración:

Fecha: 15/09/2012

Inicio Obra:

Fin Obra:

**PRESUPUESTO DE OBRA**

Código	Concepto	Un	Cantidad	P. Unitario U\$S	Importe U\$S	%
--------	----------	----	----------	------------------	--------------	---

varilla de 3/8" a cada 20 cm. en ambos sentidos, incluye: trazo, excavación, carga y acarreo de material sobrante fuera de la obra, plantilla, armado, cimbrado, descimbrado, colado, vibrado, relleno, cárcamo, aplanado interior acabado pulido, escalera marina, tapa registro de lámina y limpieza.

**FCA**

**\$146.24**

MATFCA	Filtro de carbón activado granular, de 20" de largo x 5" de diámetro, incluye; carbón activado granular de cascara de coco, portacartucho de polipropileno.	PZA	2.0000	\$73.12	\$146.24	3.47%
--------	---	-----	--------	---------	----------	-------

**COLORADOR**

**\$89.76**

**CONCRETO**

CEH200	Concreto en estructura, hecho en obra de F'c=200 kg/cm2, incluye: acarreos, colado, vibrado, mano de obra, equipo y herramienta.	M3	0.0850	\$137.14	\$11.66	0.28%
--------	--	----	--------	----------	---------	-------

**ACERO**

ACERE3	Acero de refuerzo en estructura del No. 3, de Fy=4200 kg/cm2, incluye: materiales, acarreos, cortes, desperdicios, habilitado, amarres, mano de obra, equipo y herramienta.	TON	0.0140	\$1,519.88	\$21.28	0.50%
--------	---	-----	--------	------------	---------	-------

**CIMBRA**

CIMAEM	Cimbra acabado aparente en muros, a base de triplay de pino de 16 mm, con chaflanes en las esquinas, separadores y moños, incluye: materiales, acarreos, cortes, desperdicios, habilitado, cimbrado, descimbra, mano de obra, equipo y herramienta.	M2	1.9000	\$15.78	\$29.98	0.71%
--------	---	----	--------	---------	---------	-------

**TAPA METÁLICA**

TAPAC1	Tapa para registro de 0.50x0.50 m, a base de lámina de fierro cal. 18, con marco y contramarco de 3/16x1 1/2", acabado con pintura de esmalte, incluye: herrajes, materiales, soldadura, mano de obra, equipo y herramienta.	PZA	1.0000	\$16.84	\$16.84	0.64%
--------	--	-----	--------	---------	---------	-------

**TINACO**

**\$167.89**

TINACO1 100	Suministro e instalación de tinaco de polietileno de 1100 L de la marca Rotoplas, incluye:	PZA	1.0000	\$167.89	\$167.89	3.98%
----------------	--	-----	--------	----------	----------	-------

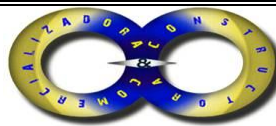


**PROGRAMA DE MAESTRÍA EN ARQUITECTURA  
CAMPO DE CONOCIMIENTO TECNOLOGÍA**

AGUAS GRISAS: RECOLECCIÓN, TRATAMIENTO, USO E  
INTEGRACIÓN EN LA EDIFICACIÓN HABITACIONAL



**CONSTRUCTORA OCHOA**



Cliente: Posgrado de Arquitectura - UNAM

Concurso No. Tesis

Obra: Costos de construcción del sistema para el tren de  
tratamiento de aguas grises

Lugar: Cd. Nezahualcóyotl, Estado De México

Duración:

Fecha: 15/09/2012

Inicio Obra:

Fin Obra:

**PRESUPUESTO DE OBRA**

Código	Concepto	Un	Cantidad	P. Unitario U\$S	Importe U\$S	%
--------	----------	----	----------	------------------	--------------	---

materiales, acarreo, elevación, mano de obra, equipo y herramienta.

