



# **UNIVERSIDAD DE SONORA**

---

**DIVISION DE INGENIERIA**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA QUIMICA Y METALURGIA**

## **“PROPUESTA DE PLANTA TRATADORA DE AGUAS RESIDUALES”**

**TESIS**

**Que para obtener el título de:**

**INGENIERO QUÍMICO**

**ESPECIALIDAD DE INGENIERÍA DE PROCESOS**

**PRESENTA**

**MARÍA ANALÍ GÓMEZ ARAIZA**

**HERMOSILLO, SON**

**OCTUBRE 2008**

# Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



**"El saber de mis hijos  
hará mi grandeza"**



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

## DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo de tesis principalmente a mi madre, quien me hubiera encantado que estuviera físicamente éste día conmigo, aunque se que lo esta y lo estará siempre.

A Hilda Araiza por ser tu hija y por que se que este día para ti también es un gran día, como lo es para mi.

A mi abuela Margarita Cuevas, por que para ella, mas que una nieta soy una hija, la mas pequeña. Sabes que Te Quiero y que tu representas a una madre para mi.

A mi abuelo y papá Cristóbal Araiza, no existen palabras que logren expresar lo que siento. Solo quiero que sepas que siempre he querido y tratado de hacer todo lo posible para que te sintieras orgulloso de mí, así como yo me siento orgullosa de ti. Siempre de niña te vi tan perfecto, y aun que nadie sea perfecto, para mi tu eres mi Héroe.

A la Familia Laborin Araiza muchas, muchas gracias; podría llenar el contenido de esta tesis de por que las gracias.

A la Familia Villa Araiza son sin duda algo fundamental en esta etapa de mi vida, gracias por el apoyo, por tomarme en cuenta en sus cosas y por hacerme sentir en familia con ustedes. Los Quiero mucho.

A la Familia Saucedo Araiza por ser como son, por quererme, por hacerme sentir tan bien cuando estoy con ustedes y por muchísimas cosa más.

A Cecilia Araiza por todos tus consejos siempre sabios y por mas que una tía ser una amiga. Gracias!

A Gerardo Araiza por haberme cuidado. Quiero expresarte que te quiero mucho.

A mi hermano eres mi pensamiento diario, mi esfuerzo por ser mejor persona cada día y así poder darte un buen ejemplo. Quiero que sea muy feliz y que todo en tu vida sea éxito.

## **AGRADECIMIENTOS**

Primeramente a dios por permitirme llegar hasta aquí y por llenar mi vida de gente que jamás podré olvidar y que le estaré eternamente agradecida.

A mi Madre y a mi Familia por que jamás habrá algo suficiente para agradecer y recompensar todo lo que han hecho por mí.

Al Lic. Alejandro Valenzuela quien es mi mejor amigo, mi confidente, mi conciencia y mi novio, por todo el apoyado y amor que me has dado al final de esta etapa de mi vida. Te quiero mucho.

Al Ing. Manuel Balcazar por haber sido más que un maestro un gran amigo. Por ayudarme tanto, por escucharme y por tenerme tanta paciencia. Gracias!

Al Ing. Alejandro Salinas por haber sido mi tutor y haberme orientado tantas veces con sabias palabras.

A todos mis maestros que en el transcurso de estos 5 años, me trasmitieron sus conocimientos.

A todos mis compañeros de Ing. Química, jamás los olvidare pues todo lo vivido es sin duda una de las mejores etapas de mi vida.

Y a muchísima gente más, que fue fundamental en esta etapa y que la llevare siempre en mis pensamientos.

**MUCHAS GRACIAS.**

# ÍNDICE

	<b>Página</b>
ÍNDICE DE TABLAS.	
ÍNDICE DE FIGURAS.	
INTRODUCCIÓN.	
OBJETIVO.	
MOTIVACIÓN.	
ANTECEDENTES.	
CAPÍTULO 1. Propiedades del agua.....	9
1.1 Disolvente.....	13
1.2 Polaridad.....	14
1.3 Cohesión.....	15
1.4 Adhesión.....	16
1.5 Tensión superficial.....	17
1.6 Acción capilar.....	18
1.7 Calor específico.....	19
1.8 Temperatura de fusión y evaporación.....	20
1.9 Densidad.....	21
CAPÍTULO 2. Clasificación de las aguas negras.....	22
2.1 Definición de las aguas negras.....	24
2.2 Clasificación de las aguas negras.....	25
2.3 Características de las aguas negras.....	27
2.3.1 Características Físicas.....	27
2.3.2 Características Química.....	28
2.3.2.1 Residuos con requerimiento de oxígeno.....	31
2.3.2.2 Componentes Inorgánicos.....	32
2.3.2.3 Gases encontrados en las aguas residuales.....	34
2.4 Característica del agua después del tratamiento.....	35
CAPÍTULO 3. Tratamiento físico-químico de las aguas negras.....	36
3.1 Sistemas de tratamiento fisicoquímicos.....	37
3.2 Alteraciones físicas del agua.....	40

3.3 Alteraciones químicas del agua.....	42
CAPÍTULO 4. Plantas tratadoras de aguas negras.....	44
4.1 Sistemas de tratamiento.....	46
4.1.1 Tratamiento preliminar.....	46
4.1.2 Tratamiento primario.....	46
4.1.3 Tratamiento secundario.....	51
4.1.4 Tratamiento avanzado de las aguas residuales.....	52
4.2 Depuradora o Edar.....	55
4.3 Tratamiento por electrocoagulación.....	56
4.3.1 Aplicación del proceso de electrocoagulación en el tratamiento de Aguas Negras.....	57
CAPÍTULO 5. Calidad de las aguas tratadas.....	58
5.1 Calidad del Agua.....	59
5.1.1 Parámetros físicos.....	59
5.1.2 Parámetros químicos.....	60
CAPÍTULO 6. Propuestas de planta tratadora de aguas residuales.....	62
6.1 Calculo del flujo para las dos propuestas de las plantas tratadoras de aguas residuales.....	66
CAPÍTULO 7. Resultados experimentales para utilizarse en el diseño de equipo.....	67
CAPÍTULO 8. Pruebas de pH, turbidez, conductividad, TDS y salinidad en las aguas negras, para encontrar datos de diseño.....	73
8.1 Turbidez.....	74
8.2 Conductividad.....	77
8.3 PH.....	79
8.4 TDS.....	81
8.5 Salinidad.....	84
CAPÍTULO 9. Diseño de equipo.....	86
9.1 Diseño de equipo de la primera propuesta de planta tratadora de aguas residuales para la Ciudad de Hermosillo.....	87
9.1.1. Floculador-coagulador.....	87
9.1.1.1 Cálculo del factor de escalamiento.....	87
9.1.1.2 Diseño del agitador para flocular.....	88
9.1.1.3 El cálculo de la potencia necesaria para mover las aspas.....	88
9.1.1.4 Dosis del floculante.....	90

9.1.2. Filtro de arena.....	92
9.1.2.1 Cálculo de la altura del filtro.....	92
9.1.2.2 Cálculo de la altura de la arena.....	93
9.1.2.3 Cálculo del diámetro del filtro.....	94
9.1.3. Filtro de carbón activado.....	95
9.1.3.1 Cálculo de la altura del filtro.....	95
9.1.3.2 Cálculo de la altura del carbón activado.....	96
9.1.3.3 Cálculo del diámetro del filtro.....	97
9.1.4. Bomba centrífuga.....	98
9.1.4.1. Primer cálculo de la potencia del motor de la bomba para subir el agua al clorinador.....	98
9.1.4.2. Segundo cálculo de la potencia del motor de la bomba para subir el agua al clorinador.....	99
9.1.5. Clorinador.....	106
9.5.1 Dosis del clorinador.....	106
9.5.2 Cálculo del diámetro de la tubería por donde bajará el agua por gravedad.....	107
9.2 Diseño de equipo de segunda propuesta de planta tratadora de aguas residuales para la ciudad de Hermosillo.....	108
9.2.1. Bomba centrífuga B-1.....	108
9.2.2. Floculador-coagulador.....	110
9.2.2.1 Cálculo del factor de escalamiento.....	110
9.2.2.2 Diseño del agitador para flocular.....	110
9.2.3.3 Cálculo de la potencia necesaria para mover las aspas.....	111
9.2.3.4 Dosis del floculante.....	113
9.2.3 Filtro de arena.....	114
9.2.3.1 Cálculo de la altura del filtro.....	114
9.2.3.2 Cálculo de la altura de la arena.....	115
9.2.3.3 Cálculo del diámetro del filtro.....	116
9.2.4. Filtro de carbón activado.....	117
9.2.4.1 Cálculo de la altura del filtro.....	117
9.2.4.2 Cálculo de la altura del carbón activado.....	118
9.2.4.3 Cálculo del diámetro del filtro.....	119
9.2.5. Bomba centrífuga B-2.....	120

9.2.5.1 Primer cálculo de la potencia del motor de la bomba para subir el agua al clorinador.....	120
9.2.5.2 Segundo cálculo de la potencia del motor de la bomba para subir el agua al clorinador.....	121
9.2.6. Clorinador.....	128
9.2.6.1 Dosis del clorinador.....	128
9.2.6.2 Cálculo del diámetro de la tubería por donde bajará el agua por gravedad.....	129

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

BIBLIOGRAFÍA.

ANEXO.

# ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Páginas</b>
Tabla No. 3.1. Alteraciones Físicas del Agua.....	40
Tabla No. 3.2. Alteraciones Químicas del Agua.....	42
Tabla No. 7.1. Datos de Turbidez. ....	69
Tabla No. 7.2. Datos de pH.....	69
Tabla No. 7.3. Datos de Conductividad.....	69
Tabla No. 7.4. Datos de TDS. ....	69
Tabla No. 7.5. Datos de Salinidad.....	69
Tabla No. 7.6 Datos de Turbidez.....	70
Tabla No. 7.7 Datos de pH.....	70
Tabla No. 7.8 Datos de Conductividad.....	70
Tabla No. 7.9 Datos de TDS.....	70
Tabla No. 7.10 Datos de Salinidad.....	70
Tabla No. 7.11 Datos de Turbidez.....	71
Tabla No. 7.12 Datos de pH.....	71
Tabla No. 7.13 Datos de Conductividad.....	71
Tabla No. 7.14 Datos de TDS.....	71
Tabla No. 7.15 Datos de Salinidad.....	72
Tabla No. 9.1 Proporciones para accesorios de tubo estándar.....	103

## INDÍCE DE FIGURAS

	<b>Página</b>
Fig. No. 6.1 Diagrama de planta tratadora de aguas residuales con declive.....	64
Fig. No. 6.2 Diagrama de planta tratadora de aguas residuales con sistema de bombeo.....	65
Fig. No. 8.1. Gráfica de turbidez para agua con floculante.....	75
Fig. No. 8.2. Gráfica de turbidez para agua filtrada.....	76
Fig. No. 8.3. Gráfica de conductividad para agua con floculante.....	78
Fig. No. 8.4. Gráfica de conductividad para agua filtrada.....	78
Fig. No. 8.5. Gráfica de pH para agua con floculante.....	80
Fig. No. 8.6. Gráfica de pH para agua filtrada.....	80
Fig. No. 8.7. Gráfica de TDS para agua con floculante.....	82
Fig. No. 8.8. Gráfica de TDS para agua filtrada.....	83
Fig. No. 8.9. Gráfica de Salinidad para agua con floculante.....	85
Fig. No. 8.10. Gráfica de Salinidad para agua filtrada.....	85
Fig. No. 9.1 Factor de fricción de Fanning.....	102

# **CAPÍTULO 1**

## **PROPIEDADES DEL AGUA**

## INTRODUCCION

El recurso más utilizado e importante, pero el más escaso es el agua, elemento no solo indispensable, sino vital para la existencia. En los últimos cuatro a éste no se la ha dado la importancia que verdaderamente tiene. La humanidad necesita el agua para vivir, la utiliza desde el uso primario que es para su propio consumo, hasta lo más refinado de sus actividades. Debido a la escasez del agua se ha experimentado un deterioro en sus actividades cotidianas, la necesidad de agua aumenta día a día debido al crecimiento de la población y la Industria. Con base a la gran cantidad de aguas negras que se producen en la ciudad de Hermosillo, se ve la necesidad de reutilizarla dado que la ausencia de lluvias aunado a la falta de cultura sobre el buen uso de ella, ha originado que el vital líquido resulte escaso en los últimos 15 años. El estudio de esta opción contempla la idea de obtener importantes volúmenes de aguas tratadas mediante un procedimiento tecnológico barato y sencillo, sin embargo, estas aguas seguirán siendo no aptas para consumo directo de las personas, pero dirigidas a actividades muy relacionadas en las que actualmente se utiliza el agua potable, para disminuir el desperdicio del líquido. El agua ha sido objeto de múltiples usos en los asentamientos humanos y adquiere características desagradables y/o peligrosas cuando se ha utilizado al menos una vez, casi siempre recibe el nombre genérico de aguas residuales y para volver a utilizarse hacia cuerpos de aguas sin afectar negativamente al medio ambiente, debe recibir un tratamiento que depende de las características del agua residual, el grado de depuración deseado y otros factores, principalmente económicos.

Las descargas de los desechos orgánicos e inorgánicos resultantes de la urbanización e Industrialización están causando grandes problemas ambientales en los cuerpos de agua, estos se están deteriorando rápidamente. En muchas ciudades, las “aguas negras” (las que llevan excreciones humanas, contaminadas por parásitos, bacterias y virus) son arrojadas al agua sin tratar, de este modo llegan a ríos y lagos ocasionando una serie de cambios físicos, químicos y biológicos, tales como alteración de las condiciones normales de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), turbiedad, salinidad, etc. Lo peligroso es que, esta agua que llega a un río o un canal es usada para regadío, los microorganismos de las deposiciones se depositan en los alimentos que consumimos, con el riesgo de enfermedades como hepatitis, fiebre tifoidea o cólera. Entre los contaminantes que puede contener una corriente en las que se descargan las aguas negras son la materia orgánica Biodegradable; que la demanda de oxígeno para la descomposición de estos materiales se satisface con el oxígeno disuelto en el agua en que se

descargan, mismo que es necesario para el mantenimiento de la flora y la fauna. Otro problema para el agua lo constituyen los detergentes y productos de limpieza, que poseen un alto porcentaje de fosfatos, que éste es un elemento esencial para la vida, un exceso causa un proceso de nitrificación que intensifica la producción de formas de vida improductivas como las algas que consumen nutrientes con una rapidez mayor que las especies productivas (peces) y llevan al sistema a una rápida extinción.

No existe una tecnología completamente eficaz en el tratamiento de aguas residuales, puesto que la composición de los cuerpos de agua de desecho varían en cuanto a su composición, debido a los diversos componentes. Los volúmenes que deben tratarse varían aunque son generalmente grandes, el grado de descontaminación no está establecido de una manera definitiva, ya que a medida que se estudia los efectos de los contaminantes resulta necesario disminuir todavía más la concentración de los mismos. Cualquier contaminante se puede eliminar del agua si se utiliza suficientes procesos de tratamiento.

Actualmente no solo hay preocupación por la ausencia de agua, sin embargo, lo anterior debe de ser considerado como un peligro latente para la región costera del estado de Sonora, que suman alrededor de 837 Km de longitud.

En la ciudad de Hermosillo con un total de cerca de 850 mil habitantes que hacen un número de 170 mil familias existe un consumo de 700 a 1000 litros diarios por cada una de ellas, los cuales genera una gran cantidad de aguas negras cuyo tratamiento y reutilización es muy limitado debido a que no se cuenta con una infraestructura adecuada, tales como plantas tratadoras, lo cual ocasiona una gran pérdida del vital líquido bajo la posibilidad de que podría ser reutilizada.

Proceso de aguas negras crudas el equipo principal es:

1. Desarenador.
2. Clarificación primario
3. Digestor.
4. Secador.
5. Filtro percolador.
6. Clarificación final

## Descripción del proceso.

Las aguas negras crudas entran al desarenador para quitarle grandes partículas, posteriormente pasan al clarificador primario donde el agua adquiere un color gris, seguidamente pasan al digester donde el agua se aérea, pasando posteriormente a los lechos de secado, donde una corriente del filtrado se retorna a la corriente que sale del desarenador y la otra corriente que es de lodos, son desechados. Del clarificador primario sale una corriente al filtro percolador, donde se retienen partículas pequeñas que fueron arrastradas previamente y se introducen en el clarificador final donde el agua obtiene el color del agua potable. Del anterior equipo los lodos se regresan a la corriente principal de entrada después del desarenador para ser utilizados de nueva cuenta y extraerles el agua. Del clarificador final el agua sale a almacenamiento.

## Descripción del segundo proceso.

### Equipo:

1. Aireador, desmenuzador, tamizador y desarenador.
2. Tanque de lodos activados y biofiltros.
3. Clarificador.
4. Filtros de carbón activado.
5. Desinfectador.

## Procedimiento.

El agua negra cruda entra a un pre-acondicionamiento donde es aireada desmenuzada y filtrada mediante un tamiz en un desarenador.

El siguiente paso, es la floculación mediante un tratamiento de mezclado, donde el fluido se pasa a un tratamiento biológico aeróbico con lodos activados en biofiltros, enseguida el agua pasa a la clarificación y finalmente a un filtrado utilizando: carbón activado, intercambio iónico y desinfección, obteniéndose como resultado al agua producto.

Existe otro proceso que se conoce como aeración extendida, donde se suprime el paso de la clarificación primaria.

## Procedimiento de tratamiento completo.

Equipo:

2. Aireador, desmenuzador, tamizador y desarenador.
3. Tanque de tratamiento químico.
4. Tanque de lodos activados y biofiltros.
5. Clarificador.
6. Estanque de nitrificación.
7. Tanque de desnitrificación.
8. Filtros de carbón activado.
9. Desinfectador.

El agua negra es tratada mediante un desmenuzado y tamizado para efectuar la aeración, pasando a un mezclador donde el agua es floculada, pasando posteriormente a un clarificador primario, donde las impurezas de gran tamaño se precipitan, seguidamente se da un tratamiento aeróbico biológico, mediante filtros con lodos activados o biofiltros, pasando a un clarificador secundario en donde se deposita el agua en un estanque de nitrificación; de ahí pasa a un clarificador terciario y en seguida a un desnitrificador. El agua sin compuestos nitrados es sometida a una clarificación final mediante filtros de carbón activado, un proceso de intercambio iónico y desinfección, pasando finalmente a un tanque de almacenamiento como agua producto.

En el presente trabajo y de acuerdo a los análisis del agua que se llevaron a cabo en los sectores de la ciudad de Hermosillo Sonora, se proponen plantas con el mínimo equipo, es decir, que involucren unas cuatro o cinco operaciones, de tal manera que resulte un proceso económico tanto en lo técnico y tanto en lo de inversión.

## **OBJETIVO GENERAL**

- Aplicar Tecnologías actualizadas y adaptadas para reutilizar las Aguas Negras en la Ciudad de Hermosillo, Sonora.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Caracterizar las Aguas Negras de la ciudad de Hermosillo, por sectores (9); en base a su Ph, K, TDS, salinidad y turbidez.
- Proponer Plantas para tratamiento de aguas residuales por zonas en la ciudad de Hermosillo, que sean económicas y que cumplan con los requisitos de calidad.

## **MOTIVACION**

De acuerdo al agua consumida diariamente en la ciudad de Hermosillo, gran parte de ella se va a drenaje y otra cantidad se desperdicia por las fugas debido a las líneas del mismo que se encuentran colapsada en un 40%, es necesario por lo tanto aprovechar el primer flujo de agua de desecho, reutilizándola al menos una vez mas y proponiendo que la línea de distribución sea reparada, al menos en 70%. Lo anterior me origino la idea de realizar el presente trabajo, con su respectiva propuesta.

De acuerdo a las tecnologías modernas, pueden adaptarse algunas de ellas en la reutilización de las aguas negras y aguas grises, siendo esta una forma eficaz y eficiente para resolver el grave problema de la escasez del agua en la ciudad de Hermosillo. Este problema ocasiona no nada mas la ausencia del vital liquido para consumo humano inmediato, sino que también enfermedades, problemas sociales, contaminación por polvo, malos olores, etc.

La idea principal es desarrollar un proceso, de tal manera que, de acuerdo a la ubicación de las colonias, por la cultura alimenticia y del uso cotidiano del agua, es la de proponer plantas de proceso por sectores, para que sea mas útil la ubicación de las mismas y permitan un ahorro del 50% o mas, tanto para el órgano operador del agua como para el usuario. Siendo lo anterior el motivo primordial para llevar acabo el desarrollo del presente trabajo de tesis, además, con la elaboración de dicho trabajo obtener el titulo profesional de Ingeniero Químico con la opción tesis.

## ANTECEDENTES

La implementación de plantas de tratamiento de aguas residuales tanto domésticas como industriales, es de gran importancia en el Estado de Sonora, debido a la escasez de agua que predomina en esta región y por otra parte el mal uso que se hace de ella.

En este caso, la idea primordial piensa es reutilizar las aguas negras, mediante el tratamiento de aguas residuales, siendo este el proceso al que se somete el agua desechada de los hogares, industrias y establecimientos comerciales, para eliminar los contaminantes y pueda ser usada nuevamente sin peligro. El agua residual proviene de los desechos humanos y del hogar, por ejemplo: de baños, lavabos, lavaderos, albercas, entre otras; así como provienen de los desechos químicos de las industrias, restaurantes, talleres, aeropuertos, centros comerciales, que forman también el caudal del agua que se va a drenaje.

El tratamiento hace posible que el agua pueda ser utilizada para el riego de cultivos, pues queda libre de impurezas; incluso si esta agua se canalizara a los ríos tendría el oxígeno suficiente para que se desarrollen especies vivas. Una planta tratadora de aguas residuales es muy importante porque protege la salud pública además que ayuda al cuidado de la naturaleza. El agua residual sin tratar que recibe el sistema de drenaje, se conduce hacia fuera de la Ciudad, hasta un lugar donde, en algunas ocasiones puedan ser utilizadas. El grado de tratamiento está determinado por los requerimientos de los cuerpos receptores y del rehusó así como por la capacidad económica del organismo operador responsable.

En verano, la ciudad de Hermosillo desecha un promedio de dos mil 500 litros por segundo de aguas residuales y mil 800 en invierno, la ciudad apenas comienza a tratar el agua del alcantarillado pero a la fecha existen algunas plantas tratadoras en escuelas para riego de sus jardines. Para ayudar a resolver parcialmente la problemática que presenta esta ciudad se ha desarrollado el presente trabajo de tesis, consistente en el diseño de una planta tratadora de aguas negras, cuyo producto sea utilizado para algunas actividades domésticas, riego de jardines, entre otros. Dentro del presente trabajo de tesis que presento, se han revisado algunas características de la ciudad, como localización geográfica, red de alcantarillado y el uso actual de las aguas negras, lo que ha permitido dividir a la ciudad de Hermosillo por sectores para desarrollar plantas adaptadas a los mismos.

Tomando en cuenta la información bibliográfica y la información generada, se establecieron criterios para la selección del proceso que nos sea mas conveniente. Dicho proceso asegura una reducción en la demanda bioquímica de oxígeno en el agua, con la desinfección final se asegura la eliminación de bacterias patógenas que pueden crear condiciones de insalubridad permitiendo que el agua tratada sea utilizada para nuestros propósitos.

## CAPÍTULO 1. PROPIEDADES DEL AGUA

El agua es un compuesto formado por dos átomos de hidrógeno (H) y uno de oxígeno (O). Proveniente del latín *aqua*.

El agua pura no tiene olor, sabor, ni color (es decir, es incolora, insípida e inodora). Su importancia reside en que casi la totalidad de los procesos químicos que suceden en la naturaleza, no solo en organismos vivos sino también en la superficie no organizada de la tierra, así como los que se llevan a cabo en laboratorios y en la industria tienen lugar entre sustancias disueltas en agua.

Se considera fundamental para la existencia de la vida. No se conoce ninguna forma de vida que tenga lugar en su ausencia completa.

Es el único compuesto que puede estar en los tres estados (sólido, líquido y gaseoso) a las temperaturas que se dan en la Tierra. Se halla en forma líquida en los mares, ríos, lagos y océanos; en forma sólida, nieve o hielo, en los casquetes polares, en las cumbres de las montañas y en los lugares de la Tierra donde la temperatura es inferior a cero grados Celsius; y en forma gaseosa se encuentra formando parte de la atmósfera terrestre como vapor de agua.

Es el compuesto con el calor latente de vaporización más alto, 540 cal/g y con el calor específico más alto después del litio, 1 cal/gramo.

El agua es un compuesto vital para la mayoría de los seres vivos.

Es fundamental para todas las formas de vida conocida. En sí, la raza humana consume agua potable, y por tal razón los recursos naturales se han vuelto escasos con la creciente población mundial y su disposición en varias regiones habitadas es la preocupación de muchas organizaciones gubernamentales.

El agua cubre tres cuartas partes (71 por ciento) de la superficie de la Tierra, pese al área por la cual se extiende, la hidrosfera terrestre es comparativamente bastante escasa, para dar un ejemplo citado por Jacques Cousteau: “*si se sumergiera una bola de billar en agua y se*

*la quitase la película de humedad que quedaría inmediatamente tras ser sacada, sería proporcionalmente mayor que la de todos los océanos".* A pesar de que es una sustancia tan abundante, sólo supone el 0,022 % de la masa de la Tierra. Se puede encontrar esta sustancia en prácticamente cualquier lugar de la biosfera y en los tres estados de agregación de la materia: sólido, líquido y gaseoso.

El 97 por ciento es agua salada, la cual se encuentra principalmente en los océanos y mares; sólo el 3 por ciento de su volumen es dulce. De esta última, un 1 por ciento está en estado líquido, componiendo los ríos y lagos. El 2 % restante se encuentra en casquetes o banquisa en las latitudes próximas a los polos. Fuera de las regiones polares el agua dulce se encuentra principalmente en humedales, y subterráneamente en acuíferos. Hacia 1970 se consideraba que la mitad del agua dulce del planeta Tierra estaba contaminada.

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 %).

En la superficie de la Tierra hay unos 5.398.263.000 km<sup>3</sup> de agua que se distribuyen de la siguiente forma:

- 1.320.000.000 km<sup>3</sup> (97%) son agua de mar
- 40.000.000 km<sup>3</sup> (3%) son agua dulce
  - 25.000.000 km<sup>3</sup> (1,8%) como hielo
  - 13.000.000 km<sup>3</sup> (0,96%) como agua subterránea
  - 250.000 km<sup>3</sup> (0,02%) en lagos y ríos
  - 13.000 km<sup>3</sup> (0,001%) como vapor de agua

A estas cantidades hay que sumarle la que forma parte de la composición del manto, la zona terrestre que representa un 84% del volumen planetario. Parte de esta agua alcanza la superficie tras separarse de las masas subterráneas de magma (agua juvenil) o en forma de vapor, junto a otros volátiles, durante las erupciones volcánicas. Este proceso, que llamamos desgasificación del manto, compensa permanentemente, y lo hará mientras no cese la dinámica interna planetaria, la pérdida de agua por fotólisis en la alta atmósfera; allí, los

átomos de hidrógeno liberados tienen a perderse en el espacio. El día que el planeta no contenga ya calor suficiente para mantener la tectónica de placas y el vulcanismo, esa pérdida paulatina terminará por convertir su superficie en un desierto universal.

## 1.1 Disolvente

El agua es descrita muchas veces como el solvente universal, porque disuelve muchos de los compuestos conocidos. Sin embargo no lo es (aunque es tal vez lo más cercano), porque no disuelve a todos los compuestos, y de hacerlo no sería posible construir ningún recipiente para contenerla.

El agua es un disolvente polar, más polar, por ejemplo, que el etanol. Como tal, disuelve bien sustancias iónicas y polares, como la sal de mesa (cloruro de sodio), no disuelve apreciablemente sustancias fuertemente apolares, como el azufre en la mayoría de sus formas, y es inmisible con disolventes apolares, como el hexano. Por que esta propiedad es de gran importancia para la vida.

Esta propiedad se debe a su capacidad para formar puentes de hidrógeno con otras sustancias que pueden presentar grupos polares, o con carga iónica, como alcoholes, azúcares con grupos R-OH, aminoácidos y proteínas con grupos que presentan cargas + y -, dando lugar a disoluciones moleculares. También las moléculas de agua pueden disolver sustancias salinas que se disocian formando disoluciones iónicas.

En las disoluciones iónicas, los iones de las sales son atraídos por los dipolos del agua, quedando "atrapados" y recubiertos de moléculas de agua en forma de iones hidratados o solvatados.

Algunas sustancias, sin embargo, no se mezclan bien con el agua, incluyendo aceites y otras sustancias hidrofóbicas. Membranas celulares compuestas de lípidos y proteínas, aprovechan de esta propiedad para controlar las interacciones entre sus contenidos químicos y los externos. Esto se facilita en parte por la tensión superficial del agua.

La capacidad disolvente es responsable de:

- Las funciones metabólicas
- Los sistemas de transporte de sustancias en los organismos

## 1.2 Polaridad

La molécula de agua es muy dipolar. Los núcleos de oxígeno son muchos más electronegativos (atraen más los electrones) que los de hidrógeno, lo que dota a los dos enlaces de una fuerte polaridad eléctrica, con un exceso de carga negativa del lado del oxígeno, y de carga positiva del lado de los hidrógenos. Los dos enlaces no están opuestos, sino que forman un ángulo de  $104,45^\circ$  debido a la hibridación  $sp^3$  del átomo de oxígeno, así que en conjunto los tres átomos forman con un triángulo, cargado negativamente en el vértice formado por el oxígeno, y positivamente en el lado opuesto, el de los hidrógenos. Este hecho tiene una importante consecuencia, y es que las moléculas de agua se atraen fuertemente, adhiriéndose por donde son opuestas las cargas; en la práctica, un átomo de hidrógeno sirve como puente entre el átomo de oxígeno al que está unido covalentemente y un oxígeno de otra molécula. Se llama a la estructura anterior enlace de hidrógeno o puente de hidrógeno.

El hecho de que las moléculas de agua se adhieran electrostáticamente, a su vez modifica muchas propiedades importantes de la sustancia que llamamos agua, como la viscosidad dinámica, que es muy grande, o los puntos (temperaturas) de fusión y ebullición o los calores de fusión y vaporización, que se asemejan a los de sustancias de mayor masa molecular.

### **1.3 Cohesión**

La cohesión es la propiedad con la que las moléculas de agua se atraen a sí mismas, por lo que se forman cuerpos de agua adherida a sí misma, (gotas).

Los puentes de hidrógeno mantienen las moléculas de agua fuertemente unidas, formando una estructura compacta que la convierte en un líquido casi incompresible. Al no poder comprimirse puede funcionar en algunos animales como un esqueleto hidrostático, como ocurre en algunos gusanos perforadores capaces de agujerear la roca mediante la presión generada por sus líquidos internos. Estos puentes se pueden romper fácilmente con la llegada de otra molécula con un polo negativo o positivo dependiendo de la molécula, o, con el calor.

La fuerza de cohesión permite que el agua se mantenga líquida a temperaturas no extremas.

## **1.4 Adhesión**

El agua, por su gran potencial de polaridad, cuenta con la propiedad de la adhesión, es decir, el agua generalmente es atraída y se mantiene adherida a otras superficies. Esto es lo que se conoce comúnmente como "mojar".

Esta fuerza está también en relación con los puentes de hidrógeno que se establecen entre las moléculas de agua y otras moléculas polares y es responsable, junto con la cohesión, del llamado fenómeno de la capilaridad.

## **1.5 Tensión superficial**

Por su misma propiedad de cohesión, el agua tiene una gran atracción entre las moléculas de su superficie, creando tensión superficial. La superficie del líquido se comporta como una película capaz de alargarse y al mismo tiempo ofrecer cierta resistencia al intentar romperla; esta propiedad contribuye a que algunos objetos muy ligeros floten en la superficie del agua.

Debido a su elevada tensión superficial, algunos insectos pueden estar sobre ella sin sumergirse e, incluso, hay animales que corren sobre ella, como el basilisco. También es la causa de que se vea muy afectada por fenómenos de capilaridad.

Las gotas de agua son estables también debido a su alta tensión superficial. Esto se puede ver cuando pequeñas cantidades de agua se ponen en superficies no solubles, como el vidrio, donde el agua se agrupa en forma de gotas.

## **1.6 Acción capilar**

El agua cuenta con la propiedad de la capilaridad, que es la propiedad de ascenso, o descenso, de un líquido dentro de un tubo capilar. Esto se debe a sus propiedades de adhesión y cohesión.

Cuando se introduce un capilar en un recipiente con agua, ésta asciende por el capilar como si trepase "agarrándose" por las paredes, hasta alcanzar un nivel superior al del recipiente, donde la presión que ejerce la columna de agua se equilibra con la presión capilar. A este fenómeno se debe en parte la ascensión de la savia bruta, desde las raíces hasta las hojas, a través de los vasos leñosos.

## 1.7 Calor específico

También esta propiedad está en relación con los puentes de hidrógeno que se crean entre las moléculas de agua. El agua puede absorber grandes cantidades de calor que utiliza para romper los puentes de hidrógeno, por lo que la temperatura se eleva muy lentamente. El calor específico del agua es de  $1 \text{ cal/}^\circ\text{C}\cdot\text{g}$ .

Esta propiedad es fundamental para los seres vivos (y la Biosfera en general) ya que gracias a esto, el agua reduce los cambios bruscos de temperatura, siendo un regulador térmico muy bueno. Un ejemplo de esto son las temperaturas tan suaves que hay en las zonas costeras, que son consecuencias de estas propiedad. También ayuda a regular la temperatura de los animales y las células permitiendo que el citoplasma acuoso sirva de protección ante los cambios de temperatura. Así se mantiene la temperatura constante. La capacidad calorífica del agua es mayor que la de otros líquidos.

Para evaporar el agua se necesita mucha energía. Primero hay que romper los puentes y posteriormente dotar a las moléculas de agua de la suficiente energía cinética para pasar de la fase líquida a la gaseosa. Para evaporar un gramo de agua se precisan 540 calorías, a una temperatura de  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ .

## 1.8 Temperatura de fusión y evaporación

Presenta un punto de ebullición de  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $373,15\text{ K}$ ) a presión de 1 atmósfera (se considera como estándar para la presión de una atmósfera la presión promedio existente al nivel del mar). El calor latente de evaporación del agua a  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ :  $540\text{ cal/g}$  (ó  $2260\text{ J/g}$ ).

Tiene un punto de fusión de  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $273,15\text{ K}$ ) a presión de 1 atm. El calor latente de fusión del hielo a  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ :  $80\text{ cal/g}$  (ó  $335\text{ J/g}$ ). Tiene un estado de sobreenfriado líquido a  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

La temperatura crítica del agua (es decir aquella a partir de la cual no puede estar en estado líquido independientemente de la presión a la que esté sometida) es de  $374\text{ }^{\circ}\text{C}$  y se corresponde con una presión de  $217,5$  atmósferas.

## 1.9 Densidad

La densidad del agua líquida es muy estable y varía poco con los cambios de temperatura y presión.

A la presión normal (1 atmósfera), el agua líquida tiene una mínima densidad a los 100 °C, donde tiene 0,958 kg/litro. Mientras baja la temperatura, aumenta la densidad (por ejemplo, a 90 °C tiene 0,965 kg/L) y ese aumento es constante hasta llegar a los 3,8 °C donde alcanza una densidad de 1 kg/litro. La temperatura de (3,8 °C) representa un punto de inflexión y es cuando alcanza su máxima densidad (a la presión mencionada). A partir de ese punto, al bajar la temperatura, la densidad comienza a disminuir, aunque muy lentamente (casi nada en la práctica), hasta que a los 0° disminuye hasta 0,9999 kg/litro. Cuando pasa al estado sólido (a 0 °C), ocurre una brusca disminución de la densidad pasando de 0,9999 kg/L a 0,917 kg/L.

# **CAPÍTULO 2**

## **CLASIFICACIÓN DE LAS AGUAS NEGRAS**

## **CAPÍTULO 2. CLASIFICACIÓN DE LAS AGUAS NEGRAS**

En la actualidad se tiene la casi nula cultura de la reutilización del agua, esto es propiciado en gran medida por la falta de información en lo referente a procesos para clarificar o purificar el agua residual. En la actualidad existe una gran variedad de procesos por medio de los cuales podemos tratar las aguas residuales, es importante mencionar que dichos procesos varían en función de las necesidades, es decir; si queremos purificar el agua o solo clarificarla para enviarla al subsuelo o bien, utilizarla para riego de jardines domésticos y áreas verdes. En la actualidad existen varias alternativas para resolver el problema de la falta de agua entre las cuales se encuentra la desalinización del agua de mar, racionalización de su uso, estudios acerca del uso inteligente del agua, y el tratamiento de aguas residuales para su reutilización. El tratamiento del agua residual puede ser por medio de una gran variedad de procesos y el método que se emplea para tratar el agua depende en gran parte, del fin al que se destina el abastecimiento. Para uso doméstico es deseable eliminar las impurezas, ya sean suspendidas o disueltas, que sean perjudiciales a la apariencia y aspecto estético del agua. Es absolutamente necesario eliminar o volver inactiva cualquier impureza, como bacterias y otros microorganismos, que pueden ser perjudiciales para la seguridad y bienestar de los consumidores.

## **2.1 Definición de las aguas negras**

Las aguas negras es el resultado de la combinación de los líquidos o desechos arrastrados por el agua que provienen de casas habitación, edificios comerciales e instituciones, principalmente. Además que a estas se le adjuntan aguas provenientes de los establecimientos industriales, aguas subterráneas superficiales y de precipitación que puedan agregarse. Existen un sin número de definiciones de aguas negras, aunque básicamente todos encierran el mismo contenido enunciado anteriormente. El tratamiento de las aguas negras se refiere al procesamiento de las aguas residuales, producidas por actividades típicas de la comunidad y de las familias.

Las aguas negras contiene usualmente entre 0.02% y 0.03% de sólidos en suspensión y otras sustancias orgánicas solubles e insolubles. Las sustancias químicas inorgánicas están presentes en las aguas negras; en las heces y los desechos domésticos se encuentran gran cantidad de compuestos orgánicos, mientras que los desechos industriales poseen los dos tipos de compuestos.

Uno de los principales cuidados que se debe tener para la evacuación de las aguas negras que no han sido tratadas previamente, es el evitar que se contamine el nivel de aguas freáticas, que son utilizadas por medio de bombeo para fines domésticos. Las enfermedades principales que pueden ser transmitidas a través de las aguas negras son: la tifoidea, paratifoidea y cólera, los mecanismo por los cuales se adquieren estas enfermedades son: mariscos de aguas contaminadas, verduras y frutas contaminadas, contacto con suelos contaminados por excretos humanos, leche contaminada por usar utensilios que fueron lavados con aguas contaminadas, baños u otros contactos con aguas contaminadas.

## 2.2 Clasificación de las aguas negras

Hay diversas clasificaciones de las aguas negras dependiendo de su origen, así tenemos que:

- **Domésticas:** Son aquellas aguas cuyo principal desechos es el humano así como el casero y de animal incluyendo las de infiltración.
- **Sanitarias:** Son principalmente las aguas domésticas, aunque a veces se le agregan los desechos industriales de la población.
- **Pluviales:** Son las aguas que son captadas principalmente del escurrimiento superficial de las lluvias que fluyen desde los techos, pavimentos y otras superficies naturales del terreno.
- **Combinadas:** Estas resultan cuando en la misma alcantarilla se mezclan las aguas negras domésticas o sanitarias y las aguas pluviales.
- **Desechos Industriales:** Son las que provienen de las industrias las cuales pueden ser tratadas aisladamente y luego agregarse y formar parte de las aguas sanitarias.
- **Aguas Negras Frescas:** Se les denomina así aquellas que en determinados puntos donde se examinan aún contienen oxígeno y son por general de origen reciente.
- **Aguas Negras en Proceso de Alteración:** Se clasifican de esta manera ya que pueden tener poco oxígeno disuelto o no tener absolutamente nada sin que estas lleguen a la putrefacción.
- **Aguas Negras Sépticas:** Es cuando el oxígeno disuelto se ha agotado totalmente y da lugar a procesos de putrefacción en condiciones anaeróbias.

Los seres humanos producen cada uno a través de la orina 6 kg de nitrógeno, 1 kg de fósforo y 1 kg de potasio anualmente. 500m<sup>2</sup> de tierra cultivada pueden soportar el 75% de las necesidades nutricionales de una persona, con el aporte anual de unos 6 kg de nitrógeno, 1 kg de fósforo y 1 kg de potasio.

De los nutrientes que el cuerpo libera, 80-90% está en orina, y la orina es estéril. Podemos abandonar el 10-20% que hay en las heces, porque en ellas hay bacterias y virus. Las bacterias pueden vivir alrededor de 3 meses, y pueden ser aniquiladas a través de tratamientos. Sin embargo, los virus pueden vivir de 3 a 24 meses y no pueden ser aniquilados con seguridad a través de tratamientos convencionales de saneamiento. Las heces pueden comportarse en una caja de lombrices, pues las lombrices pueden comerse los virus. Después pueden ser encapsuladas bajo una capa de tierra y usarlas para abonar vegetales.

## 2.3 Características de las aguas negras

La naturaleza de las aguas residuales presenta un conjunto de sustancias orgánicas e inorgánicas que proporcionan un marco de carácter físico-químico cuya influencia determina la supervivencia de microorganismos típicos, la abundancia de alguno de ellos y la escasez de otros. Así como la composición de las aguas residuales es oscilante, de la misma manera oscila también el tipo y número de organismos que contienen: Hongos, Protozoos, Algas, Bacterias y Virus.

La composición del agua residual se refiere a los constituyentes físicos, químicos y biológicos, según la cantidad de estos componentes el agua residual se clasifica como fuerte, media o débil ya que tanto la concentración como la composición varían con la hora del día, día de la semana, mes del año y también con otras condiciones locales.

### 2.3.1 Características Físicas.

Las características físicas más importantes de un agua de desecho es su contenido total de sólidos, el cual comprende la materia flotante, materia en suspensión, material coloidal, y en solución. Otras características físicas importantes son la temperatura, color, olor y turbiedad, son parámetros físicos medibles y negativos ecológicamente.

- **Sólidos Totales:** Analíticamente. El contenido de sólidos totales de un agua de desecho se define como la materia que quede como residuo después de la evaporación de 103 a 105°C. Los sólidos totales se clasifican como sólidos suspendidos y sólidos filtrables. La fracción de sólidos suspendidos incluye los sólidos sedimentables que se sedimentarán en el fondo de un cono Imhoff en un período de 60 min. Los sólidos sedimentables son una medida aproximada de la cantidad de lodo que será removido por sedimentación. La fracción de sólidos filtrables consiste en sólidos coloidales. La fracción coloidal no puede eliminarse por sedimentación. Generalmente, después de la oxidación biológica o coagulación, después sigue la sedimentación, necesaria para remover estas partículas de la suspensión. Cada una de las categorías de sólidos puede ser posteriormente clasificada en base a su volatilidad a 550°C. A esta temperatura, la fracción orgánica se oxida y volatiza y la fracción inorgánica permanece como ceniza.

- **Temperatura:** La temperatura del agua es un parámetro muy importante debido a su efecto sobre la vida acuática, las reacciones químicas, rapidez de reacción y lo adecuado del agua para usos benéficos. Por ejemplo los incrementos de la temperatura pueden causar cambios en las especies de peces existentes en el agua.
- **Color:** Las aguas negras frescas son usualmente grises, sin embargo, a medida que los compuestos orgánicos son digeridos por la bacteria, el oxígeno disuelto en el desecho se reduce a cero y el color cambia a negro. En estas condiciones, se dice que el desecho presenta condiciones sépticas. Algunos desechos industriales pueden impartirle color a los desechos domésticos.
- **Olor:** Los olores en un desecho son debidos a los gases producidos por la descomposición de la materia orgánica. Los desechos frescos tienen un olor distintivo, algo desagradable, menos molesto que los olores sépticos de los desechos. El olor característico de un desecho es debido al sulfuro de hidrógeno producido por los microorganismos anaeróbicos, los cuales reducen los sulfatos a sulfuro. Las aguas de desechos industriales pueden contener compuestos olorosos o que producen olor en el proceso de tratamiento del desecho.
- **Turbiedad:** El término turbiedad se aplica a aguas que contienen materia suspendida, que interfieren en el paso de la luz a través del agua. La turbiedad es causada por una amplia variedad de materia suspendida, que varía del tamaño de coloidal a dispersiones ordinarias. La materia coloidal absorbe o dispersa la luz, evitando su transmisión.