**INSTALACIÓN HIDROSANITARIA**

**\$646.87**

**LÍNEA HIDRÁULICA**

ALIMHB04	Línea hidráulica de succión de 1 1/4" y llenado a tinaco con tubería de cobre de 1", incluye: 1 codo 90°x1", 1 codo 90°x1 1/4", 1 codo 45°x1", 1 yee 1", 1 reducción bushing de 1"x3/4", 1 válvula compuerta de 3/4", 1 tapón macho de 3/4", 1 válvula check pichancha de 1 1/4", 1 tuerca unión soldable de 1 1/4" y 13 m. de tubería de 1" y 5 m. de tubería de 1 1/4", mano de obra, instalación y pruebas.	PZA	1.0000	\$253.47	\$253.47	6.01%
----------	--	-----	--------	----------	----------	-------

**BOMBA CENTRIFUGA**

BOMBA3/4	Suministro e instalación de bomba eléctrica de 3/4 h.p. monofásica de la marca Pedrollo, incluye: electroniveles, acarreo, fletes, instalación, conexión, pruebas, mano de obra, equipo y herramienta,	PZA	1.0000	\$208.91	\$208.91	4.96%
----------	--	-----	--------	----------	----------	-------

**TINACO**

TINACO3 C1100	Suministro e instalación de tinaco de polietileno tricapa de 1100 L de la marca Rotoplas, incluye: materiales, acarreo, elevación, mano de obra, equipo y herramienta.	PZA	1.0000	\$184.49	\$184.49	4.38%
---------------	--	-----	--------	----------	----------	-------

**TOTAL DEL PRESUPUESTO**

**\$4,201.81**

(\* CUATRO MIL DOSCIENTOS UN DÓLAR 81/100 U.S. DLLS \*)



**PROGRAMA DE MAESTRÍA EN ARQUITECTURA  
CAMPO DE CONOCIMIENTO TECNOLOGÍA**

AGUAS GRISAS: RECOLECCIÓN, TRATAMIENTO, USO E  
INTEGRACIÓN EN LA EDIFICACIÓN HABITACIONAL



## H. Costos de mantenimiento

<b>CONSTRUCTORA OCHOA</b>		
Cliente:	Posgrado de Arquitectura - UNAM	
Concurso No.	Tesis	Fecha: 15/09/2012
Obra:	Costos de mantenimiento	Inicio Obra:
		Fin Obra:
Lugar:	Cd. Nezahualcóyotl, Estado De México	

### PRESUPUESTO DE MANTENIMIENTO

Código	Concepto	Unidad	Cantidad	P. U. U\$S	Importe U\$S	%
<b>REGISTRO PARA TAMIZADO</b>						
<b>MANTENIMIENTO</b>						
MANTAM	Limpieza de registro con agua y jabón, incluye: lavado de tamices con cepillo de nylon y agua a presión, mano de obra, equipo y herramienta.	PZA	1.0000	\$18.12	\$18.12	8.54%
<b>CONTENEDOR PARA CPTA-TPA</b>						
<b>MANTENIMIENTO</b>						
MANTPA	Limpieza de contenedor con agua a presión y cepillo de nylon, incluye: retiro de sedimentos, revisión de tubería, mano de obra, equipo y herramienta.	PZA	1.0000	\$18.62	\$18.62	8.77%
MANDO S	Limpieza y recarga de dosificador de sulfato de aluminio, incluye: limpieza con agua a presión, retiro de sedimentos, mano de obra, equipo y herramienta.	PZA	1.0000	\$47.47	\$47.47	22.36%
<b>FGA</b>						
<b>MANTENIMIENTO</b>						
MANFGA	Limpieza de filtro mediante retrolavado, incluye: retiro de sedimentos, mano de obra, equipo y herramienta.	PZA	1.0000	\$20.89	\$20.89	9.84%
<b>FLA</b>						
<b>MANTENIMIENTO</b>						
MANFLA	Limpieza de FLA, incluye: limpieza con agua a presión de geomenbrana, raspado de superficie de arena con una profundidad de 5cm sustituyendo esta capa en caso de requerirse, mano de obra, equipo y herramienta.	PZA	1.0000	\$21.82	\$21.82	10.28%
<b>ALMACENAMIENTO</b>						
<b>MANTENIMIENTO</b>						
MANCIS	Limpieza de cisterna de 6m3 de capacidad, con jabón, agua a presión y cepillo de nylon, incluye: mano de obra, equipo y herramienta.	PZA	1.0000	\$16.46	\$16.46	7.75%
MANTIN	Limpieza de tinaco con jabón, agua y cepillo de nylon, incluye: mano de obra, equipo y herramienta.	PZA	1.0000	\$6.85	\$6.85	3.23%
<b>FCA</b>						
<b>MANTENIMIENTO</b>						
MANFCA	Cartucho de carbón activado granular de cascar de coco, de 20" de largo x 5" de diámetro, incluye; retiro del cartucho existente, mano de obra, equipo y herramienta.	PZA	1.0000	\$56.14	\$56.14	26.45%
<b>CLORADOR</b>						
<b>MANTENIMIENTO</b>						
MANCLO	Limpieza y recarga de clorador incluye: retiro de sedimentos, hipoclorito al 1%, mano de obra, equipo y herramienta.	PZA	1.0000	\$5.89	\$5.89	2.77%

**TOTAL DEL PRESUPUESTO**

**\$212.26**

(\* DOSCIENTOS DOCE DÓLARES 26/100 U.S. DLLS \*)



## PROGRAMA DE MAESTRÍA EN ARQUITECTURA CAMPO DE CONOCIMIENTO TECNOLOGÍA

AGUAS GRISAS: RECOLECCIÓN, TRATAMIENTO, USO E  
INTEGRACIÓN EN LA EDIFICACIÓN HABITACIONAL



### Bibliografía

- CONSTITUCIÓN POLÍTICA DE LOS ESTADOS UNIDOS MEXICANOS.* (17 de Agosto de 2011). Recuperado el 28 de Agosto de 2011, de Diputados: <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/1.pdf>
- LEY DE AGUAS NACIONALES.* (20 de Junio de 2011). Recuperado el 25 de Agosto de 2011, de Diputados: <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/16.pdf>
- LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y LA PROTECCIÓN AL AMBIENTE.* (28 de Enero de 2011). Recuperado el 07 de Agosto de 2011, de Diputados: <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/148.pdf>
- AGUA.ORG.MX. (2010). *Hechos y cifras de las aguas residuales.* Recuperado el 26 de Noviembre de 2010, de <http://www.agua.org.mx/>
- AZEVEDO Netto, J. M. (1966). *Tratamiento de aguas residuales.*
- BARRENECHEA, A., & DE VARGAS, L. (2004). Desinfección. En O. p. salud, *Tratamiento de agua para consumo humano* (págs. 153-214). Lima: CEPIS.
- BROOKS, D. B. (2004). *Agua. Manejo a nivel local.* Ottawa, Canadá: Alfa Omega.
- CANEPa de Vargas, L. (s.f.). Filtración lenta como proceso de desinfección. Lima, Perú: CEPIS-OPS.
- CARBOTECNIA. (s.f.). *¿Que es el carbón activado?* Recuperado el 25 de Enero de 2012, de Carbotecnia: <http://www.carbotecnia.info/carbon%20activado.htm>
- CASTILLO Borges, E. R., HERRERA Canché, G. M., & MENDEZ Novelo, R. L. (s.f.). *Determinación de parámetros de diseño de un tratamiento Físicoquímico de aguas residuales.* Yucatán: Universidad Autónoma de Yucatán, Facultad de Ingeniería. Ingeniería Ambiental.
- CATALAN Sanchez, O. (s.f.). *Sedimentador de sólidos en suspensión. "Pisicola el Sauco".* Recuperado el 12 de Marzo de 2011, de Servicio de evaluación ambiental: [http://www.e-seia.cl/archivos/8\\_memoria\\_de\\_calculo\\_de\\_sedimentador\\_de\\_lodos.pdf](http://www.e-seia.cl/archivos/8_memoria_de_calculo_de_sedimentador_de_lodos.pdf)
- CAWST. (2008). *Manual del filtro bioarena.* Canada: CAWST.
- CEPIS. (1992). *Tratamiento - Serie: Filtración Lenta - Manuales I, II y III.* CEPIS - OPS.
- CIFUENTES, O., CAMPAÑA, H., & KOTIK, D. (s.f.). *CAPÍTULO VII - 3. TRATAMIENTOS PRELIMINARES.* Recuperado el 22 de Enero de 2011, de Universidad Tecnológica Nacional ; Facultad Regional Bahía Blanca: [http://www.frbb.utn.edu.ar/carreras/materias/ing\\_sanitaria/ENOHsa%20Tratamientos%20preliminares.pdf](http://www.frbb.utn.edu.ar/carreras/materias/ing_sanitaria/ENOHsa%20Tratamientos%20preliminares.pdf)