### 2.3.2 Características Química:

Las sustancias contaminantes que pueden aparecer en un agua residual son muchas y diversas.

- **Materia Orgánica:** Son compuestos cuya estructura química está compuesta fundamentalmente por carbono, hidrógeno, oxígeno además del nitrógeno que pueden estar presentes en algunos casos. Otros elementos importantes son el azufre, fósforo y fierro también se presentan frecuentemente en las aguas residuales.

Las principales sustancias orgánicas que pueden aparecer en las aguas residuales son:

- **Proteínas: (40 a 60%)** Las proteínas son el principal constituyente del organismo animal presentándose en menor cantidad en las plantas. Toda sustancia alimenticia animal o vegetal contiene proteína, variando de pequeños porcentajes en las frutas acuosas (tomate) a altos porcentajes en la carne y ciertos granos de plantas leguminosas (fríjol, soya, etc.). Los elementos comunes a todas las proteínas son el carbono, hidrógeno y oxígeno. Además como característica particular, contiene una alta proporción de nitrógeno (aproximadamente 16%), en algunos casos se encuentra azufre, hierro y fósforo. La urea y las proteínas son las principales fuentes de nitrógeno, que en grandes cantidades produce olores fétidos debido a su descomposición.
- **Carbohidratos: (25 a 50%)** Se encuentran ampliamente distribuidos en la naturaleza, así como en todas las aguas de desecho, en este grupo se incluyen azúcares, almidones, fibras de madera, celulosa, son compuestos formados de carbono, hidrógeno y oxígeno. La celulosa es el más importante carbohidrato encontrado en un desecho, debido a su resistencia a la descomposición.
- **Aceites y grasas: (10%)** Las grasas y aceites de los desechos domésticos provienen de la manteca, mantequilla, margarina y aceites vegetales. Las grasas es uno de los compuestos orgánicos más estables y difíciles de biodegradar. El keroseno y aceites lubricantes son derivados del petróleo y el alquitrán de hulla, los cuales se encuentran en las aguas negras en cantidad considerable y proveniente de talleres, estacionamientos y calles. Estas sustancias también son solubles en hexano, y por lo tanto, se incluyen en la determinación de grasas y aceites. Gran parte de las partículas de grasas y aceites que se encuentran en las aguas de desecho flotan, formando una capa que tiene a cubrir la superficie e interfiere con la acción biológica, causando además problemas de mantenimiento.

Además de estos compuestos, las aguas residuales contienen pequeñas cantidades de compuestos orgánicos sintéticos, la presencia de estas sustancias en los últimos años, ha sido de complicación para los sistemas de tratamiento de las aguas residuales, debido a que gran parte de ellos no son biodegradables o son muy lentamente descompuestos por los sistemas biológicos de tratamiento. Los ejemplos típicos son:

- Arenas: naturaleza mineral, aunque pueden llevar adherida materia orgánica. Las arenas enturbian las masas de agua cuando están en movimiento, o bien forman depósitos de lodos si encuentran condiciones adecuadas para sedimentar.
  - Nitrógeno y fósforo: Tienen un papel fundamental en el deterioro de las masas acuáticas. Su presencia en las aguas residuales es debida a los detergentes y fertilizantes, principalmente. El nitrógeno orgánico también es aportado a las aguas residuales a través de las excretas humanas.
  - Agentes patógenos: Son organismos que pueden ir en mayor o menor cantidad en las aguas residuales y que son capaces de producir o transmitir enfermedades.
  - Otros Contaminantes Específicos: Incluimos sustancias de naturaleza muy diversa que provienen de aportes muy concretos: metales pesados, fenoles, petróleo, pesticidas, etc.
- Contaminantes inorgánicos: Aparecen en cualquier tipo de agua residual, aunque son más abundantes en los vertidos generados por la industria. Son de origen mineral y de naturaleza variada: sales, óxidos, ácidos y bases inorgánicas, metales, etc. Los componentes inorgánicos de las aguas residuales estarán en función del material contaminante así como de la propia naturaleza de la fuente contaminante.

En la actualidad existen diferentes métodos para determinar el contenido orgánico de las aguas residuales. Un método sería la medición de la fracción de sólidos volátiles a sólidos totales, el cual está sujeto a muchos errores y por lo mismo es poco usado. Los métodos de laboratorio actualmente empleados son la “Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Carbón Orgánico Total (COT). Otra prueba de

desarrollo reciente es la Demanda de Oxígeno Total (DOT). Como complemento de estas pruebas esta la Demanda Teórica de Oxígeno (DTO), que se determina con la fórmula química de materia orgánica respectiva.

#### 2.3.2.1 Residuos con requerimiento de oxígeno.

Son compuestos tanto orgánicos como inorgánicos que sufren fácilmente y de forma natural procesos de oxidación, que se van a llevar a cabo consumiendo oxígeno del medio. Estas oxidaciones van a realizarse bien por vía química o bien por vía biológica.

- **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO):** Es la cantidad de oxígeno usado en la respiración de los microorganismos para oxidar la materia orgánica de las aguas y para el metabolismo avanzado (oxidación) de los componentes celulares sintetizados de los desechos. La DBO se relaciona con la cantidad de materia orgánica en el agua negra: a mayor cantidad de esta materia soluble, más alta la DBO. La medición de la DBO es importante en tratamientos de aguas de desecho y control de la calidad del agua. Los datos de DBO se usan para medir las facilidades de tratamiento de un desecho y la eficiencia de algún proceso de tratamiento.
- **Demanda Química de Oxígeno (DQO):** Es la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar los componentes de un agua residual por las sustancias reductoras, es decir mediante reacciones químicas sin la intervención de microorganismos. Esta prueba se emplea de las aguas naturales y de desechos. El oxígeno equivalente de la materia orgánica que puede ser oxidado se mide con un agente químico fuertemente oxidante en medio ácido. Es también usada para la materia orgánica de los desechos industriales y municipales que contienen sustancias tóxicas para la vida biológica.
- La Demanda Bioquímica de Oxígeno es en general más alta que la demanda Química de Oxígeno, debido a que más compuestos son oxidados químicamente, la DQO se determina en 3 horas, en cambio la DBO se determina en 5 días.
- **Carbón Orgánico Total (COT):** Este método consiste en determinar la cantidad de carbono biodegradable en una muestra de las aguas residuales, esta determinación se realiza con un aparato especial obteniendo un resultado efectivo y rápido. Las

experiencias que se han realizado hasta el momento no permiten establecer una correlación entre los parámetros antes mencionados para medir la materia orgánica putrescible.

- **Demanda de Oxígeno Total (DOT):** El DOT se determina por monitoreo del contenido de oxígeno presente en el gas nitrógeno conductor, correlacionando los resultados obtenidos con el DQO. Aquí las sustancias orgánicas y en menor proporción las sustancias inorgánicas se transforman a productos finales estables en una cámara de combustión catalizada con platino.
- **Demanda Teórica de Oxígeno:** El contenido de materia orgánica de los desechos de origen animal o vegetal son generalmente una combinación de C,H,O,N. Los principales grupos son los carbohidratos, proteínas, grasas y productos de descomposición.

#### 2.3.2.2 Componentes Inorgánicos

Los componentes inorgánicos de las aguas naturales y de desechos son importantes para establecer y controlar la calidad del agua. La concentración de sustancias inorgánicas en el agua se incrementa: con la formación geológica con la cual el agua se pone en contacto y por las aguas de desecho tratadas o no tratadas que se descargan en ella. las aguas de desecho, con la excepción de algunos desechos industriales, pocas veces son tratadas para removerles los constituyentes inorgánicos que se le agregan en su uso diario.

- **pH:** La concentración de ión hidrógeno es un parámetro importante de la calidad de las aguas naturales y de desechos. Las aguas de desecho con concentraciones adversas de ión hidrógeno son difíciles de tratar por medio biológicos.
- **Cloruros:** Es uno de los aniones inorgánicos que en mayor concentración se presenta en las aguas naturales y de desecho ya que los métodos convencionales de tratamiento no eliminan cantidades importantes de cloruros, concentraciones de cloruros mayores de lo usual nos indican que un cuerpo de agua es usado para disposición de desechos.

- **Nitrógeno:** El nitrógeno es esencial para la síntesis de proteínas y su presencia es importante con el tratamiento de los desechos domésticos e industriales, por procesos biológicos. El nitrógeno presente en las aguas negras frescas se encuentran en la materia proteinada y la urea principalmente, la bacteria la descompone fácilmente formando amoníaco. El envejecimiento de las aguas de desecho doméstico nos indica la cantidad de amoníaco presente. El nitrógeno y el fósforo son esenciales para el crecimiento de las plantas, se les conoce como nutrientes.
- **Fósforo:** El fósforo es también esencial para el crecimiento de las algas y de los organismos biológicos. Debido a lo dañino de los crecimientos algales que ocurren en las aguas superficiales, existe gran interés en controlar la cantidad de estos compuestos provenientes de las descargas de desechos domésticos, industriales y escurrimientos naturales.
- **Azufre:** Los sulfatos son componentes naturales de las fuentes de suministro de agua y de las algas de desechos domésticos. El azufre se emplea en la síntesis de proteínas y se eliminan en su degradación.
- **Compuestos Tóxicos:** La toxicidad de ciertos cationes es de gran importancia en el tratamiento y disposición de las aguas de desecho, el arsénico, boro, cobre, cromo, plata y plomo son tóxicos en varios grados a los microorganismos, y por lo tanto deben tomarse en cuenta para el diseño de una planta de tratamiento biológico.
- **Metales Pesados:** La presencia en exceso de metales pesados como magnesio, zinc, cobre, cromo, fierro, mercurio y cadmio interfiere con los usos benéficos del agua debido a su toxicidad, por lo tanto es deseable medir y controlar las concentraciones de estas sustancias.

### 2.3.2.3 Gases encontrados en las aguas residuales.

Los gases encontrados comúnmente en las aguas negras son el nitrógeno, oxígeno, dióxido de nitrógeno, estos son gases comunes de la atmósfera y se encuentran en todas las aguas expuestas al aire, el sulfuro de hidrógeno, amoníaco y metano son gases que se originan en la descomposición de la materia orgánica presente en las aguas de desecho.

## **2.4 Característica del agua después del tratamiento**

Las características finales del agua tratada son muy distintas, pues esto depende de los constituyentes físico-químicos de las aguas negras del proceso utilizado, de la finalidad del tratamiento y de la acción biológica ejercida sobre tales desechos.

# **CAPÍTULO 3**

## **TRATAMIENTOS FÍSICO - QUÍMICOS DE LAS AGUAS NEGRAS**

# **CAPÍTULO 3. TRATAMIENTOS FÍSICO - QUÍMICOS DE LAS AGUAS NEGRAS**

## **3.1 Sistemas de Tratamiento Fisicoquímicos**

Este tipo de sistemas no se ven afectados por interferencias en la misma medida que los sistemas biológicos. Las interferencias que se pueden llegar a presentar se refieren principalmente a alteraciones en las propiedades químicas y físicas del agua, tales como pH, alcalinidad, contenido de sales disueltas y temperatura. Los cambios en cualquiera de estas variables tendrán un impacto en la operación de los sistemas de coagulación-floculación; principalmente en la efectividad del coagulante, que implicará la modificación de las condiciones de operación, mientras dure el impacto.

Este tratamiento requiere de operaciones físicas unitarias para eliminar sólidos y material sedimentable, posteriormente, el agua residual se somete al proceso químico utilizando un agente de precipitación con el fin de separar la materia orgánica presente. El efluente de este tratamiento se puede pasar a la desinfección. Este método no puede eliminar completamente las bacterias patógenas que están presentes en el agua por lo que es necesario eliminarlas con algún otro método de desinfección como cloración, ésta es la más común por ser segura y económica, ya que el cloro es una sustancia sumamente activa, reacciona para darnos productos que son tóxicos para las bacterias.

Un efecto que modifica la eficiencia de los tratamientos de éste tipo, es el tiempo de retención de las aguas residuales en los sistemas de alcantarillado. Cuando se presentan zonas de estancamiento, se inicia el proceso de degradación de la materia orgánica, y mucha pasa de estar en forma suspendida, a su forma disuelta, y ya no puede ser removida con medios fisicoquímicos. Sin embargo, cuando éste efecto se alarga, los mismos microorganismos que se reproducen degradando la materia, forman flóculos que favorecen su operación.

En términos generales, el tratamiento de tipo fisicoquímico presenta gran versatilidad para ajustarse a los cambios en cantidad y calidad, por lo que son muy recomendables para comunidades que presenten grandes variaciones en las características de las aguas. Se ha observado que los tratamiento fisicoquímicos pueden ser ampliamente utilizados en Sonora,

debido a que en muchos lugares el agua residual se utiliza para riego agrícola, por lo que es deseable remover microorganismos patógenos y mantener la carga orgánica y el contenido de nutrientes. Es importante señalar que las principales informaciones son en el sentido de utilizar los efluentes de plantas de tratamiento y no en usar aguas negras crudas o mezcladas, por lo tanto el efluente de la planta de tratamiento tiene un uso benéfico en la agricultura por lo que se puede decir que reduce la carga contaminante en la corriente receptora o en el mar. Se sabe que las aguas tratadas tienen un considerable contenido de los tres principales elementos que fertilizan el suelo como son el nitrógeno, fósforo y potasio. El uso de esta agua estaría limitado principalmente por el punto de vista sanitario y por el comportamiento del agua tratada al alterar las condiciones físicas y químicas del suelo.

El principal objetivo del tratamiento físico-químico, como tratamiento primario, es la reducción hasta de 95 por ciento de los sólidos en suspensión y posiblemente el 70 por ciento de la demanda bioquímica de oxígeno por medio de tratamiento fisicoquímico. En algunos casos como consecuencia del tratamiento, se pueden obtener reducciones importantes de fósforo, ciertos metales pesados, etc., lo cual puede llegar a constituir la razón principal para la adopción de este tipo de tratamientos. De todas formas, este tipo de tratamiento está cada vez más en desuso debido a sus bajos niveles de depuración y su alto costo frente a tratamientos alternativos como los biológicos.

Después del pretratamiento el agua queda limpia de arenas, grandes sólidos pero no de partículas coloidales que además suelen ser muy estables y no se agregan entre sí, por lo cual se hacen difícil de separar. El tratamiento físico-químico consigue que estos coloides se agreguen mediante la adición de un coagulante (generalmente  $\text{FeCl}_3$ ) y de ésta manera se forman coágulos, que más tarde se asocian, mediante la adición de un polielectrolito (macromolécula) dando como resultado unos flóculos. Estos flóculos tienen un tamaño y un peso suficiente como para que sedimenten y así se pueden separar del agua en una decantación posterior.

Hace tan solo unos años, el tratamiento de las depuradoras acababa después de una decantación, para que decantaran los flóculos formados anteriormente. El agua quedaba limpia de grandes sólidos y pequeñas partículas, pero no de materia orgánica. Al salir de aquí tenía una calidad bastante mala que dejaba los ríos bastante contaminados, por lo que se ha optado por tratamientos alternativos.

### 3.2 Alteraciones físicas del agua

Alteraciones físicas	Características y contaminación que indica
Color	<p>El agua no contaminada suele tener ligeros colores rojizos, pardos, amarillentos o verdosos, debido principalmente a los compuestos húmicos, férricos o los pigmentos verdes de las algas que contienen.</p> <p>Las aguas contaminadas pueden tener muy diversos colores pero, en general, no se pueden establecer relaciones claras entre el color y el tipo de contaminación</p>
Olor y sabor	<p>Compuestos químicos presentes en el agua como los fenoles, diversos hidrocarburos, cloro, materias orgánicas en descomposición o esencias liberadas por diferentes algas u hongos pueden dar olores y sabores muy fuertes al agua, aunque estén en muy pequeñas concentraciones. Las sales o los minerales dan sabores salados o metálicos, en ocasiones sin ningún olor.</p>
Temperatura	<p>El aumento de temperatura disminuye la solubilidad de gases (oxígeno) y aumenta, en general, la de las sales. Aumenta la velocidad de las reacciones del metabolismo, acelerando la putrefacción. La temperatura óptima del agua para beber está entre 10 y 14°C.</p> <p>Las centrales nucleares, térmicas y otras industrias contribuyen a la contaminación térmica de las aguas, a veces de forma importante.</p>
Materiales en suspensión	<p>Partículas como arcillas, limo y otras, aunque no lleguen a estar disueltas, son arrastradas por el agua de dos maneras: en suspensión estable (disoluciones coloidales); o en suspensión que sólo dura mientras el movimiento del agua las arrastra. Las suspendidas coloidalmente sólo precipitarán después de haber sufrido coagulación o floculación (reunión de varias partículas)</p>
Radiactividad	<p>Las aguas naturales tienen unos valores de radiactividad, debidos sobre todo a isótopos del K. Algunas actividades humanas pueden contaminar el agua con isótopos radiactivos.</p>
Espumas	<p>Los detergentes producen espumas y añaden fosfatos al agua (eutrofización) Disminuyen mucho el poder autodepurador de los ríos al dificultar la actividad bacteriana. También interfieren en los procesos de floculación y sedimentación en las estaciones depuradoras.</p>

Conductividad	<p>El agua pura tiene una conductividad eléctrica muy baja. El agua natural tiene iones en disolución y su conductividad es mayor y proporcional a la cantidad y características de esos electrolitos. Por esto se usan los valores de conductividad como índice aproximado de concentración de solutos. Como la temperatura modifica la conductividad las medidas se deben hacer a 20°C</p>
---------------	--

Tabla No.3.1 Alteraciones físicas del agua.

### 3.3 Alteraciones químicas del agua

Alteraciones químicas	Contaminación que indica
PH	<p>Las aguas naturales pueden tener pH ácidos por el CO<sub>2</sub> disuelto desde la atmósfera o proveniente de los seres vivos; por ácido sulfúrico procedente de algunos minerales, por ácidos húmicos disueltos del mantillo del suelo. La principal sustancia básica en el agua natural es el carbonato cálcico que puede reaccionar con el CO<sub>2</sub> formando un sistema tampón carbonato/bicarbonato.</p> <p>Las aguas contaminadas con vertidos mineros o industriales pueden tener pH muy ácido. El pH tiene una gran influencia en los procesos químicos que tienen lugar en el agua, actuación de los floculantes, tratamientos de depuración, etc.</p>
Oxígeno disuelto (OD)	<p>Las aguas superficiales limpias suelen estar saturadas de oxígeno, lo que es fundamental para la vida. Si el nivel de oxígeno disuelto es bajo indica contaminación con materia orgánica, septicización, mala calidad del agua e incapacidad para mantener determinadas formas de vida.</p>
Materia orgánica biodegradable: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	<p>DBO es la cantidad de oxígeno disuelto requerido por los microorganismos para la oxidación aerobia de la materia orgánica biodegradable presente en el agua. Se mide a los cinco días. Su valor da idea de la calidad del agua desde el punto de vista de la materia orgánica presente y permite prever cuanto oxígeno será necesario para la depuración de esas aguas e ir comprobando cual está siendo la eficacia del tratamiento depurador en una planta.</p>
Materiales oxidables: Demanda Química de Oxígeno (DQO)	<p>Es la cantidad de oxígeno que se necesita para oxidar los materiales contenidos en el agua con un oxidante químico (normalmente bicromato potásico en medio ácido) Se determina en tres horas y, en la mayoría de los casos, guarda una buena relación con la DBO por lo que es de gran utilidad al no necesitar los cinco días de la DBO. Sin embargo la DQO no diferencia entre materia biodegradable y el resto y no suministra</p>

	información sobre la velocidad de degradación en condiciones naturales.
Nitrógeno total	Varios compuestos de nitrógeno son nutrientes esenciales. Su presencia en las aguas en exceso es causa de eutrofización. El nitrógeno se presenta en muy diferentes formas químicas en las aguas naturales y contaminadas.
Fósforo total	El fósforo, como el nitrógeno, es nutriente esencial para la vida. Su exceso en el agua provoca eutrofización. El fósforo total incluye distintos compuestos como diversos ortofosfatos, polifosfatos y fósforo orgánico. La determinación se hace convirtiendo todos ellos en ortofosfatos que son los que se determinan por análisis químico.

Tabla No.3.2. Alteraciones químicas del agua

# **CAPÍTULO 4**

## **PLANTAS TRATADORAS DE AGUAS NEGRAS**

## **CAPÍTULO 4. PLANTAS TRATADORAS DE AGUAS NEGRAS**

Básicamente, todo sistema de abastecimiento por complejo que sea, viene a estar constituido por cuatro fases fundamentales: Captación, Tratamiento, Distribución y Disposición de las aguas servidas. De acuerdo al uso que será destinadas las aguas deben cumplir con unos requisitos mínimos de calidad. La determinación del sistema de tratamiento de las aguas residuales depende de muchos factores según con las características de los desechos así como la calidad deseable del efluente y sobre todo los costos de construcción de la planta, y el uso que se le quiera dar al agua ya sea para riego, aprovechamiento hidroeléctrico, uso recreacional, industrial o consumo humano. Para nuestro caso las aguas que se utilizaran pertenecen a la ciudad de Hermosillo, Sonora. El tratamiento de las aguas tiene como objetivo provocar los cambios físicos, químicos y biológicos que conviertan el agua natural en agua potable.

El método de tratamiento de residuos líquidos domésticos presentan varias combinaciones de operaciones y procesos unitarios, pero los principios fundamentales no cambian y depende de las características físico-químicas del agua a tratar y del uso al que se destinará; encontrando en algunos casos, que un proceso industrial pueda recurrir a métodos de tratamientos más complejos y costosos que los que requerirían esa misma agua si fuese para el consumo humano.

## 4.1 Sistemas de Tratamiento

Para los sistemas de tratamiento de aguas domésticas se presentan varias combinaciones de operaciones y procesos unitarios, los principios de operación no cambian. Según la disposición final del agua se siguen algunos pasos como el tratamiento preliminar, tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento avanzado de las aguas residuales (que este es conocido como un tratamiento terciario).

### 4.1.1. Tratamiento Preliminar

El objetivo primordial de este tratamiento es cribar las aguas residuales para eliminar todos los objetos grandes, así como remover materiales abrasivos que podrían dañar o tapan el equipo.

El tratamiento preliminar debe ser diseñado principalmente para separar grasas y aceites, disminuir el tamaño de los sólidos orgánicos que floten o se encuentren suspendidos y también para separar los sólidos inorgánicos. El equipo más utilizado en este tratamiento, son unidades para remoción, de arenas.

### 4.1.2. Tratamiento primario

Éste es diseñado para retirar de las aguas los sólidos orgánicos e inorgánicos separables por sedimentación. La remoción de los sólidos sedimentables es el paso más importante en el tratamiento de las aguas. Las aguas residuales que entran en una depuradora contienen materiales que podrían atascar o dañar las bombas y la maquinaria. Estos materiales se eliminan por medio de enrejados o barras verticales, y se queman o se entierran tras ser recogidos manual o mecánicamente. El agua residual pasa a continuación a través de una trituradora, donde las hojas y otros materiales orgánicos son triturados para facilitar procesamiento. Este tipo de tratamiento puede hacerse en tanques circulares o rectangulares que se limitan generalmente a un ancho que está en el rango de 1.5 a 6.0 m, los de mayor de 6m presentan problemas por los mecanismos de remoción de lodos.

- Cámara de arena

En el pasado, se usaban tanques de deposición, largos y estrechos, en forma de canales, para eliminar materia inorgánica o mineral como arena, sedimentos y grava. Estas cámaras estaban diseñadas de modo que permitieran que las partículas inorgánicas de 0,2 mm o más se depositaran en el fondo, mientras que las partículas más pequeñas y la mayoría de los sólidos orgánicos que permanecen en suspensión continuaban su recorrido. Hoy en día las más usadas son las cámaras aireadas de flujo en espiral con fondo en tolva, o clarificadores, provistos de brazos mecánicos encargados de raspar. Se elimina el residuo mineral y se vierte en vertederos sanitarios. La acumulación de estos residuos puede ir de los 0,08 a los 0,23 m<sup>3</sup> por cada 3,8 millones de litros de aguas residuales.

- Sedimentación

La sedimentación consiste en la separación de las impurezas, aprovechando la fuerza de la gravedad y la coalescencia natural de las partículas. Una vez eliminada la fracción mineral sólida, el agua pasa a un depósito de sedimentación donde se depositan los materiales orgánicos, que son retirados para su eliminación. El proceso de sedimentación puede reducir de un 20 a un 40% la DBO y de un 40 a un 60% los sólidos en suspensión.

Dependiendo de las características del agua cruda, encontraremos presente sólidos que van desde los materiales gruesos que sedimentan rápidamente hasta la materia suspendidas de naturaleza coloidal que viene a constituir en gran parte los elementos que producen color y turbiedad. Este material coloidal se mantiene en suspensión en virtud de su carga eléctrica negativa.

La tasa de sedimentación se incrementa en algunas plantas de tratamiento industrial incorporando procesos llamados coagulación y floculación químicas al tanque de sedimentación.

- Coagulación

Es un proceso de desestabilización química de las partículas coloidales que se producen al neutralizar las fuerzas que los mantienen separados, por medio de la adición de los coagulantes químicos y la aplicación de la energía de mezclado.

La coagulación es el tratamiento mas eficaz pero también es el que representa un gasto elevado cuando no está bien realizado. Es igualmente el método universal porque elimina una gran cantidad de sustancias de diversas naturalezas y de peso de materia que son eliminados al menor costo, en comparación con otros métodos.

El proceso de coagulación mal realizado también puede conducir a una degradación rápida de la calidad del agua y representa gastos de operación no justificadas. Por lo tanto que se considera que la dosis del coagulante condiciona el funcionamiento de las unidades de decantación y que es imposible de realizar una clarificación, si la cantidad de coagulante esta mal ajustada.

Los principales coagulantes utilizados para desestabilizar las partículas y producir el floc son:

- a) Sulfato de Aluminio.
- b) Aluminato de Sodio.
- c) Cloruro de Aluminio.
- d) Cloruro Férrico.
- e) Sulfato Férrico.
- f) Sulfato Ferroso.
- g) Poli electrólitos (Como ayudantes de floculación).

Cuando se adiciona estas sales al agua se producen una serie de reacciones muy complejas donde los productos de hidrólisis son más eficaces que los iones mismos; estas sales reaccionan con la alcalinidad del agua y producen los hidróxidos de aluminio o hierro que son insolubles y forman los precipitados.

- Floculación

La floculación es el proceso que sigue a la coagulación, que consiste en la agitación de la masa coagulada que sirve para permitir el crecimiento y aglomeración de los flóculos recién

formados con la finalidad de aumentar el tamaño y peso necesarios para sedimentar con facilidad.

El objetivo de la floculación en la segunda etapa de la mezcla que corresponde a una mezcla lenta tiene por objeto permitir los contactos entre los flóculos, la turbiedad y el color, la mezcla debe ser lo suficiente para crear diferencias de velocidad del agua dentro de la unidad pero no muy grande, ya que los flóculos corren el riesgo de romperse; aún si el tiempo es no mas del tiempo óptimo de floculación.

- Coagulación-Floculación

Esta fase constituye la base primordial de todo proceso de tratamiento integral, sin una floculación efectiva el resto del proceso se vera mermado en su eficiencia, lo que obliga a una cuidadosa atención de esta fase. La floculación inmediata a una coagulación química del agua tiene por objetivo la remoción de: turbiedad orgánica e inorgánica, color real y aparente, bacteria y otros patógenos, algas y otros organismos planctónicos, sustancias productoras de olores y sabores

Ambos procesos eliminan más del 80% de los sólidos en suspensión.

- Filtración

Constituye una fase fundamental del proceso del tratamiento de las aguas. Esta fase sigue a la clarificación o bien a la floculación cuando no hay clarificación en aguas con turbiedad muy bajas con gran contenido de materia orgánica o vegetal, puede justificarse el empleo de microtamizadores para prescindir de la filtración convencional. Cuando las impurezas son separadas del agua a través de un filtro, se precipitan o se posan en las intersecciones existentes entre los granos del lecho filtrantes, por fenómenos principalmente de masa o de absorción, reduciendo así la porosidad efectiva y aumentando la resistencia del lecho al paso del agua.

- Flotación

Una alternativa a la sedimentación, utilizada en el tratamiento de algunas aguas residuales, es la flotación, en la que se fuerza la entrada de aire en las mismas, a presiones de entre 1,75 y 3,5 kg por cm<sup>2</sup>. El agua residual, supersaturada de aire, se descarga a continuación en un depósito abierto. En él, la ascensión de las burbujas de aire hace que los sólidos en suspensión suban a la superficie, de donde son retirados. La flotación puede eliminar más de un 75% de los sólidos en suspensión.

- Digestión

La digestión es un proceso microbiológico que convierte el lodo, orgánicamente complejo, en metano, dióxido de carbono y un material inofensivo similar al humus. Las reacciones se producen en un tanque cerrado o digestor, y son anaerobias, esto es, se producen en ausencia de oxígeno. La conversión se produce mediante una serie de reacciones. En primer lugar, la materia sólida se hace soluble por la acción de enzimas. La sustancia resultante fermenta por la acción de un grupo de bacterias productoras de ácidos, que la reducen a ácidos orgánicos sencillos, como el ácido acético. Entonces los ácidos orgánicos son convertidos en metano y dióxido de carbono por bacterias. Se añade lodo espesado y calentado al digestor tan frecuentemente como sea posible, donde permanece entre 10 y 30 días hasta que se descompone. La digestión reduce el contenido en materia orgánica entre un 45 y un 60 por ciento.

- Desecación

El lodo digerido se extiende sobre lechos de arena para que se seque al aire. La absorción por la arena y la evaporación son los principales procesos responsables de la desecación. El secado al aire requiere un clima seco y relativamente cálido para que su eficacia sea óptima, y algunas depuradoras tienen una estructura tipo invernadero para proteger los lechos de arena. El lodo desecado se usa sobre todo como acondicionador del suelo; en ocasiones se usa como fertilizante, debido a que contiene un 2% de nitrógeno y un 1% de fósforo.

#### 4.1.3 Tratamiento secundario

Una vez eliminados de un 40 a un 60% de los sólidos en suspensión y reducida de un 20 a un 40% la DBO por medios físicos en el tratamiento primario, el tratamiento secundario reduce la cantidad de materia orgánica en el agua. Por lo general, los procesos microbianos empleados son aeróbicos, es decir, los microorganismos actúan en presencia de oxígeno disuelto. El tratamiento secundario supone, de hecho, emplear y acelerar los procesos naturales de eliminación de los residuos. En presencia de oxígeno, las bacterias aeróbicas convierten la materia orgánica en formas estables, como dióxido de carbono, agua, nitratos y fosfatos, así como otros materiales orgánicos. La producción de materia orgánica nueva es un resultado indirecto de los procesos de tratamiento biológico, y debe eliminarse antes de descargar el agua en el cauce receptor.

Hay diversos procesos alternativos para el tratamiento secundario, incluyendo el filtro de goteo, el lodo activado y las lagunas de oxidación.

- Filtro de goteo

En este proceso, una corriente de aguas residuales se distribuye intermitentemente sobre un lecho o columna de algún medio poroso revestido con una película gelatinosa de microorganismos que actúan como agentes destructores. La materia orgánica de la corriente de agua residual es absorbida por la película microbiana y transformada en dióxido de carbono y agua. El proceso de goteo, cuando va precedido de sedimentación, puede reducir cerca de un 85% la DBO.

- Lodo activado

El proceso de los lodos activados es el método más empleado en el tratamiento secundario es el proceso biológico de más amplio uso para el tratamiento de aguas residuales, orgánicas e inorgánicas.

Se trata de un proceso aeróbico en el que partículas gelatinosas de lodo quedan suspendidas en un tanque de aireación y reciben oxígeno. Las partículas de lodo activado, llamadas *floc*, están compuestas por millones de bacterias en crecimiento activo aglutinadas por una sustancia gelatinosa. El *floc* absorbe la materia orgánica y la convierte en productos aeróbicos. La reducción de la DBO fluctúa entre el 60 y el 85 por ciento. Un importante

acompañante en toda planta que use lodo activado o un filtro de goteo es el clarificador secundario, que elimina las bacterias del agua antes de su descarga.

- Estanque de estabilización o laguna

Otra forma de tratamiento biológico es el estanque de estabilización o laguna, que requiere una extensión de terreno considerable y, por tanto, suelen construirse en zonas rurales. Las lagunas opcionales, que funcionan en condiciones mixtas, son las más comunes, con una profundidad de 0,6 a 1,5 m y una extensión superior a una hectárea, esto es con la finalidad de que todo el volumen reciba energía solar. En la zona del fondo, donde se descomponen los sólidos, las condiciones son anaerobias; la zona próxima a la superficie es aeróbica, permitiendo la oxidación de la materia orgánica disuelta y coloidal. Puede lograrse una reducción de la DBO de un 75 a un 85 %.

#### 4.1.4. Tratamiento avanzado de las aguas residuales

Si el agua que ha de recibir el vertido requiere un grado de tratamiento mayor que el que puede aportar el proceso secundario, o si el efluente va a reutilizarse, es necesario un tratamiento avanzado de las aguas residuales. A menudo se usa el término tratamiento *terciario* como sinónimo de tratamiento avanzado, pero no son exactamente lo mismo. El tratamiento terciario, o de tercera fase, suele emplearse para eliminar el fósforo, este tratamiento se utiliza cuando es necesario que la corriente de desperdicios cumpla con requerimientos gubernamentales muy estrictos, es decir, cumplir con los estándares de agua potable, esto puede requerir uno ó más procesos como por ejemplo: la desinfección (cloración) y filtración rápida con carbón activado.

- Desinfección

La presencia de infinidad de microorganismos de las aguas entre las cuales se encuentran gran cantidad de ellos que son indispensables en las aguas potables, por diferentes razones hace necesario un proceso de desinfección entre los que podemos mencionar la cloración, ozonización, el uso de permanganato de potasio usado hacia la destrucción de materia orgánica. En nuestro país se usa fundamentalmente el cloro, que permite su aplicación bajo diferentes formas como son las soluciones concentradas de cloro, hipoclorito de calcio,

bióxido de cloro y la combinación cloro-amonio. Básicamente en nuestro planeta se desinfecta a base de soluciones concentradas de cloro gas y de hipoclorito de calcio.

Mientras que el tratamiento avanzado podría incluir pasos adicionales para mejorar la calidad del efluente eliminando los contaminantes recalcitrantes. Hay procesos que permiten eliminar más de un 99% de los sólidos en suspensión y reducir la DBO en similar medida. Los sólidos disueltos se reducen por medio de procesos como la ósmosis inversa y la electrodiálisis. La eliminación del amoníaco, la desnitrificación y la precipitación de los fosfatos pueden reducir el contenido en nutrientes. Si se pretende la reutilización del agua residual, la desinfección por tratamiento con ozono es considerada el método más fiable, excepción hecha de la cloración extrema. Es probable que en el futuro se generalice el uso de estos y otros métodos de tratamiento de los residuos a la vista de los esfuerzos que se están haciendo para conservar el agua mediante su reutilización.

El tratamiento primario convencional más el tratamiento secundario, el tratamiento terciario y la desinfección resultan en la reducción significativa de la contaminación por indicadores y/o patógenos. Las principales operaciones para obtener agua tratada para consumo humano implica las siguientes fases: Desinfección (Cloración), Coagulación-Floculación, Sedimentación, Filtración. Se debe apuntar, sin embargo que algunos tratamientos, particularmente la desinfección (en particular, la cloración), puede afectar la validez de la evaluación de riesgos debido a una posible atenuación entre los organismos indicadores y patógenos dentro de los sistemas de tratamiento, llevándonos a subestimar los riesgos, particularmente con los virus entéricos y los *Cryptosporidium* resistentes a la desinfección.

## 4.2 Depuradora o Edar

Es una instalación donde el agua sucia se somete a un proceso en el que, por combinación de diversos tratamientos físicos, químicos y/o biológicos, se consigue eliminar en primer lugar las materias en suspensión, las sustancias coloidales y, finalmente, las sustancias disueltas.

El agua sucia se vierte al alcantarillado por industrias y zonas urbanas. El agua llega a la estación depuradora a través de un sistema de colectores. El tratamiento se inicia en el bombeo de entrada, donde el agua es impulsada a una cota que le permitirá circular por diferentes elementos de la planta.

Unas rejillas de desbaste retienen la suciedad sólida más gruesa: se trata del desbaste de gruesos. La operación se repite con tamices más espesos, que forman el desbaste de finos. El pretratamiento continúa y acaba en el desarenador-desengrasador donde, por procesos mecánicos, se hunden las arenas y flotan las grasas. En casos de fuertes contaminaciones industriales, se añaden coagulantes químicos y se produce la floculación: ello favorece la decantabilidad de la materia en suspensión.

El siguiente paso consiste en separar por medios físicos los detritos (constituyentes de la materia en suspensión) en el decantador primario, en cuyo fondo se pretende depositen los fangos primarios. La carga contaminante restante se elimina por medios biológicos, ya que determinadas bacterias se alimentan de la materia orgánica, tanto disuelta como en suspensión. Para ello necesitamos un depósito llamado reactor biológico y una aportación de oxígeno. En el edificio de sopladores se aporta al reactor biológico el aire que las bacterias necesitan para poder asimilar la materia orgánica.

Por su peso, los biosólidos formados en el reactor se depositan en el fondo del decantador secundario y así se separan del agua (fangos secundarios) El agua ya limpia retorna a la naturaleza y continúa su ciclo.

### **4.3 Tratamiento Por Electrocoagulación.**

Se llama Electrocoagulación al proceso de desestabilizar contaminantes suspendidos, emulsificados o disueltos en un medio acuoso, haciendo pasar una corriente eléctrica a través del mismo.

La corriente eléctrica proporciona la fuerza electromotriz que provoca las reacciones químicas.

Al provocar o forzar estas reacciones, los elementos contaminantes en el medio, se aproximan a su estado más estable.

Generalmente, este estado estable produce partículas sólidas que son menos coloidales y menos emulsificadas (o solubles) que al estado de equilibrio.

Cuando esto ocurre, los contaminantes forman componentes hidrofóbicos que se precipitan y se pueden remover fácilmente por algún método de separación secundaria.

En otras palabras:

La Electrocoagulación utiliza corriente directa para hacer que los iones de sacrificio de los electrodos eliminen contaminantes indeseados, sea mediante reacción química y precipitación o provocando que los materiales coloidales se aglomeren y sean eliminados por flotación electrolítica.

Este sistema electroquímico ha demostrado que puede manejar una gran variedad de aguas de desecho, tales como: desperdicio de molinos de papel, de electro plateado metálico, de peleterías, de fábricas de envasado, de molinos de acero, de rastros, efluentes con contenidos de cromo, plomo y mercurio, así como las aguas negras domésticas.

Estas aguas se convierten en agua clara, limpia, sin olor y lista para reutilizarse. En la mayoría de los casos, especialmente en el caso de las aguas negras domésticas, resulta que el agua tratada es mejor aun que el agua que produjo esta agua negra inicialmente.

En el proceso de Electrocoagulación, una corriente eléctrica es inducida en el agua a través de placas metálicas paralelas de materiales diversos que optimicen el proceso de remoción. Dos de los metales más utilizados son el fierro y el aluminio.

#### 4.3.1 Aplicación del proceso de electrocoagulación en el Tratamiento de Aguas Negras.

Mediante la aplicación de la técnica de electrocoagulación en el tratamiento de aguas negras y lodos provenientes del desagüé, se ha logrado fijar y estabilizar los sólidos lo suficiente como para que puedan ser utilizados como abono o relleno sanitario. Las ventajas de la electrocoagulación son: purificación del aire, permite su reciclaje, ahorra agua en lugares áridos y reduce la contaminación de arroyos, ríos lagunas y mares.

# **CAPÍTULO 5**

## **CALIDAD DE LAS AGUAS TRATADAS**

# CAPÍTULO 5. CALIDAD DE LAS AGUAS TRATADAS

## 5.1 Calidad del Agua

Para determinar la calidad de un agua es necesario analizar los parámetros:

### 5.1.1 Parámetros físicos.

- Características organolépticas (olor, color y sabor)

La coloración de un agua puede clasificarse en verdadera o real cuando se debe sólo a las sustancias que tiene en solución, y aparente cuando su color es debido a las sustancias que tiene en suspensión. Los colores real y aparente son casi idénticos en el agua clara y en aguas de escasa turbidez. La coloración de un agua se compara con la de soluciones de referencia de platino-cobalto en tubos colorimétricos, o bien con discos de vidrio coloreados calibrados según los patrones mencionados.

El olor puede ser definido como el conjunto de sensaciones percibidas por el olfato al captar ciertas sustancias volátiles. El procedimiento normalmente utilizado es el de ir diluyendo el agua e examinar hasta que o presente ningún olor perceptible. El resultado se da como un número que expresa el límite de percepción del olor, y corresponde a la dilución que da olor perceptible. Debido al carácter subjetivo de la medida, es recomendable que la medida la realicen al menos dos personas distintas, comparando la percepción con la de un agua desodorizada. Debe evitarse, como es lógico, en todo lo posible, la presencia de otros olores en el ambiente.

Por último, la evaluación del sabor, se realiza por degustación del agua a examinar, comenzando por grandes diluciones, que se van disminuyendo hasta la aparición del sabor. Este ensayo no se realiza más que en aguas potables.

- Temperatura (la temperatura óptima es de 8-15°C)

La temperatura ha de medirse con un termómetro de precisión graduado en décimas de grado. La lectura se hace desusé de una inmersión de diez minutos. Si no es posible realizar la operación directamente, puede tomarse un volumen de agua entre 5 y 10 litros e introducir el termómetro inmediatamente.

- Conductividad Eléctrica:

Se define como la conductancia de una columna da agua comprendida entre dos electrodos metálicas paralelos. La medida se realiza en un donductímetro, basa en el principio de puente de Wheatstone. Se genera una diferencia de potencial de corriente alterna entre los dos electrodos, para evitar las electrólisis en la disolución, aunque algunos dispositivos emplean normalmente corriente continúa.

- Turbidez:

La turbidez de un agua se debe a la presencia de materias en suspensión. Finamente divididas; arcillas, limos, partículas de sílice, materias inorgánicas. La determinación de la turbidez tiene un gran interés como parámetro de control en aguas contaminadas y residuales. Se puede evaluar en el campo o en el laboratorio.

### 5.1.2 Parámetros químicos.

- Parámetros orgánicos: miden la cantidad de materia orgánica que hay en el agua.

DBO (demanda bioquímica del O<sub>2</sub>): Mide el oxígeno disuelto utilizado por los microorganismos en la oxidación bioquímica de la materia. El periodo de incubación tras el cual se realiza la medición suele ser de 5 días, comparándose el valor obtenido con el original presente en la muestra. Se determina así la

cantidad aproximada de oxígeno utilizado que se requerirá para degradar biológicamente la materia orgánica.

DQO (demanda química de oxígeno): Mide el oxígeno disuelto requerido para oxidar la materia mediante un agente químico. Mide la cantidad de materia orgánica total (la biodegradable y la no biodegradable)

- Parámetros inorgánicos: los más usuales son el pH y la concentración de sales.
  
- Gases: los gases presentes habitualmente en las aguas naturales son el nitrógeno, oxígeno y dióxido de carbono, que son gases comunes en a atmósfera, mientras que en las aguas residuales hay sulfuro de hidrógeno, metano y amoniaco, que procede de la descomposición de la materia orgánica. Por otro lado, en las aguas desinfectadas se puede encontrar cloro y ozono.

# **CAPÍTULO 6**

## **PROPUESTAS DE PLANTA TRATADORA DE AGUAS RESIDUALES**

## **CAPÍTULO 6. PROPUESTAS DE PLANTA TRATADORA DE AGUAS RESIDUALES**

De acuerdo al diseño y datos económicos según la producción de aguas negras en las zonas en las que se dividió la ciudad, a cuyas aguas se le realizaron análisis para determinar la turbidez, salinidad, conductividad, sólidos disueltos y ph., constará de los siguientes equipos:

1. Sistema de retención en la toma de agua del drenaje municipal.
2. Floculador-coagulador.
3. Filtro de arena.
4. Filtro de carbón activado.
5. Bomba centrífuga.
6. Recipiente de clorinación.

En la primera propuesta se colocará la planta pendiente abajo de acuerdo a la condición topográfica del terreno, en un rango de inclinación de 2.5 a 4 grados, para aprovechar la aceleración de la gravedad. En la toma del agua del drenaje se colocará una malla de 1 cm de diámetro de material anticorrosivo para filtrar el agua de posibles partículas de gran tamaño, donde periódicamente se limpiara la malla.