## PROGRAMA DE MAESTRÍA EN ARQUITECTURA CAMPO DE CONOCIMIENTO TECNOLOGÍA

AGUAS GRISAS: RECOLECCIÓN, TRATAMIENTO, USO E  
INTEGRACIÓN EN LA EDIFICACIÓN HABITACIONAL



- CIFUENTES, O., CAMPAÑA, H., & KOTIK, D. (s.f.). *CAPÍTULO VII - 7. FLOCULACIÓN*. Recuperado el 22 de Enero de 2011, de Universidad Tecnológica Nacional ; Facultad Regional Bahía Blanca:  
[http://www.frbb.utn.edu.ar/carreras/materias/ing\\_sanitaria/ENOHsa%20Floculacion.pdf](http://www.frbb.utn.edu.ar/carreras/materias/ing_sanitaria/ENOHsa%20Floculacion.pdf)
- CIFUENTES, O., CAMPAÑA, H., & KOTIK, D. (s.f.). *FILTRACIÓN LENTA*. Recuperado el 15 de Agosto de 2011, de Universidad Tecnológica Nacional ; Facultad Regional Bahía Blanca:  
[http://www.frbb.utn.edu.ar/carreras/materias/ing\\_sanitaria/ENOHsa%20Filtracion%20lenta.pdf](http://www.frbb.utn.edu.ar/carreras/materias/ing_sanitaria/ENOHsa%20Filtracion%20lenta.pdf)
- COMISIÓN ESTATAL DE SERVICIOS PUBLICOS DE TIJUANA. (2010). *Consumo de Agua*. Recuperado el 12 de Febrero de 2012, de Comisión Estatal de Servicios Publicos de Tijuana:  
<http://www.cespt.gob.mx/cultura/artconsumos.html>
- COMISIÓN METROPOLITANA DE ASENTAMIENTOS HUMANOS. (13 de Marzo de 1998). *Programa de Ordenación de la Zona Metropolitana del Valle de México*. Recuperado el 1 de Enero de 2011, de Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial del D.F.:  
<http://www.paot.org.mx/centro/programas/POZM.pdf>
- COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA. (2009). *Inventario nacional de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación. Diciembre 2008*. México D.F.: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA. (2009). *Ley Federal de Derechos - Disposiciones Aplicables en Materia de Aguas Nacionales 2009*. México D.F.: Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA. (2010). *Estadísticas del Agua en México*. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- CRITES, R., & TCHOBANOGLIOUS, G. (2000). *Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones*. Colombia: McGraw-Hill.
- DE AZEVEDO Netto, J. M. (s.f.). *Experiencia brasileña en el diseño de sedimentadores*. Sao Paulo, Brasil: Universidad de Sao Paulo.
- DIARIO LA JORNADA. (2005). *Agua*. Mexico: La Jornada.
- EGO. (s.f.). *la revolucion invisible*. Recuperado el 10 de Febrero de 2012, de Organización de Estados Iberoamericanos: [http://www.oei.es/salactsi/material\\_didactico.pdf](http://www.oei.es/salactsi/material_didactico.pdf)
- FERNÁNDEZ Cepedal, J. M. (2000). *Introducción a la Escuela de Mileto*. Recuperado el 15 de Agosto de 2010, de Proyecto Filosofía en español: <http://www.filosofia.org/cur/pre/mileto.htm>