Del sistema de retención del agua del drenaje municipal se extrae un gasto de 4.375 m<sup>3</sup>/hr los cuales son enviados al floculador-coagulador. En este último las partículas se aglutinan física y químicamente precipitándose al fondo, el agua producto es enviada a los filtros de arena y carbón activado en los cuales se retienen las partículas pequeñas a la vez que, se le quita color y olor. El agua procedente de los filtros es enviada a un recipiente esférico con agitador, añadiéndosele al agua cloro para desinfectar y ser utilizada en actividades que no requieran agua potable con las características que dicta la norma.

En la segunda propuesta se utilizará un sistema de bombeo. Esta segunda propuesta será viable para las colonias que no cuenten con pendiente suficiente para la primera propuesta o bien que se encuentren en zonas planas.

## DIAGRAMA DE LA PRIMERA PROPUESTA DE PLANTA TRATADORA DE AGUAS RESIDUALES

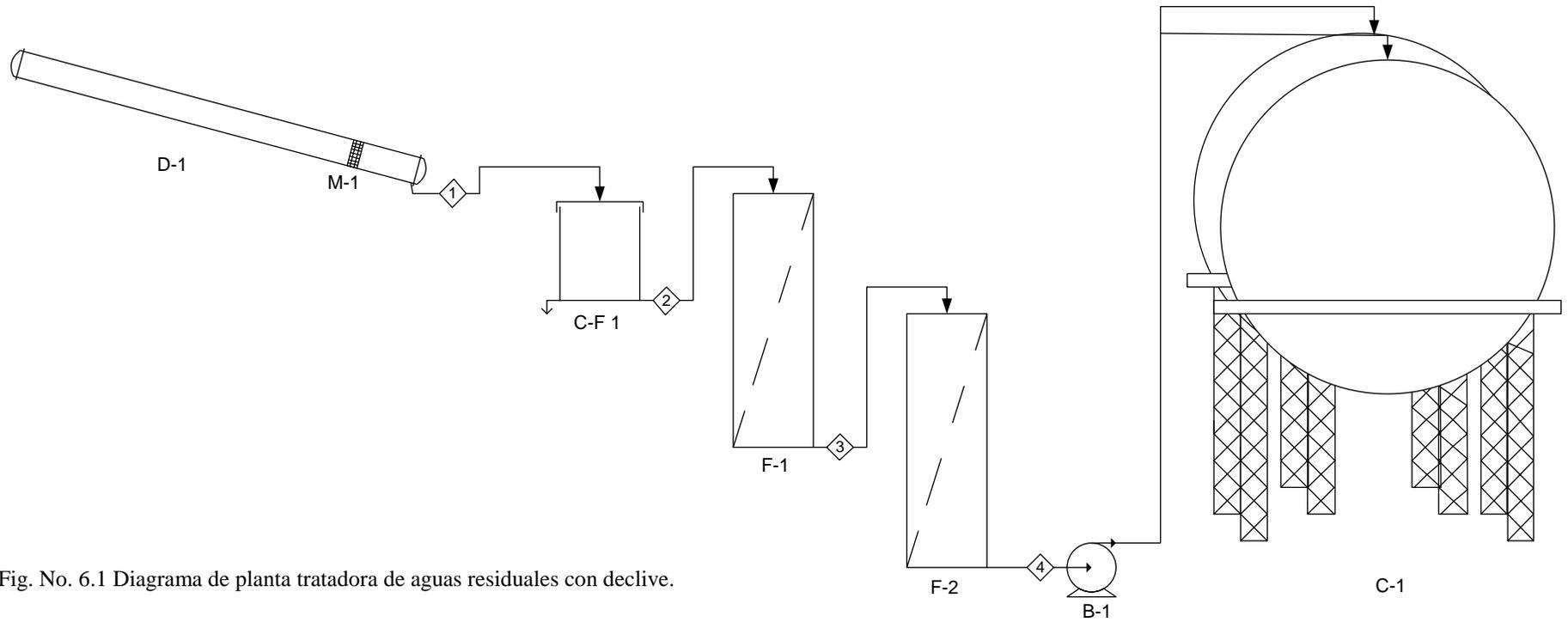


Fig. No. 6.1 Diagrama de planta tratadora de aguas residuales con declive.

SIGLAS	NOMBRE DEL EQUIPO
D-1	Drenaje.
C-F -1	Floculador-Coagulador.
F-1	Filtro de Arena.
F-2	Filtro de Carbón activado.
C-1	Clorinador y Tanque de Almacenamiento.
M-1	Malla para filtrar el agua residual.
B-1	Bomba centrifuga.

Línea	Flujo	1	2	3	4
1	Agua Residual	0.04 pie <sup>3</sup> /seg			
2	Agua Floculada		0.04 pie <sup>3</sup> /seg		
3	Agua salida de filtro de arena.			0.04 pie <sup>3</sup> /seg	
4	Agua salida carbón activado.				0.04 pie <sup>3</sup> /seg

## DIAGRAMA DE LA SEGUNDA PROPUESTA DE PLANTA TRATADORA DE AGUAS RESIDUALES

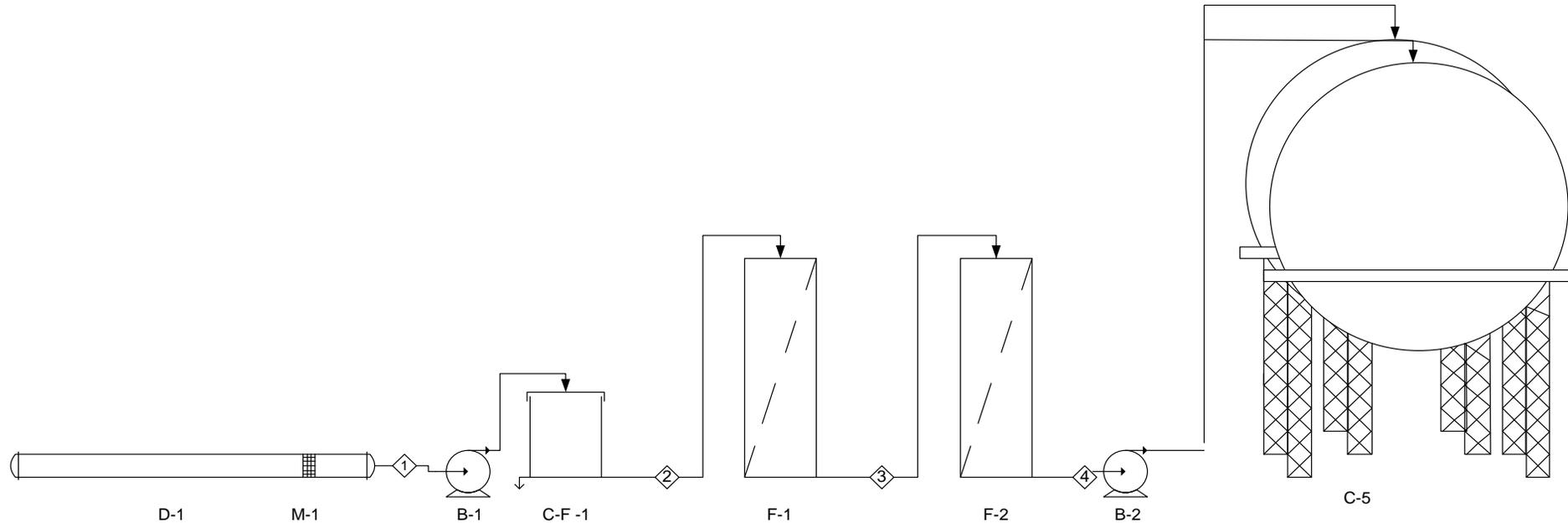


Fig. No. 6.2 Diagrama de planta tratadora de aguas residuales con sistema de bombeo.

SIGLAS	NOMBRE DEL EQUIPO
D-1	Drenaje.
F-C-1	Floculador-Coagulador.
F-1	Filtro de Arena.
F-2	Filtro de Carbón activado.
C-1	Clorinador y Tanque de Almacenamiento.
M-1	Malla para filtrar el agua residual.
B-1 y B-2	Bombas Centrifugas.

Línea	Flujo	1	2	3	4
Agua Residual		0.04 pie <sup>3</sup> /seg			
Agua Floculada			0.04 pie <sup>3</sup> /seg		
Agua salida de filtro de arena.				0.04 pie <sup>3</sup> /seg	
Agua salida carbón activado.					0.04 pie <sup>3</sup> /seg

## 6.1 Calculo del flujo para las dos propuestas de las plantas tratadoras de aguas residuales.

Una persona se estima que utiliza 175 litros de agua al día:

- Baño (regadera): 36 litros
- WC: 15 litros
- Lavamanos: 6 litros
- Lavatrastos: 30 litros
- Lavadero: 23 litros
- Alimentos 4 litros
- Jardín: 25 litros
- Auto: 15 litros
- Riego de patio: 15 litros
- Beber: 4 litros
- Mascota: 2litros

Suponiendo familias de 4 personas seria 700 litros diarios por familia y suponiendo 50 familias por colonia serian 35 000 litros y eso seria igual a  $35 \text{ m}^3/\text{día}$  y en 4 días tendríamos  $140 \text{ m}^3/4 \text{ días}$ .

Los  $140 \text{ m}^3/4\text{días}$  que es la cantidad de agua tratada que se desea almacenar en 2 tanques de  $70\text{m}^3$  cada uno.

Si los  $140 \text{ m}^3$  lo dividimos entre 8 hr que es el tiempo de operación de la planta diariamente resultara un flujo de  $4.375 \text{ m}^3/\text{hr}$ .

**CAPÍTULO 7**

**RESULTADOS**

**EXPERIMENTALES PARA**

**UTILIZARSE EN EL DISEÑO DE**

**EQUIPO.**

## **CAPÍTULO 7. RESULTADOS EXPERIMENTALES PARA UTILIZARSE EN EL DISEÑO DE EQUIPO.**

Los siguientes grupos de datos muestran los resultados que se obtuvieron al utilizar diferentes porciones de floculante en muestras de aguas negras que dieron como resultados valores de turbidez, Ph, conductividad, TDS, salinidad.

Como se observa en la colonia “Colinas”, ubicada en la zona norte de la ciudad de Hermosillo para una cantidad, de 0.8 gr/l se obtuvo una turbidez mínima de 1.245 y para una concentración de Ph de 0.2 gr/l de floculante se obtuvo un Ph de 6.44 que es un buen valor. El análisis se hará en función de encontrar una mejor interrelación entre las características físicas de las aguas negras.

**ZONA NORTE**

<b>Turbidez (UTN)</b>						
Colinas (Agua con Floculante)	30.15	7.98	4.28	5.985	5.905	6.61
Colinas (Agua Filtrada)	20.6	5.115	1.405	1.245	1.27	2.205
Los Cortijos (Agua con Floculante)	11.85	10.03	8.145	8.875	11.97	14.39
Los Cortijos (Agua Filtrada)	3.55	1.88	1.015	1.045	1.245	1.815
Camino Real (Agua con Floculante)	13.65	12.04	11.46	10.065	9.69	9.48
Camino Real (Agua Filtrada)	3.565	2.95	2.285	1.64	1.665	1.845
Concentración	0.2	0.4	0.6	0.8	1	1.2

Tabla No. 7.1 Datos de turbidez.

<b>pH</b>						
Colinas (Agua con Floculante)	6.54	6.14	5.594	4.675	4.65	4.19
Colinas (Agua Filtrada)	6.44	6.3	6.2	6.045	6	5.665
Los Cortijos (Agua con Floculante)	10.03	9.12	8.145	8.875	9.21	10.02
Los Cortijos (Agua Filtrada)	3.55	1.88	1.015	1.045	1.245	1.815
Camino Real (Agua con Floculante)	6.835	6.41	5.53	4.995	4.715	4.21
Camino Real (Agua Filtrada)	6.665	6.475	6.32	6.2	6.03	5.99
Concentración	0.2	0.4	0.6	0.8	1	1.2

Tabla No. 7.2 Datos de ph.

<b>Conductividad (µS)</b>						
Colinas (Agua con Floculante)	1537.5	1529	1492.5	1427	1396	1429
Colinas (Agua Filtrada)	1421	1517	1561.5	1566	1516.6	1606.5
Los Cortijos (Agua con Floculante)	1369	1347.5	1341	1305	1289.5	1288.5
Los Cortijos (Agua Filtrada)	1427.5	1338	1370	1379	1331.5	1363.5
Camino Real (Agua con Floculante)	1496.5	1469.5	1454.5	1427.5	1383	1373
Camino Real (Agua Filtrada)	1481	1492.5	1514	1495.5	1509	1530.5
Concentración	0.2	0.4	0.6	0.8	1	1.2

Tabla No. 7.3 Datos de conductividad.

<b>TDS (ppm)</b>						
Colinas (Agua con Floculante)	759	746	730.5	688	682.5	690.5
Colinas (Agua Filtrada)	691.5	743.5	759.5	766	738.5	786.5
Los Cortijos (Agua con Floculante)	688	646	652.5	646	622	629.5
Los Cortijos (Agua Filtrada)	695.5	651	668.5	672.5	649	662
Camino Real (Agua con Floculante)	740	727	712.5	706.5	676	656
Camino Real (Agua Filtrada)	677	737	689	698	641	677
Concentración	0.2	0.4	0.6	0.8	1	1.2

Tabla No. 7.4 Datos de TDS.

<b>Salinidad (gr/l)</b>						
Colinas (Agua con Floculante)	0.8	0.75	0.75	0.7	0.7	0.7
Colinas (Agua Filtrada)	0.75	0.7	0.7	0.7	0.65	0.65
Los Cortijos (Agua con Floculante)	0.7	0.65	0.65	0.65	0.7	0.7
Los Cortijos (Agua Filtrada)	0.7	0.65	0.65	0.65	0.6	0.6
Camino Real (Agua con Floculante)	0.75	0.75	0.7	0.7	0.75	0.75
Camino Real (Agua Filtrada)	0.75	0.65	0.65	0.65	0.7	0.7
Concentración	0.2	0.4	0.6	0.8	1	1.2

Tabla No. 6.5 Datos de salinidad.

**ZONA CENTRO**

<b>Turbidez (UTM)</b>						
Centenario (Agua con Floculante)	6.445	7.14	8.94	11.64	13.64	19.1
Centenario (Agua Filtrada)	5.42	3.23	2.42	2.35	3.2	4.6
Los Portales (Agua con Floculante)	9.34	9.88	9.7	14.1	20.75	28.75
Los Portales (Agua Filtrada)	1.84	1.82	1.09	1.605	2.28	4.93
Los Naranjos (Agua con Floculante)	11.79	10.28	8.98	10.68	16	21.35
Los Naranjos (Agua Filtrada)	6.195	4	4.155	4.335	5.9	7.375
Concentración	0.2	0.4	0.6	0.8	1	1.2

Tabla No. 7.6 Datos de turbidez.

<b>pH</b>						
Centenario (Agua con Floculante)	6.816	6.54	6.27	5.76	5.465	4.85
Centenario (Agua Filtrada)	6.25	6.29	6.14	5.774	5.855	5.645
Los Portales (Agua con Floculante)	6.605	6.215	5.93	5.495	5.165	4.555
Los Portales (Agua Filtrada)	6.285	6.105	5.95	5.845	5.815	5.905
Los Naranjos (Agua con Floculante)	7.02	6.8	6.435	6.29	5.995	5.78
Los Naranjos (Agua Filtrada)	6.785	6.73	6.65	6.71	6.685	6.695
Concentración	0.2	0.4	0.6	0.8	1	1.2

Tabla No. 7.7 Datos de pH.

<b>Conductividad (<math>\mu</math>S)</b>						
Centenario (Agua con Floculante)	1037.5	770.5	663.5	662	646.5	540
Centenario (Agua Filtrada)	1350	1192	1126	1095	1108	1114
Los Portales (Agua con Floculante)	1161.5	1100	1062	779.5	723.5	715.8
Los Portales (Agua Filtrada)	1172	1145.5	1149	1109.5	1125	1127
Los Naranjos (Agua con Floculante)	1029	981	958.5	955.5	961.5	973
Los Naranjos (Agua Filtrada)	1080	1041.5	1051	1060.5	1078.5	1102.5
Concentración	0.2	0.4	0.6	0.8	1	1.2

Tabla No. 7.8 Datos de conductividad.

<b>TDS (UTM)</b>						
Centenario (Agua con Floculante)	523.5	382	248	238.5	261	193
Centenario (Agua Filtrada)	661.5	520.5	410	297.5	293	281
Los Portales (Agua con Floculante)	551.5	538	516.5	376	249.5	347.5
Los Portales (Agua Filtrada)	572.5	558	546.5	545	409.5	391
Los Naranjos (Agua con Floculante)	412	266	164	171	149	132
Los Naranjos (Agua Filtrada)	580.5	399	302	242	214.5	179.5
Concentración	0.2	0.4	0.6	0.8	1	1.2

Tabla No. 7.9 Datos de TDS.

<b>Salinidad (gr/l)</b>						
Centenario (Agua con Floculante)	0.6	0.4	0.45	0.5	0.5	0.35
Centenario (Agua Filtrada)	0.5	0.35	0.4	0.4	0.3	0.2
Los Portales (Agua con Floculante)	0.55	0.5	0.5	0.4	0.35	0.35
Los Portales (Agua Filtrada)	0.55	0.55	0.55	0.55	0.5	0.4
Los Naranjos (Agua con Floculante)	0.6	0.55	0.55	0.5	0.5	0.5
Los Naranjos (Agua Filtrada)	0.5	0.45	0.4	0.4	0.3	0.25
Concentración	0.2	0.4	0.6	0.8	1	1.2

Tabla No. 6.10 Datos de salinidad.

**ZONA SUR**

<b>Turbidez (UTM)</b>						
Cuahutemoc (Agua con Floculante)	124.25	79.325	49.92	40.235	31.1	32.8
Cuahutemoc (Agua Filtrada)	77.76	47.485	28.68	20.75	16.4	22.05
Villa de Seris (Agua con Floculante)	14.63	9.05	7.91	9.61	13.7	17.35
Villa de Seris (Agua Filtrada)	3.06	2.19	1.635	1.92	4.415	7.03
Las Minitas (Agua con Floculante)	11.75	8.57	7.365	7.79	7.81	7.39
Las Minitas (Agua Filtrada)	4.535	2.215	1.86	1.995	2.06	2.465
Concentración	0.2	0.4	0.6	0.8	1	1.2

Tabla No. 7.11 Datos de turbidez.

<b>pH</b>						
Cuahutemoc (Agua con Floculante)	6.335	6.03	5.83	5.5	5	4.67
Cuahutemoc (Agua Filtrada)	6.195	6.055	5.95	5.76	5.785	5.65
Villa de Seris (Agua con Floculante)	6.345	6.135	5.795	5.495	5.055	4.585
Villa de Seris (Agua Filtrada)	6.25	6.08	5.935	5.89	5.86	5.935
Las Minitas (Agua con Floculante)	6.185	5.92	5.545	5.14	4.715	4.545
Las Minitas (Agua Filtrada)	6.12	5.915	5.86	5.79	5.92	6.095
Concentración	0.2	0.4	0.6	0.8	1	1.2

Tabla No. 7.12 Datos de ph.

<b>Conductividad (<math>\mu</math>S)</b>						
Cuahutemoc (Agua con Floculante)	1663	1782	1895.5	1958	1970	1890
Cuahutemoc (Agua Filtrada)	1695	1894	1987	2081	2135	2194
Villa de Seris (Agua con Floculante)	1435.5	1419	1428	1444	1444.5	1482.5
Villa de Seris (Agua Filtrada)	1440.5	1469.5	1511	1576	1590.5	1614
Las Minitas (Agua con Floculante)	1435.5	1406	1411.5	1414	1434.5	1455
Las Minitas (Agua Filtrada)	1442	1460	1498.5	1545.5	1566.5	1610
Concentración	0.2	0.4	0.6	0.8	1	1.2

Tabla No. 7.13 Datos de conductividad.

<b>TDS (ppm)</b>						
Cuahutemoc (Agua con Floculante)	853	914	938	965	939	945
Cuahutemoc (Agua Filtrada)	896	936	1023	1080	1000	1012
Villa de Seris (Agua con Floculante)	706.5	695	699	703.5	702.5	672
Villa de Seris (Agua Filtrada)	702	718	732	759.5	773	779.5
Las Minitas (Agua con Floculante)	754	761	758	742	730	733
Las Minitas (Agua Filtrada)	781	790.5	777.5	779.5	776	768.5
Concentración	0.2	0.4	0.6	0.8	1	1.2

Tabla No. 7.14 Datos de TDS.

<b>Salinidad (gr/l)</b>						
Cuahutemoc (Agua con Floculante)	0.55	0.75	0.95	1	1.1	1.3
Cuahutemoc (Agua Filtrada)	0.42	0.62	0.73	0.75	0.75	0.75
Villa de Seris (Agua con Floculante)	0.75	0.85	1	1	1.1	1.15
Villa de Seris (Agua Filtrada)	0.7	0.7	0.75	0.75	0.75	0.75
Las Minitas (Agua con Floculante)	0.8	0.8	0.9	0.85	1	1
Las Minitas (Agua Filtrada)	0.7	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65
Concentración	0.2	0.4	0.6	0.8	1	1.2

Tabla No. 7.15 Datos de salinidad

# CAPÍTULO 8

**PRUEBAS DE PH, TURBIDEZ,  
CONDUCTIVIDAD, TDS,  
SALINIDAD EN LAS AGUAS  
NEGRAS, PARA ENCONTRAR  
DATOS DE DISEÑO.**

## **CAPÍTULO 8. PRUEBAS DE PH, TURBIDEZ, CONDUCTIVIDAD, TDS, SALINIDAD EN LAS AGUAS NEGRAS, PARA ENCONTRAR DATOS DE DISEÑO.**

En base al estudio de aguas negras de los diferentes sectores de la Ciudad de Hermosillo, Sonora, se evaluaron las siguientes características del agua: Turbidez, pH, Conductividad, Salinidad, TDS. Obteniéndose los resultados que se muestran en las siguientes graficas.

### **8.1 Turbidez**

La turbiedad en un agua puede ser causada por una gran variedad de materiales en suspensión, que varían en tamaño desde la dispersión coloidales hasta partículas gruesas, entre otros, arcillas, limo, materia orgánica e inorgánica finamente dividida, organismos, planctónicos, microorganismo.

La determinación de la turbiedad es de gran importancia en aguas para el consumo humano en una gran cantidad de industrias procesadoras de alimentos y bebidas. Los valores de turbiedad sirven para determinar el grado de tratamiento requerido por una fuente de agua cruda, su filtrabilidad y, consecuentemente la tasa de filtración más adecuada, la efectividad de los procesos de coagulación, sedimentación y filtración así como para determinar la potabilidad del agua.

Primeramente se analizará la gráfica donde el agua está en presencia del floculante después de haberse tratado en el medidor de jarras. Se observó que la turbidez del sector sur de la Ciudad con 0.2 de concentración fue superior a los sectores Centro y Norte, debido a que el agua del sector sur mostró un alto contenido de fuentes misceláneas como pueden ser jabones, detergentes, Shampoo; son compuestos de materiales orgánicos superficialmente activos en soluciones acuosas. Las moléculas de los compuestos superficialmente activos son grandes, un extremo de la molécula muy soluble en agua y el otro soluble en aceites, ocasionando que el floculo se rompa y no logre una turbidez baja en el agua. Mediante el incremento de la concentración del floculante el sector Norte y Sur tuvieron la misma tendencia descendente, por el contrario el sector Centro mostró una tendencia ascendente

mientras aumentaba la concentración de floculante, esto nos indica que este sector mostraba en sus aguas residuos de aceites, grasas, ceras.

Una vez que el agua se hizo pasar por los filtros de arena y carbón activado las tendencias de las gráficas de los diferentes sectores se comportaron muy similares, mencionando que su turbidez bajo notoriamente, a consecuencia que los filtros retuvieron las partículas que se encontraban dispersas en el agua.

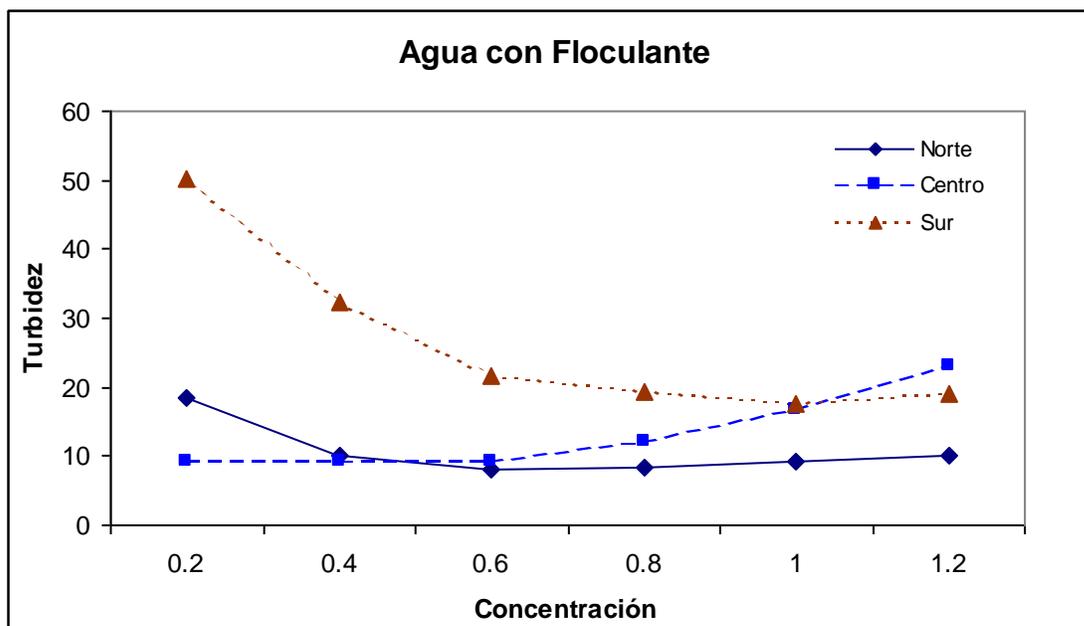


Fig No.8.1. Gráfica de turbidez para agua con floculante.

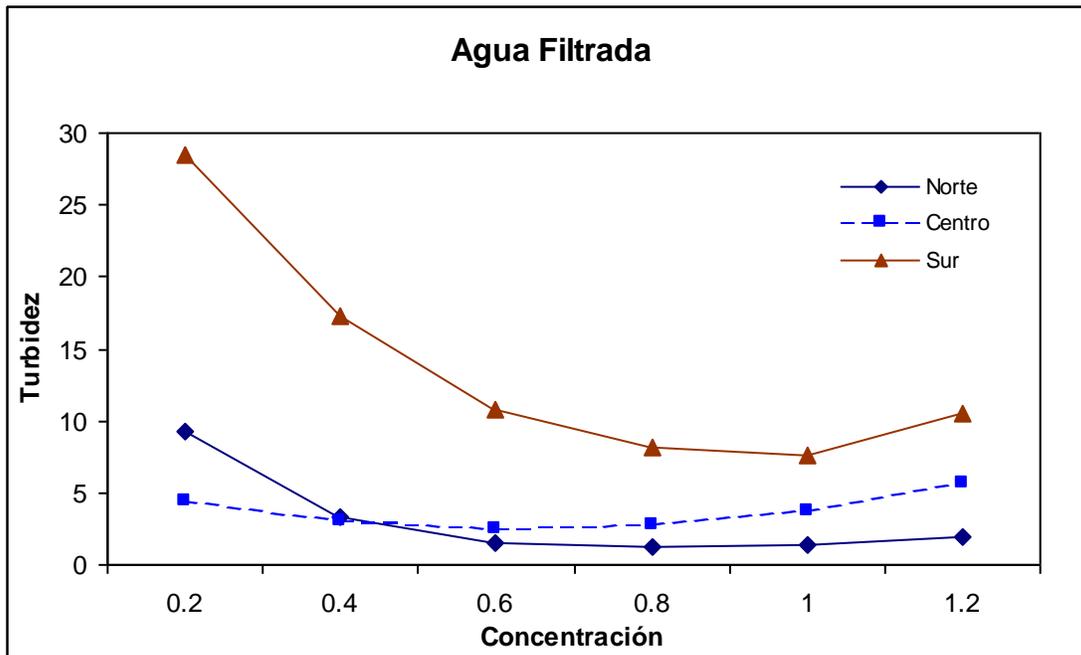


Fig No.8.2. Gráfica de turbidez para agua filtrada.

## 8.2 Conductividad.

La conductividad del agua es una expresión numéricamente de su habilidad para transportar una corriente eléctrica. La conductividad del agua depende de la concentración total de sustancias disueltas ionizadas en el agua y la temperatura a la cual se haga la medición. Por ello el valor de conductividad es muy usado en análisis de agua para obtener un estimativo rápido del contenido de sólidos disueltos.

Se analizará la conductividad del agua en presencia del floculante en los tres distintos sectores de la ciudad, se pudo observar que en el sector Sur obtuvo una conductividad muy por encima de los sectores Norte y Centro. Así mismo se pudo observar que la conductividad en el sector Sur fue en incrementando mediante mayor fue la cantidad de de floculante, esto nos indica que el agua del sector Sur contiene muchas sustancias disueltas ionizadas en el agua. Mientras en el Sector Centro el comportamiento que presentó su conductividad, fue que al aumentar la cantidad del floculante su conductividad fue disminuyendo considerablemente, esto nos indica que el agua del sector Centro contenía muy pocos sólidos disueltos, indicándonos que entre más pura sea el agua su conductividad tendera a cero. El sector Norte presentó una conductividad intermedia entre los dos anteriores sectores ya mencionados.

Posteriormente el agua fue filtrada y nos arrojó los siguientes resultados que se analizaran a continuación:

La Conductividad más elevada la presentó el sector Sur de la ciudad, seguido del sector Norte y por último el Centro de la ciudad. Tomando en cuenta que la conductividad que presento el agua con floculante antes de los filtros fue por debajo que la que presento después de los filtros ó sea que aumento la conductividad después de pasar por los filtros.

Esto revela que en el Sector Sur de la ciudad hay una mayor concentración de minerales al tener en contacto el agua con el tipo de tierra, al alto contenido de materia orgánica ya sea provocada por el hombre o la misma naturaleza. Debido a estos tipos de altas concentraciones produce en el agua olores desagradables, colores muy intensos y produce una capa de espuma en la superficie del agua a tratar.

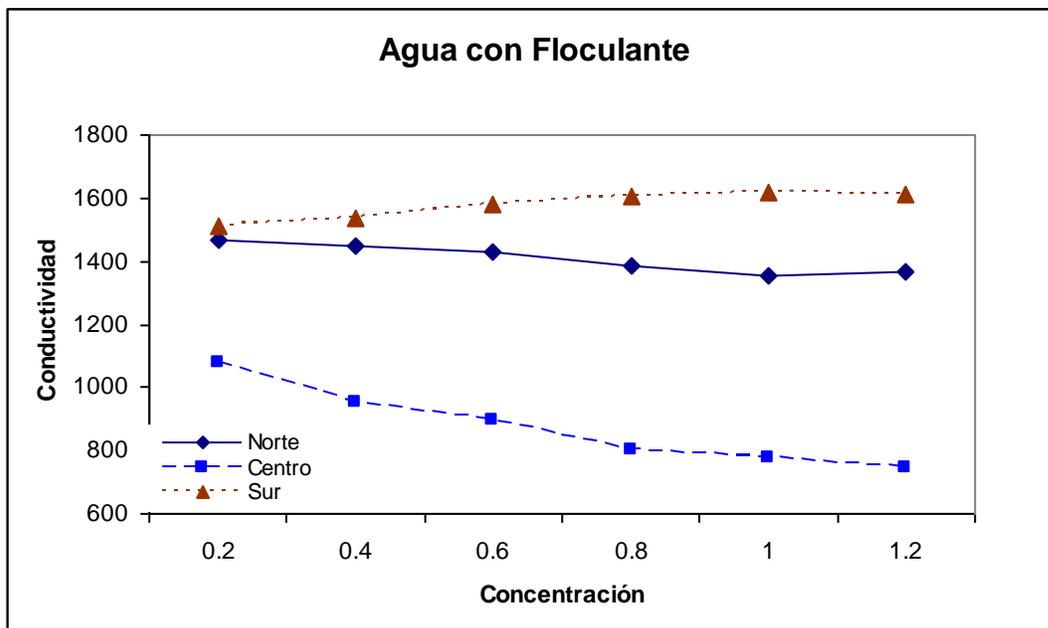


Fig No.8.3. Gráfica de conductividad para agua con floculante.

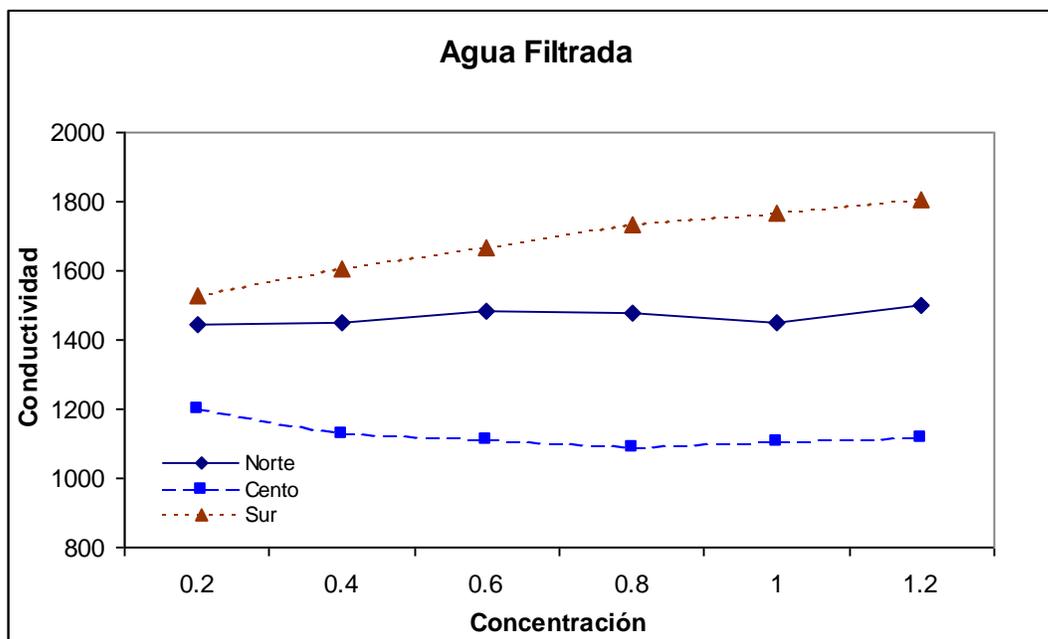


Fig No.8.4. Gráfica de conductividad para agua filtrada.

### 8.3 PH

El término pH es una forma de expresar la concentración del ión hidrógeno. El suministro de agua es un factor que debe considerarse con respecto a las coagulaciones químicas, la desinfección, el ablandamiento y el control de corrosión. En las plantas de tratamiento de agua residuales que emplean procesos biológicos, el pH debe controlarse dentro un intervalo favorable a los organismos.

El pH analizado de las agua negras de la Ciudad de Hermosillo, nos proporcionó la siguiente información: con respecto a la concentración del floculante utilizado, se observó el comportamiento del pH en el agua con floculante, que los diferentes sectores fue descendiendo notoriamente al aumentar la concentración de floculante, se pudo observar que en el sector Norte con una concentración de 0.2 de floculante nos origino un pH muy básico , en cambio con la concentración de floculante de 1.2 el pH bajo considerablemente hasta tener un agua con un pH aproximado a 7, en cambio los sectores del Centro y Sur de la ciudad iniciaron con una concentración de floculante de 0.2 con un pH muy cercano al neutro pero fue disminuyendo muy rápidamente mientras se aumentaba la concentración de floculante hasta quedar como un agua ácida .

Se paso el agua con floculante a través de los filtros mencionados con anterioridad y como resultado se observó que el pH del sector Norte bajo notoriamente comparado con el dato del agua con floculante logrando llegar a una estabilidad en su pH, mientras tanto el sector Sur no vario significativamente con la anterior medición quedando prácticamente uniforme la medición de su pH. Y por último en el sector Sur se observo que su pH descendió quedando en un nivel de poca acidez del agua y logrando que su pH haya quedado prácticamente en estabilidad o sea que casi no varia con las diferentes cantidades de concentración del floculante.

Los datos que se obtuvieron referentes al pH en los diferentes sectores de la ciudad, nos indican que estas variables están en estabilidad y a su vez esta característica nos previene de las concentraciones elevadas de los metales pesados presentes en las aguas negras. La

estabilidad del pH se debe a los equilibrios químicos de los constituyentes principales disueltos.

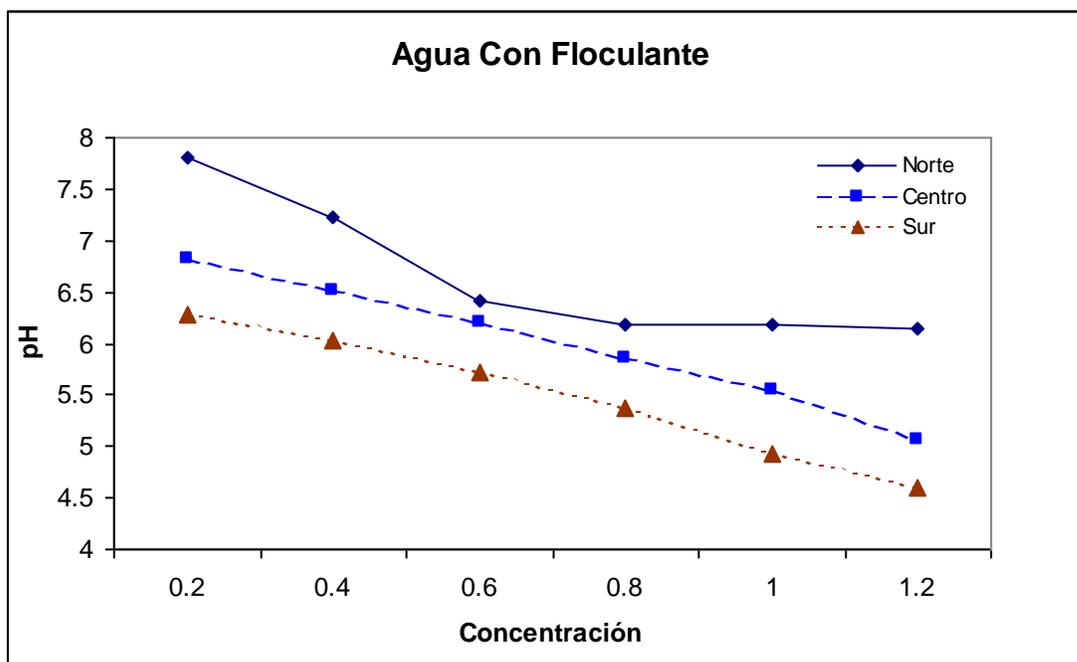


Fig No.8.5. Gráfica de ph para agua con floculante.

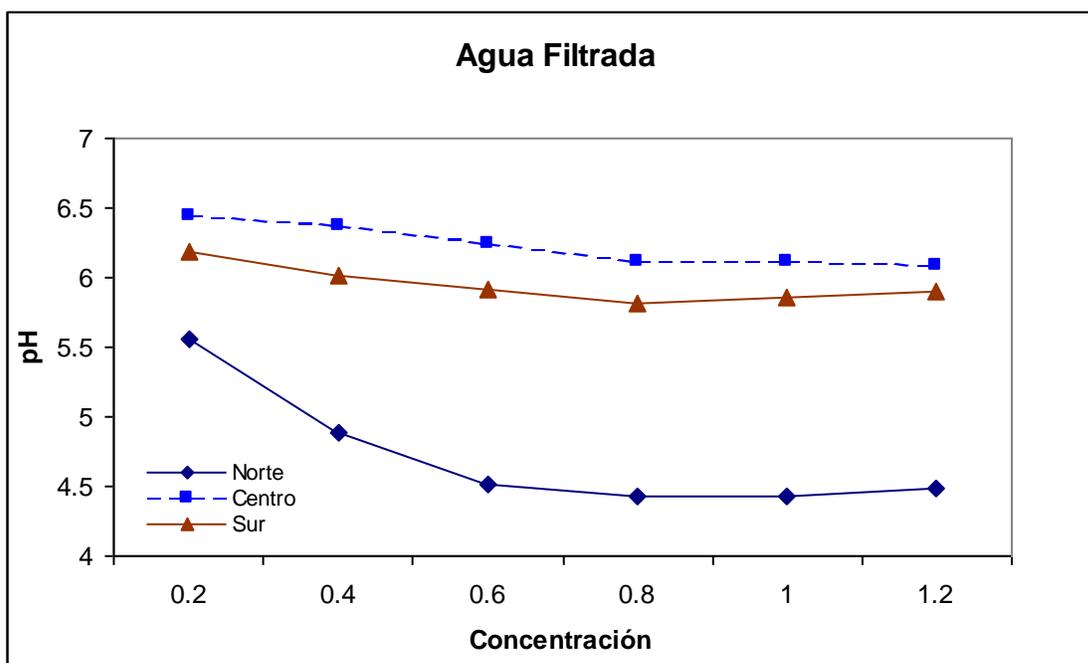


Fig No.8.6. Gráfica de ph para agua filtrada.

## 8.4 TDS

Los sólidos totales disueltos se definen como la materia que permanece como residuos después de evaporación y secado a 103 °C. El valor de los sólidos totales incluye material disuelto y no disuelto (sólidos suspendidos).

Los sólidos disueltos (o residuos filtrables): son determinados directamente o por diferencia entre los sólidos totales y los sólidos suspendidos. En aguas potables, la determinación de sólidos totales es la de mayor interés, por ser muy pequeña la cantidad existente de sólidos suspendidos.

Los datos obtenidos en la medición de TDS en las aguas residuales recolectadas en los distintos sectores de la ciudad de Hermosillo se analizarán mediante las gráficas obtenidas del agua con floculante y después de ser tratadas en los filtros de arena y carbón activado.

Como se observó en los análisis anteriores (Conductividad, TDS, Salinidad, Turbidez) el Sector Sur fue el que más sobresalió en altas cantidades, de anteriores puntos ya mencionados, y como era de esperarse, en los sólidos totales disueltos sobresalió ante los sectores Norte y Centro esto se observó al obtener los datos del agua con el floculante. Por otra parte el Sector Centro mostró un peculiar comportamiento donde su TDS inicio muy alto con una concentración de 0.2 de floculante y fue variando inversamente proporcional al aumento de la concentración del floculante. Atribuyendo esto a que en dicho sector de la ciudad existen una mayor cantidad de comercio y por tal razón existe la posibilidad de que dichos comercios traten sus aguas residuales y tal razón son tan bajos sus niveles de sólidos totales disueltos en el agua en esa zona.

En cuanto el sector Norte de la ciudad obtuvo inicialmente un TDS un poco elevado pero fue disminuyendo conforme la concentración del floculante, fue aumentando debido que en esta zona de la ciudad es una zona un poco mas habitada que en los otros sectores y esto puede ocasionar las altas cantidades de desechos arrojados a los alcantarillados de la ciudad y por lo tanto un alto índice de sólidos disueltos en el agua. Inmediatamente el agua se paso por

los filtros de arena y carbón activado y se pudo observar que los TDS de los distintos sectores de la ciudad disminuyeron pero en una cantidad mínima a la del agua con floculante.

Esto puede ser ocasionado por diversos factores en el agua analizada como pueden ser: Desechos Humanos (Excremento, urea), Desechos Alimenticios (Azucares, Almidones, Grasas, Aceites), Pesticidas.