**PROGRAMA DE MAESTRÍA EN ARQUITECTURA  
CAMPO DE CONOCIMIENTO TECNOLOGÍA**

AGUAS GRISAS: RECOLECCIÓN, TRATAMIENTO, USO E  
INTEGRACIÓN EN LA EDIFICACIÓN HABITACIONAL



- GEDAR. (s.f.). *Tamiz Estático*. Recuperado el 12 de Marzo de 2012, de Gestión de aguas y residuos: <http://www.gedar.com/Detalles/Residuales/TamizEstatico.htm>
- GLEICK, P. H. (8 de Febrero de 2011). *Earth's water distribution*. Recuperado el 19 de Marzo de 2011, de U.S.G.S: <http://ga.water.usgs.gov/edu/waterdistribution.html>
- GOBIERNO DEL DISTRITO FEDERAL. (2004). *Normas técnicas complementarias para el diseño y ejecución de obras e instalaciones hidráulicas*. Distrito Federal: Gaceta oficial del Distrito Federal.
- H. AYUNTAMIENTO DE NEZAHUALCÓYOTL. (s.f.). *Plan de Desarrollo Municipal 2009 - 2012*. Recuperado el 25 de Enero de 2011, de H. Ayuntamiento Nezahualcóyotl: <http://www.neza.gob.mx/transparencia/img/doc/291/PLAN-DE-DESARROLLO-MUNICIPAL-2009-2012.pdf>
- HIERONIMI, H. (2009). *Manejo sustentable de agua*. Recuperado el 17 de Septiembre de 2010, de Tierramor: <http://www.tierramor.org/permacultura/agua1.htm>
- INSTITUTO DE SALUD PUBLICA. (2004). *Manual para el autocontrol y gestión de abastecimientos de agua de consumo público*. Madrid: ICONO S.A.
- LEÓN Garza, E. (2008). *Guía de agua y construcción sustentable*. Recuperado el 28 de Agosto de 2010, de AGUA: <http://www.agua.org.mx>
- MALDONADO Yactayo, V. (s.f.). *Filtración*. Recuperado el 16 de febrero de 2012, de BVSDE : <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manuali/tomoll/nueve.pdf>
- METCALF, & Eddy. (1991). *Wastewater engineering: treatment, disposal and reuse*. N.Y,N.Y.: McGraw Hill.
- METCALF, & Eddy. (s.f.). *Ingeniería Sanitaria. Agua Residual Municipal*. Recuperado el 20 de Agosto de 2010, de <http://www.mie.esab.upc.es/arr/T18E.htm>.
- MIJAYLOVA, P., SANDOVAL, L., GONZALEZ, A., GARZON, M., MOELLER, G., FUENTES, M., y otros. (2002). *Tratamiento avanzado de aguas residuales y su reutilización como fuente para uso primario*. MEXICO: IMTA.
- MINISTRY OF SUPPLY AND SERVICES CANADA. (1993). *US Government*. Valls.
- MUJERIEGO, R. (1990). *Manual Práctico de Riego con Agua Residual Municipal Regenerada. Calidad de un Agua de Riego*. Recuperado el 25 de Agosto de 2010, de <http://www.mie.esab.upc.es/arr/T21E.htm>
- MUÑOZ Hernández. (1996). *Manual de Depuración URALITA*. URALITA Productos y Servicios, S.A.