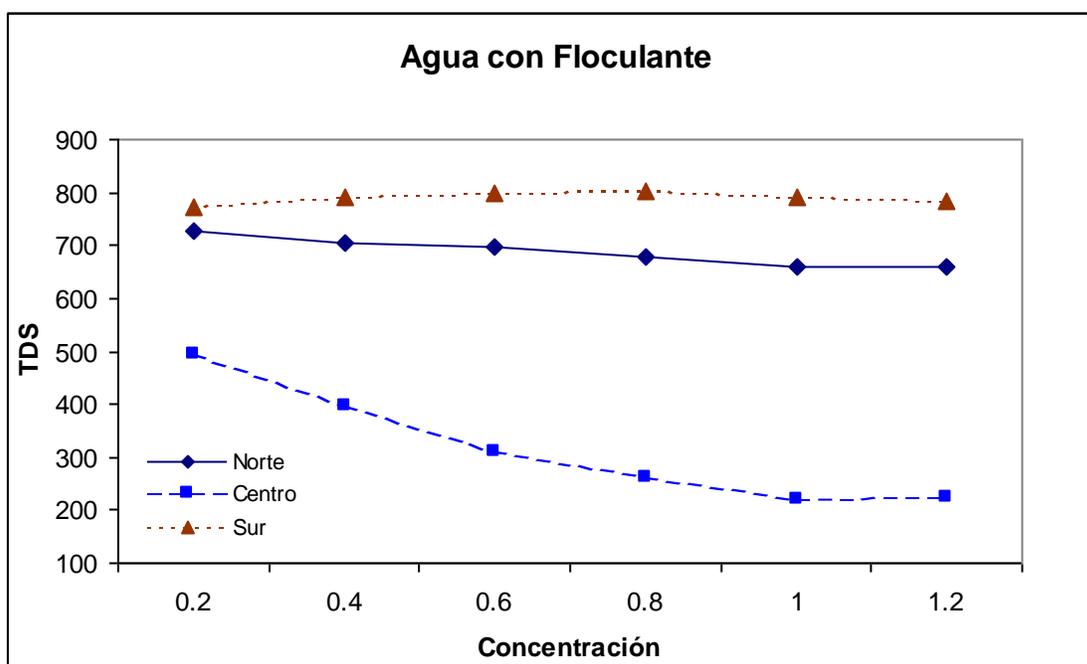


Fig No.8.7. Gráfica de TDS para agua con floculante.

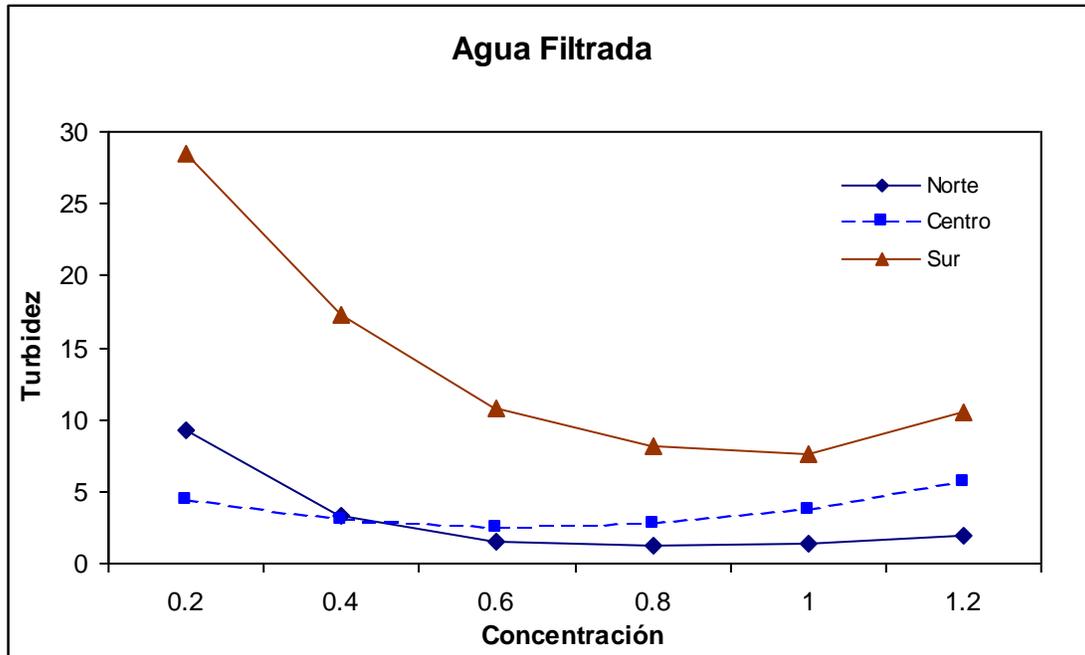


Fig No.8.8. Gráfica de TDS para agua filtrada

## 8.5 Salinidad

La salinidad se puede expresar como el número de gramos de sal por kilogramo de muestra, la medida de la salinidad se define como los sólidos totales en el agua cuando todos los carbonatos han sido convertidos en óxidos, todos los bromuros y yoduros han sido reemplazados por una cantidad equivalente de cloruros y toda la materia orgánica ha sido oxidada.

Se analizó los datos obtenidos para la gráfica de salinidad del agua con floculante y posteriormente el gráfico obtenido después de haberse pasado el agua por los filtros de carbón activado y de arena.

Primeramente se analizó el Sector Sur que mostró una salinidad muy alta a una concentración de floculante a 1.2 de donde se pudo observar que la salinidad del agua de este sector fue proporcional a la concentración conforme fue disminuyendo, en cambio el Sector Norte de la ciudad se comportó con una salinidad menor que la del sector Sur a una concentración de 0.2 de floculante, pero fue aumentando conforme aumentaba la cantidad de floculante, quedando por debajo de la cantidad de salinidad del sector Sur a una concentración de 1.2 de floculante, por último se analizó el sector centro donde el grado de salinidad quedó muy por debajo de los dos anteriores sectores ya mencionados.

Después de haber pasado el agua por los filtros, los datos obtenidos y graficados nos indicaron que la salinidad de los distintos sectores de la ciudad tuvieron una pequeña variedad, que disminuyó considerablemente el grado de salinidad en los tres sectores debido a que los filtros retuvieron una gran parte de minerales o sales que contenían las aguas de los distintos sectores, pero los gráficos mostraron las mismas tendencias que con el agua con floculante de esta manera el sector Sur volvió a quedar por encima de los restantes sectores.

Esto nos indica por que el sector sur obtuvo una mayor conductividad, turbidez, TDS que los otros dos sectores, debido a que tiene mayores sólidos disueltos y eso permite una muy buena conductividad en el agua y por lo tanto una mayor turbidez en la misma, esto puede ser ocasionado por los distintos minerales que contienen la tierra de los distintos sectores, y la

cantidad de desechos orgánicos e inorgánicos que son producidos en los distintos sectores de la ciudad de Hermosillo.

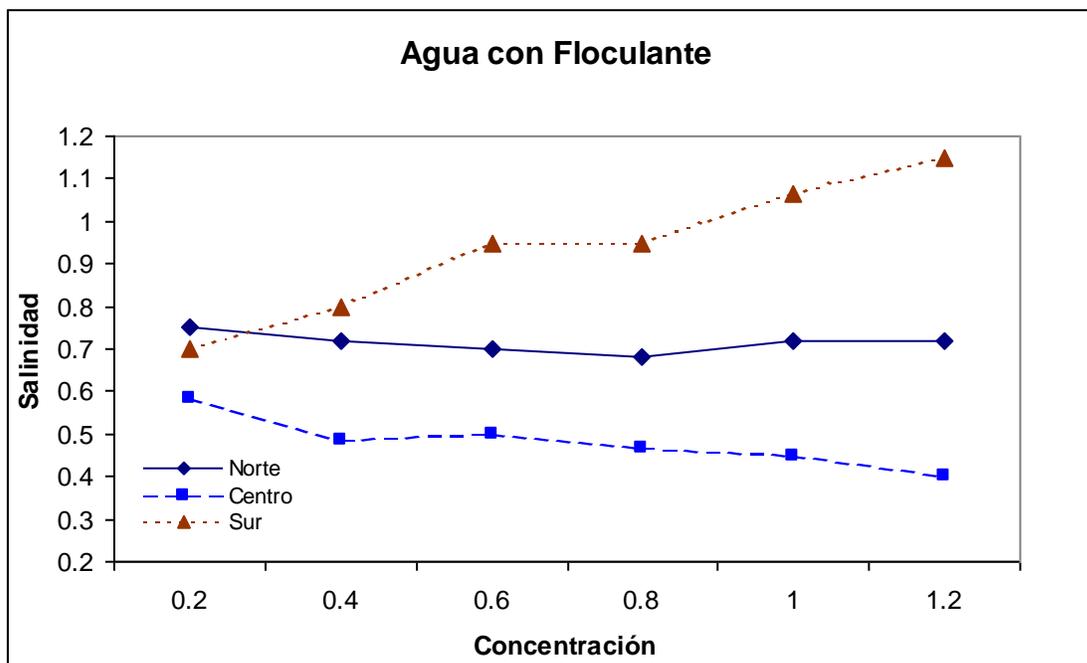


Fig No.8.9. Gráfica de Salinidad para agua con floculante.

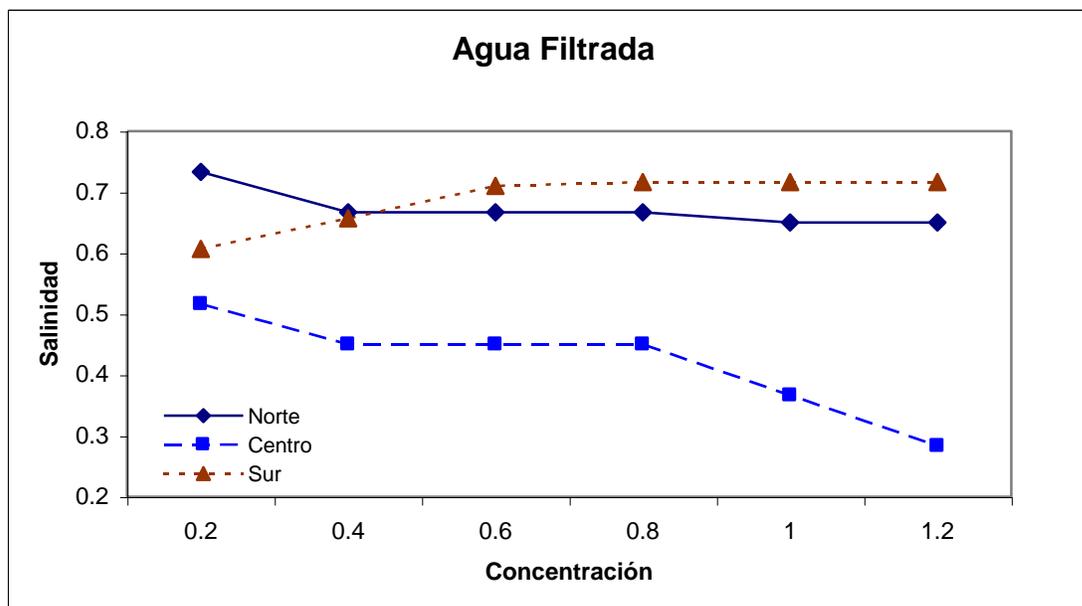


Fig No.8.10. Gráfica de Salinidad para agua filtrada.

# **CAPÍTULO 9**

## **DISEÑO DEL EQUIPO**

## CAPÍTULO 9. DISEÑO DEL EQUIPO

### 9.1 Diseño de equipo de la primera propuesta de planta tratadora de aguas residuales para la ciudad de hermosillo.

#### 9.1.1 Floculador-coagulador.

Nuestra base de cálculo es  $4.375 \text{ m}^3/\text{hr}$  y se utiliza una relación de  $D = 2h$ .

$$V = \frac{1}{4} * \pi * (2h^2) * h$$

$$4.375 \text{ m}^3/\text{hr} = .785 * 2h^2 * h$$

$$h = 1.12 \text{ m.}$$

Con la relación de que el diámetro sea 2 veces la altura.

$$D = 2h$$

$$D = 1.12 * 2 = 2.24 \text{ m.}$$

$$D = 2.24 \text{ m.}$$

9.1.1. Calculando el factor de escalamiento.

$$\lambda = \text{Factor de escalamiento}$$

$$\lambda = \sqrt[3]{(\text{flujo real}/\text{flujo total})}$$

$$\lambda = \sqrt[3]{(4.375 \text{ m}^3/0.001 \text{ m}^3)} = 16.36$$

$$\lambda = 16.36$$

### 9.1.1.2. Diseño del agitador para flocular.

d: diámetro horizontal de las aspas.

y: altura de la paleta de la aspa.

Da: longitud horizontal de la paleta.

$$d = 9 \text{ cm}$$

$$y = 1.4 \text{ cm}$$

$$Da = 4.5 \text{ cm}$$

Multiplicándolos por el factor de escalamiento:

$$d = 9 \text{ cm} * 16.36 = 147.24 \text{ cm} = 1.4724 \text{ m}$$

$$y = 1.4 \text{ cm} * 16.36 = 22.904 \text{ cm} = 0.22904 \text{ m}$$

$$Da = 4.5 \text{ cm} * 16.36 = 73.62 \text{ cm} = 0.7362 \text{ m}$$

Considerando datos bibliográficos, la propela se ubicara a 25 cm del fondo hacia arriba.

### 9.1.1.3. El cálculo de la potencia necesaria para mover las aspas.

Son 90 RPM aproximadamente las de la propela de el laboratorio por lo tanto son 1.5 RPS. Se relaciono que la propela del laboratorio mide 0.09 m y da 1.5 RPS y la propela de nuestra propuesta mide 1.4724 m y tarda 25 seg en dar una vuelta.

Mi base de cálculo es 1 segundo.

$$T = F * L$$

$$F = V * \rho$$

T = Trabajo

F = Fuerza

D = Distancia del cilindro interno

V = Volumen del cilindro interno

$\rho$  = Peso específico del agua

L = Longitud que recorre el aspa en 1 seg.

Se calcula el volumen del cilindro internó que se forma con el movimiento de la propela.

$$V = \frac{1}{4} * \pi * D^2 * h$$

Donde D = 1.4724 m y h = 1.12 m

$$V = \frac{1}{4} * \pi * (1.4724)^2 * 1.12 = 1.91 \text{ m}^3$$

$$V = 1.91 \text{ m}^3$$

$$L = (\pi * D) + (\frac{1}{2} * \pi * D)$$

$$L = (\pi * 1.4724 \text{ m}) + (\frac{1}{2} * \pi * 1.4724 \text{ m}) = 6.94 \text{ m}$$

$$L = 6.94 \text{ m}$$

Conversiones:

$$V = (1.91 \text{ m}^3) (3.3^3 \text{ pie}^3 / \text{m}^3) = 68.53 \text{ pie}^3$$

$$L = (6.94 \text{ m}) (3.3 \text{ pie/m}) = 22.902 \text{ pie}$$

Cálculo:

$$F = (68.53 \text{ pie}^3) (62.4 \text{ lb/ pie}^3) = 4276.48 \text{ lb}$$

$$(4276.48 \text{ lb}) (22.902 \text{ pie})$$

$$T = \frac{(4276.48 \text{ lb}) (22.902 \text{ pie})}{25 \text{ seg.}} = 3917.59 \text{ lb.pie/seg.}$$

25 seg.

$$T = 3917.59 \text{ lb.pie/seg}$$

Lo convertimos a Hp (1 Hp = 550 lb.pie/seg):

$$\text{Hp} = \frac{3917.59 \text{ lb.pie/seg.}}{550 \text{ lb.pie/seg.}} = 7.12$$

Se necesita un motor de 8 Hp.

#### 9.1.1.4. Dosis del floculante.

Para cada zona se escogió una dosis distinta basándonos en los resultados obtenidos en los análisis del laboratorio según la salinidad y TDS, puesto que estos análisis son los fundamentales para el uso que le daremos a nuestro producto.

Para zona sur:

Se obtuvo que la dosis adecuada es de 0.2 gr/l

$$(200 \text{ gr/m}^3)(4.375 \text{ m}^3/\text{hr}) = 875 \text{ gr/hr}$$

Si lo multiplicamos por 8 hr me da 7 000 gr/día.

Por lo tanto el dosificador debe tener una capacidad de 7 kg al día o de 875 gr/hr.

Para zona centro:

Se obtuvo que la dosis necesaria es de 1.2 gr/l.

$$(1\ 200 \text{ gr/m}^3)(4.375 \text{ m}^3/\text{hr}) = 5\ 250 \text{ gr/hr.}$$

Si lo multiplicamos por 8 hr me da 42 000 gr/día.

Por lo tanto el dosificador debe tener una capacidad de 42 kg al día o de 5 250gr/hr.

Para zona norte:

Se obtuvo que la dosis necesaria es de 1 gr/l.

$$(1\ 000\ \text{gr/m}^3)(4.375\ \text{m}^3/\text{hr}) = 4\ 375\ \text{gr/hr.}$$

Si lo multiplicamos por 8 hr me da 35 000 gr/día.

Por lo tanto el dosificador debe tener una capacidad de 35 kg al día o de 4 375 gr/hr.

### 9.1.2. Filtro de arena.

#### 9.1.2.1 Calculo de la altura del filtro.

Nuestra base de cálculo es 4.375 m<sup>3</sup>/hr

El diámetro y altura del filtro de arena de laboratorio son:

$$H = 0.23 \text{ m}$$

$$D = 0.0732 \text{ m}$$

$$V = A * H$$

$$V = \pi * r^2 * H$$

$$\frac{H}{D} = \frac{0.23 \text{ m}}{0.0732 \text{ m}} = 3.14$$

$$\frac{H}{2r} = 3.14$$

Despejando r:

$$r = \frac{H}{2(3.14)} = \frac{H}{6.28}$$

Sustituir el valor de r en la fórmula del volumen:

$$V = (H/6.28)^2 * \pi * H$$

$$V = \frac{H^2}{39.44} * \pi * H$$

$$4.375 \text{ m}^3/\text{hr} = \frac{H^2}{39.44} * \pi * H$$

Despejando H

$$H = 3.8 \text{ m.}$$

9.1.2.2. Cálculo de la altura de la arena.

$$h = 0.185 \text{ m}$$

$$D = 0.0732 \text{ m}$$

$$V = A * h$$

$$V = \pi * r^2 * h$$

$$h = 0.185 \text{ m}$$

$$\frac{V}{h} = \pi * r^2 = 2.53$$

$$D = 0.0732 \text{ m}$$

Despejando r:

$$h$$

$$\frac{V}{h} = 2.53$$

$$2r$$

$$r = \frac{h}{2(2.53)} = \frac{h}{5.05}$$

Sustituir el valor de r en la fórmula del volumen:

$$V = (H/5.05)^2 * \pi * H$$

$$V = \frac{H^2}{25.55} * \pi * H$$

$$4.375 \text{ m}^3/\text{hr} = \frac{H^2}{25.55} * \pi * H$$

Despejando H

$$H = 3.3 \text{ m.}$$

9.1.2.3. Cálculo el diámetro del filtro.

$$\frac{H}{D} = 3.14$$

D

$$D = \frac{3.8\text{m}}{3.14} = 1.2$$

$$D = 1.2 \text{ m.}$$

### 9.1.3. Filtro de carbón activado.

#### 9.1.3.1. Cálculo de la altura del filtro.

Nuestra base de cálculo es 4.375 m<sup>3</sup>/hr.

El diámetro y altura del carbón activado de laboratorio son:

$$H = 0.23 \text{ m}$$

$$D = 0.0732 \text{ m}$$

$$V = A * H$$

$$V = \pi * r^2 * H$$

$$H = 0.23 \text{ m}$$

$$\frac{H}{D} = \frac{0.23}{0.0732} = 3.14$$

$$D = 0.0732 \text{ m}$$

$$H$$

$$\frac{H}{2r} = 3.14$$

$$2r$$

Despejando r:

$$r = \frac{H}{2(3.14)} = \frac{H}{6.28}$$

Sustituir el valor de r en la fórmula del volumen:

$$V = (H/6.28)^2 * \pi * H$$

$$V = \frac{H^2}{39.44} * \pi * H$$

$$4.375 \text{ m}^3/\text{hr} = \frac{H^2}{39.44} * \pi * H$$

Despejando H

$$H = 3.8 \text{ m.}$$

9.1.3.2. Cálculo de la altura del carbón activado.

$$h = 0.185 \text{ m}$$

$$D = 0.0732 \text{ m}$$

$$V = A * h$$

$$V = \pi * r^2 * h$$

$$h = 0.185 \text{ m}$$

$$\frac{V}{A} = \frac{V}{\pi * r^2} = 2.53$$

$$D = 0.0732 \text{ m}$$

$$h$$

$$\frac{V}{A} = 2.53$$

$$2r$$

Despejando r:

$$r = \frac{h}{2(2.53)} = \frac{h}{5.05}$$

Sustituir el valor de r en la fórmula del volumen:

$$V = (H/5.05)^2 * \pi * H$$

$$V = \frac{H^2}{25.55} * \pi * H$$

$$4.375 \text{ m}^3/\text{hr} = \frac{H^2}{25.55} * \pi * H$$

Despejando H

$$H = 3.3 \text{ m.}$$

9.1.3.3. Cálculo el diámetro del filtro.

H

$$--- = 3.14$$

D

$$3.8 \text{ m}$$

$$D = \frac{3.8}{3.14} = 1.2$$

$$3.14$$

$$D = 1.2 \text{ metros}$$

### 9.1.4. Bomba centrífuga

Se calcularán los Hp necesarios para subir el agua al tanque clorinador de dos formas distintas:

9.1.4.1. Primer calculo de la potencia del motor de la bomba para subir el agua al clorinador.

$$\text{Potencia} = \frac{Q * \rho * H}{\eta}$$

Donde:

Q = Flujo

$\rho$  = Peso específico

H = Altura total

$\eta$  = Factor de fricción

Cálculos:

$$H_{\text{TOTAL}} = H_{\text{ESTRUCTURA}} + D_{\text{ESFERA}}$$

$$H_{\text{ESTRUCTURA}} + D_{\text{ESFERA}} = 3.5 \text{ m} + 5.12 \text{ m} = 8.62 \text{ m.}$$

$$H_{\text{TOTAL}} = 8.62 \text{ m.}$$

Conversiones:

$$H = (8.62 \text{ m}) (3.3 \text{ pie/m}) = 28.45 \text{ pie.}$$

$$Q = (4.375 \text{ m}^3/\text{hr}) (3.3^3 \text{ pie}^3/\text{m}^3) = 157.22 \text{ pie}^3/\text{hr.}$$

$$Q = (157.22 \text{ pie}^3/\text{hr}) (1\text{hr}/36000\text{seg}) = 0.04 \text{ pie}^3/\text{seg}.$$

$$V = 4 \text{ pie}/\text{seg}.$$

$$P = \frac{(0.04 \text{ pie}^3/\text{seg}) (62.4 \text{ lb}/\text{pie}^3) (28.45 \text{ pie})}{(0.6)} = 118.35 \text{ lb.pie}/\text{seg}$$

Lo convertimos a Hp (1 Hp = 550 lb.pie/seg):

$$\frac{118.35 \text{ lb.pie}/\text{seg}}{550 \text{ lb.pie}/\text{seg}} = 0.22$$

Se necesitará un motor de ¼ HP

9.1.4.2. Segundo cálculo de la potencia del motor de la bomba para subir el agua al clorinador.

Se usará acero comercial.