**PROGRAMA DE MAESTRÍA EN ARQUITECTURA  
CAMPO DE CONOCIMIENTO TECNOLOGÍA**

AGUAS GRISAS: RECOLECCIÓN, TRATAMIENTO, USO E  
INTEGRACIÓN EN LA EDIFICACIÓN HABITACIONAL



- ORGANIZACION PANAMERICANA DE LA SALUD. (2005). *Guía para el diseño de desarenadores y sedimentadores*. Lima: CEPIS/OPS.
- ORIOLO, C., & PÉREZ, E. (s.f.). *Depuradoras Verdes*. Recuperado el 28 de Marzo de 2012, de [http://www.xtec.cat/~msoles/depuradores/esp/llit\\_de\\_torba.htm](http://www.xtec.cat/~msoles/depuradores/esp/llit_de_torba.htm)
- ORTEGA Guerrero, M. A. (febrero de 2010). *Boletín UNAM-DGCS-087 Ciudad Universitaria*. Recuperado el 9 de Febrero de 2011, de Geociencias: [http://www.geociencias.unam.mx/geociencias/desarrollo/boletin\\_chalco\\_02\\_10.pdf](http://www.geociencias.unam.mx/geociencias/desarrollo/boletin_chalco_02_10.pdf)
- PÉREZ Farras, L. (Agosto de 2005). *Instituto de tecnologías y ciencias de la ingeniería*. Recuperado el 10 de Marzo de 2011, de Teoría de la sedimentación: <http://escuelas.fi.uba.ar/>
- PIETROBON Tarrán, E. (s.f.). *Desinfección por luz ultravioleta*. Recuperado el 14 de Enero de 2011, de Agua Latinoamérica: <http://www.agualatinoamerica.com>
- QUINTERO González, J. (s.f.). *Efecto de la Coagulación en el Comportamiento de un Filtro Grueso Ascendente en Capas Operando como Clarificador por Contacto*. Colombia: Postgrado en Ingeniería Sanitaria y Ambiental.
- RAMALHO, R. S. (2003). *Tratamiento de aguas residuales*. España: Reverté, S.A.
- REYNOLDS, K. A., & MSPH. (Septiembre/Octubre 2002). *Tratamiento de Aguas Residuales en Latinoamerica. Agua latinoamerica*.
- REYNOLDS, T. (s.f.). *Operaciones y Procesos Unitarios*. Austin Texas, USA: McGraw-Hill.
- ROJAS, R. (2002). *Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales. Gestion integral de tratamiento de aguas residuales* (págs. 3-19). CEPIS/OPS-OMS.
- SALGOT, M. (1994). *Prevención de los riesgos Sanitario derivado de la reutilización de aguas residuales*. Recuperado el 10 de Octubre de 2010, de <http://www.mie.esab.upc.es/arr/T20E.htm>
- SCHAEFFER, K. (Octubre de 2003). *Carbón Activado - Magia Negra para Tratamiento de Agua*. Recuperado el 15 de Enero de 2011, de Agua Latinoamérica: <http://www.agualatinoamerica.com/>
- SEMARNAT. (21 de Septiembre de 1998). *Norma Oficial Mexicana NOM-003-SEMARNAT-1997, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público*. Recuperado el 1 de Diciembre de 2010, de Semarnat: <http://semarnat.janium.net/janium/Documentos/Ciga/agenda/PPD02/DO114.pdf>



**PROGRAMA DE MAESTRÍA EN ARQUITECTURA  
CAMPO DE CONOCIMIENTO TECNOLOGÍA**

AGUAS GRISES: RECOLECCIÓN, TRATAMIENTO, USO E  
INTEGRACIÓN EN LA EDIFICACIÓN HABITACIONAL



SISTEMA DE AGUAS DE LA CIUDAD DE MÉXICO. (2009). *Los principales retos del sistema de aguas de la Ciudad de México*. México: SACM.

TSUKAMOTO, R. Y. (05 de Junio de 2002). *Tratamiento Primario Avanzado: El paradigma moderno de tratamiento de aguas residuales sanitarias*. Recuperado el 25 de Septiembre de 2010, de Agua latinoamerica: <http://www.agualatinoamerica.com/docs/pdf/5-6-02int.pdf>

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA SUR. (s.f.). *Filtración y tratamiento de agua*. Recuperado el 3 de Noviembre de 2011, de UABCS: <http://www.uabcs.mx/maestros/ccaceres/acuacultura/Filtracion.htm>

VALDEZ, E. C. (2003). *Ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposición de aguas residuales*. México D.F.: Fundación ICA.

YÁÑEZ Cossio, Fabián; CEPIS ; CIFCA. (1976). *Diseño de alternativas de tratamiento para planta pequeña*. Lima: CEPIS.

YÁÑEZ Cossio, Fabián; CEPIS; CIDIAT. (1980). *Criterios para la selección de procesos de tratamiento de aguas residuales*. Mérida: CEPIS.