Con un de Flujo:

$$Q = 4.375 \text{ m}^3/\text{h} = 0.04 \text{ pie}^3/\text{seg} = 17.952 \text{ GAL}/\text{min}.$$

1 lbm de flujo de agua será la base de cálculo.

Fórmula:

$$Z_1 \text{ g}/\text{g}_c + P_1 V_1 + (V_1^2/2 \alpha_1 \text{g}_c) + \int f^2 PdV + W_o = Z_2 \text{ g}/\text{g}_c + P_2 V_2 + (V_2^2/2 \alpha_2 \text{g}_c) + \sum F + \sum F_e$$

Se desprecia:

$f_i^2 PdV$  por que el fluido es incomprensible (se usa en gases).

$\sum F_e$  por que el diámetro de la tubería es el mismo.

$$Z_1 g/g_c + P_1 V_1 + (V_1^2/2 \alpha_1 g_c) + W_o = Z_2 g/g_c + P_2 V_2 + (V_2^2/2 \alpha_2 g_c) + \sum F$$

Y como:

$$P_1 = P_2$$

$$V_1 = V_2$$

$$Z_1 g/g_c + W_o = Z_2 g/g_c + \sum F$$

$$\sum F = \sum 2f \frac{V^2 L}{g_c D}$$

Datos:

$$\rho_{\text{agua}} = 62.4 \text{ lbm/pie}^3$$

$$\mu = 1.12 \text{ C.P.} = 0.0007264 \text{ lb/seg.pie.}$$

Suponiendo una tubería de 3 plg de diámetro.

$$v = \frac{Q}{A}$$

$$A = \frac{1}{4} \pi D^2$$

$$D = 3 \text{ plg} (1 \text{ pie}/12 \text{ plg}) = 0.25 \text{ pie}$$

$$D = 0.25 \text{ pies}$$

Sustituyendo :

$$A = 0.785(0.25\text{pie})^2 = 0.049 \text{ pie}^2$$

$$A = 0.049 \text{ pie}^2$$

$$V = \frac{0.04 \text{ pie}^3/\text{seg}}{0.049 \text{ pie}^2} = 0.82 \text{ pie}/\text{seg}.$$

Numero de Reynolds:

$$Re = \frac{\rho v_s D}{\mu}$$

Donde:

$\rho$ : Densidad del fluido

$v_s$ : Velocidad del fluido

$D$ : Diámetro de la tubería a través de la cual circula el fluido

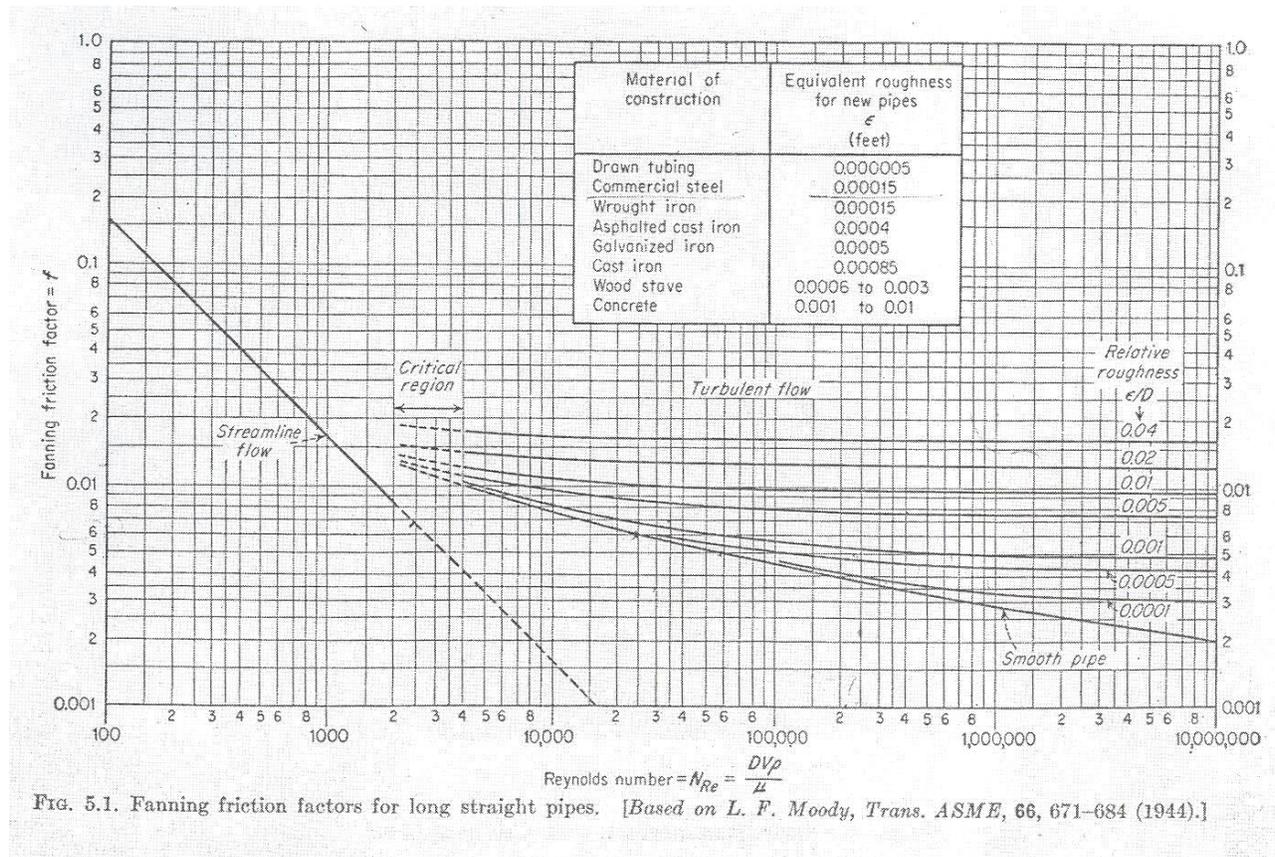
$\mu$ : Viscosidad dinámica del fluido

$$Re = \frac{(62.4 \text{ lbm}/\text{pie}^3)(0.82 \text{ pie}/\text{seg})(0.25 \text{ pie})}{0.0007264 \text{ lbm}/\text{seg}\cdot\text{pie}} = 17610.13$$

$$Re = 17610.13$$

Según la fig. 5.1 Factor de fricción de Fanning para acero comercial  $E = 0.00015$  pies.

Fig. No. 9.1 Factor de fricción de fanning.



$E = 0.00015$  pie

----- = ----- = 0.0006

$D = 0.25$  pie

Graficando en la Fig. 5.1 el valor del numero de Reynolds y  $E/D$  nos da un valor  $f =$  (Factor de fricción de Fanning) 0.007.

$f = 0.007$

$L_t = L + L_e$

Donde:

$L =$  Longitud de la tubería.

$L_e =$  Longitud equivalente.

Se usarán 2 codos de accesorios en la tubería y basándonos en la tabla 2 nos da un valor de  $L_e/D = 32$ .

TABLE 2. $L_e/D$ RATIOS FOR STANDARD PIPE FITTINGS	
<i>Fitting</i>	$L_e/D$
90° elbows.....	32
45° elbows.....	15
Square elbows (intersection of two cylinders).....	60
Couplings.....	Negligible
Unions.....	Negligible
Gate valve, open.....	7
Globe valve, open.....	300

Tabla No. 9.1 Proporciones para accesorios de tubo estándar.

Despejando  $L_e$ :

$L_e = 32(0.25 \text{ pie}) = 8 \text{ pies}$  multiplicándolo por 2 que será el número de codos necesarios nos da un valor de 16 pies.

$$L_e = 16 \text{ pies} \quad \text{y} \quad L = 28.45 \text{ pies.}$$

$$L_t = 16 \text{ pies} + 28.45 \text{ pies} = 44.45 \text{ pies}$$

$$L_t = 44.45 \text{ pies}$$

Formula para calcular  $\sum F$ :

$$\sum F = \sum 2f \frac{V^2 L}{g_c D}$$

$$\Sigma F = 2(0.007) \frac{(0.82 \text{ pie/seg})^2 (44.45 \text{ pies})}{(32.17 \text{ pie/seg}^2 \cdot \text{lbm/lbf}) (0.25 \text{ pie})} = 0.052 \text{ lbf.pie/lbm}$$

$$\Sigma F = 0.052 \text{ lbf.pie/lbm}$$

Calcular  $Z_1 \text{ g/g}_c$  y  $Z_2 \text{ g/g}_c$ :

Datos:

$$Z_1 = 0, Z_2 = 28.45 \text{ pies}, g_c = 32.17 \text{ pie/seg}^2 \cdot \text{lbm/lbf}, g = 32.17 \text{ pie/seg}^2$$

$$Z_1 \text{ g/g}_c = 0$$

$$Z_2 \text{ g/g}_c = 28.45 \text{ pies} (32.17 \text{ pie/seg}^2 \cdot \text{lbm/lbf} / 32.17 \text{ pie/seg}^2) = 28.45 \text{ lbf pies/lbm}$$

$$Z_2 \text{ g/g}_c = 28.45 \text{ lbf pies/lbm}$$

$$W_o = Z_2 \text{ g/g}_c + \Sigma F$$

$$W_o = 28.45 \text{ lbf pies/lbm} + 0.052 \text{ lbf.pie/lbm} = 28.502 \text{ lbf.pie/lbm}$$

$$W_o = 28.502 \text{ lbf.pie/lbm}$$

$$\eta W_o = 28.502 \text{ lbf.pie/lbm}$$

$$W_o = \frac{28.502 \text{ lbf.pie/lbm}}{\eta}$$

$\eta$  = factor de fricción.

$$\eta = 60\%$$

$$W_o = \frac{28.502 \text{ lbf.pie/lbm}}{0.60} = 47.50 \text{ lbf.pie/lbm}$$

$$W_o = 47.50 \text{ lbf.pie/lbm}$$

Conversión:

$$W_o = (47.50 \text{ lbf.pie/lbm})(17.95 \text{ gal/min})(\text{pie}^3/7.48 \text{ gal})(62.4 \text{ lbm/pie}^3)(\text{min}/60\text{seg})(\text{Kw}/738 \text{ lbf.pie/seg}) = 0.161 \text{ Kw}$$

$$W_o = 0.161 \text{ Kw}$$

Conversiones a HP:

$$1 \text{ HP} = 550 \text{ lbf.pie/seg}$$

$$\text{Kw} = 738 \text{ lbf.pie/seg}$$

$$0.161 \text{ Kw}(738 \text{ lbf.pie/seg}/1 \text{ Kw}) = 118.818 \text{ lbf.pie/seg}$$

$$118.818 \text{ lbf.pie/seg}(1 \text{ HP}/550 \text{ lbf.pie/seg}) = 0.22 \text{ HP}$$

$$\text{HP} = 0.22$$

Se necesita un motor de  $\frac{1}{4}$  HP.

### 9.1.5. Clorinador.

Será un tanque esférico de plástico recubierto con fibra de vidrio con descarga por la parte inferior a través de una tubería de 4 plg, con una altura de 3.5 m. Requiriéndose para esto como anterior mente se menciono, 2 tanques de almacenamiento de 70 m<sup>3</sup> cada uno.

$$V = 4/3 * \pi * r^3$$

$$70 \text{ m}^3 = 4/3 * \pi * r^3$$

Despejando r:

$$r = 2.56$$

Por lo tanto cada esfera será de D = 5.12.

#### 9.1.5.1. Dosis del clorinador.

Se encontró que la dosificación típica de cloro en partes por millón (ppm) para aguas residuales es de 15-20 ppm. Se dosificará por medio de un tubo perforado.

Se escogió el valor máximo:

$$20 \text{ ppm} \rightarrow 0.020 \text{ gr/l}$$

$$(0.020 \text{ gr/l})(4.375 \text{ m}^3/\text{hr})(10^3 \text{ l/m}^3) = 87.5 \text{ gr/hr} / 4.375 \text{ m}^3 = 20 \text{ gr/ hr.m}^3$$

La capacidad del dosificador será 20 gr/ hr.m<sup>3</sup>

Cada tanque se llenará en dos días con tiempo de operación de 8hr por día, con un total de 4 días para llenar los tanques. Cada tanque tendrá un medidor que nos indique el nivel de agua y cuando volver a reiniciar la planta.

9.5.2. Cálculo del diámetro de la tubería por donde bajará el agua por gravedad.

$$Q = V * A$$

$$Q$$

$$A = \frac{Q}{V}$$

$$V$$

$$2.62 \text{ pie}^3/\text{min}$$

$$A = \frac{2.62 \text{ pie}^3/\text{min}}{240 \text{ pie}/\text{min}} = 0.011 \text{ pie}^2 \text{ (144 plg}^2\text{)} = 1.57 \text{ plg}^2$$

$$240 \text{ pie}/\text{min}$$

$$A = 1.57 \text{ plg}^2$$

$$A = \pi * r^2$$

Despejando r:

$$r = \sqrt{A / \pi}$$

$$r = \sqrt{1.57 \text{ plg}^2 / \pi}$$

$$r = 0.70 \text{ plg.}$$

$$D = 1.4 \text{ plg} \text{ aprox. } 1 \frac{1}{2} \text{ plg.}$$

## 9.2 Diseño de equipo de segunda propuesta de planta tratadora de aguas residuales para la ciudad de Hermosillo por bombeo.

### 9.2.1. Bomba centrífuga B-1

Se calcularán los Hp necesarios para abastecer el sistema.

$$\text{Potencia} = \frac{Q * \rho * H}{\eta}$$

Donde:

Q = Flujo

$\rho$  = Peso específico

H = Altura total

$\eta$  = Factor de fricción

Cálculos:

$$H_{\text{TOTAL}} = H_{\text{FLOCULADOR}} + H_{\text{FILTRO DE ARENA}} + H_{\text{FILTRO DE CARBON ACTIVADO}}$$

$$H_{\text{FLOCULADOR}} + H_{\text{FILTRO DE ARENA}} + H_{\text{FILTRO DE CARBON ACTIVADO}} = 1.2 \text{ m} + 3.9 + 3.9 \text{ m} = 9 \text{ m.}$$

$$H_{\text{TOTAL}} = 9 \text{ m.}$$

Conversiones:

$$H = (9 \text{ m}) (3.3 \text{ pie/m}) = 29.7 \text{ pie.}$$

$$Q = (4.375 \text{ m}^3/\text{hr}) (3.3^3 \text{ pie}^3/\text{m}^3) = 157.22 \text{ pie}^3/\text{hr.}$$

$$Q = (157.22 \text{ pie}^3/\text{hr}) (1\text{hr}/36000\text{seg}) = 0.04 \text{ pie}^3/\text{seg}.$$

$$V = 4 \text{ pie}/\text{seg}.$$

$$P = \frac{(0.04 \text{ pie}^3/\text{seg}) (62.4 \text{ lb}/\text{pie}^3) (29.7 \text{ pie})}{(0.6)} = 123.55 \text{ lb.pie}/\text{seg}$$

Lo convertimos a Hp (1 Hp = 550 lb.pie/seg):

$$\frac{123.55 \text{ lb.pie}/\text{seg}}{550 \text{ lb.pie}/\text{seg}} = 0.22$$

Se necesitará un motor de ¼ HP

### 9.2.2. Floculador-coagulador.

Nuestra base de cálculo es  $4.375 \text{ m}^3/\text{hr}$  y se utiliza una relación de  $D = 2h$ .

$$V = \frac{1}{4} * \pi * (2h^2) * h$$

$$4.375 \text{ m}^3/\text{hr} = .785 * 2h^2 * h$$

$$h = 1.12 \text{ m.}$$

Con la relación de que el diámetro sea 2 veces la altura.

$$D = 2h$$

$$D = 1.12 * 2 = 2.24 \text{ m.}$$

$$D = 2.24 \text{ m.}$$

#### 9.2.2.1. Cálculo del factor de escalamiento.

$$\lambda = \text{Factor de escalamiento}$$

$$\lambda = \sqrt[3]{\text{flujo real/flujo total}}$$

$$\lambda = \sqrt[3]{(4.375 \text{ m}^3/0.001 \text{ m}^3)} = 16.36$$

$$\lambda = 16.36$$

#### 9.2.2.2. Diseño del agitador para flocular.

d: diámetro horizontal de las aspas.

y: altura de la paleta de la aspa.

Da: longitud horizontal de la paleta.

$$d = 9 \text{ cm}$$

$$y = 1.4 \text{ cm}$$

$$Da = 4.5 \text{ cm}$$

Multiplícalos por el factor de escalamiento:

$$d = 9 \text{ cm} * 16.36 = 147.24 \text{ cm} = 1.4724 \text{ m}$$

$$y = 1.4 \text{ cm} * 16.36 = 22.904 \text{ cm} = 0.22904 \text{ m}$$

$$Da = 4.5 \text{ cm} * 16.36 = 73.62 \text{ cm} = 0.7362 \text{ m}$$

Considerando datos bibliográficos, la propela se ubicará a 25 cm del fondo hacia arriba.

9.2.2.3. Cálculo de la potencia necesaria para mover las aspas.

Son 90 RPM aproximadamente las de la propela de el laboratorio por lo tanto son 1.5 RPS. Se relaciono que la propela del laboratorio mide 0.09 m y da 1.5 RPS y la propela de nuestra propuesta mide 1.4724 m y tarda 25 seg en dar una vuelta.

Mi base de cálculo es 1 segundo.

$$T = F * L$$

$$F = V * \rho$$

T = Trabajo

F = Fuerza

D = Distancia del cilindro interno

V = Volumen del cilindro interno

$\rho$  = Peso especifico del agua

L = Longitud que recorre el aspa en 1 seg.

Se calcula el volumen del cilindro internó que se forma con el movimiento de la propela.

$$V = \frac{1}{4} * \pi * D^2 * h$$

$$\text{Donde } D = 1.4724 \text{ m y } h = 1.12 \text{ m}$$

$$V = \frac{1}{4} * \pi * (1.4724)^2 * 1.12 = 1.91 \text{ m}^3$$

$$V = 1.91 \text{ m}^3$$

$$L = (\pi * D) + (\frac{1}{2} * \pi * D)$$

$$L = (\pi * 1.4724 \text{ m}) + (\frac{1}{2} * \pi * 1.4724 \text{ m}) = 6.94 \text{ m}$$

$$L = 6.94 \text{ m}$$

Conversiones:

$$V = (1.91 \text{ m}^3) (3.3^3 \text{ pie}^3 / \text{m}^3) = 68.53 \text{ pie}^3$$

$$L = (6.94 \text{ m}) (3.3 \text{ pie/m}) = 22.902 \text{ pie}$$

Cálculo:

$$F = (68.53 \text{ pie}^3) (62.4 \text{ lb/ pie}^3) = 4276.48 \text{ lb}$$

$$(4276.48 \text{ lb}) (22.902 \text{ pie})$$

$$T = \frac{\text{-----}}{25 \text{ seg.}} = 3917.59 \text{ lb.pie/seg.}$$

$$25 \text{ seg.}$$

$$T = 3917.59 \text{ lb.pie/seg}$$

Lo convertimos a Hp (1 Hp = 550 lb.pie/seg):

$$3917.59 \text{ lb.pie/seg.}$$

$$\text{Hp} = \frac{\text{-----}}{550 \text{ lb.pie/seg.}} = 7.12$$

$$550 \text{ lb.pie/seg.}$$

Se necesita un motor de 8 Hp.

#### 9.2.2.4. Dosis del floculante.

Para cada zona se escogió una dosis distinta basándonos en los resultados obtenidos en los análisis del laboratorio según la salinidad y TDS, puesto que estos análisis son los fundamentales para el uso que le daremos a nuestro producto.

Para zona sur:

Se obtuvo que la dosis adecuada es de 0.2 gr/l

$$(200 \text{ gr/m}^3)(4.375 \text{ m}^3/\text{hr}) = 875 \text{ gr/hr}$$

Si lo multiplicamos por 8 hr me da 7 000 gr/día.

Por lo tanto el dosificador debe tener una capacidad de 7 kg al día o de 875 gr/hr.

Para zona centro:

Se obtuvo que la dosis necesaria es de 1.2 gr/l.

$$(1\ 200 \text{ gr/m}^3)(4.375 \text{ m}^3/\text{hr}) = 5\ 250 \text{ gr/hr.}$$

Si lo multiplicamos por 8 hr me da 42 000 gr/día.

Por lo tanto el dosificador debe tener una capacidad de 42 kg al día o de 5 250gr/hr.

Para zona norte:

Se obtuvo que la dosis necesaria es de 1 gr/l.

$$(1\ 000 \text{ gr/m}^3)(4.375 \text{ m}^3/\text{hr}) = 4\ 375 \text{ gr/hr.}$$

Si lo multiplicamos por 8 hr me da 35 000 gr/día.

Por lo tanto el dosificador debe tener una capacidad de 35 kg al día o de 4 375 gr/hr.

### 9.2.3 Filtro de arena.

#### 9.2.3.1. Cálculo de la altura del filtro.

Nuestra base de cálculo es 4.375 m<sup>3</sup>/hr

El diámetro y altura del filtro de arena de laboratorio son:

$$H = 0.23 \text{ m}$$

$$D = 0.0732 \text{ m}$$

$$V = A * H$$

$$V = \pi * r^2 * H$$

$$\frac{H}{D} = \frac{0.23 \text{ m}}{0.0732 \text{ m}} = 3.14$$

$$\frac{H}{2r} = 3.14$$

Despejando r:

$$r = \frac{H}{2(3.14)} = \frac{H}{6.28}$$

Sustituir el valor de r en la fórmula del volumen:

$$V = (H/6.28)^2 * \pi * H$$

$$V = \frac{H^2}{39.44} * \pi * H$$

$$4.375 \text{ m}^3/\text{hr} = \frac{H^2}{39.44} * \pi * H$$

Despejando H

$$H = 3.8 \text{ m.}$$

9.2.3.2. Cálculo de la altura de la arena.

$$h = 0.185 \text{ m}$$

$$D = 0.0732 \text{ m}$$

$$V = A * h$$

$$V = \pi * r^2 * h$$

$$\frac{h}{D} = \frac{0.185 \text{ m}}{0.0732 \text{ m}} = 2.53$$

Despejando r:

$$\frac{h}{2r} = 2.53$$

$$r = \frac{h}{2(2.53)} = \frac{h}{5.05}$$

Sustituir el valor de r en la fórmula del volumen:

$$V = (H/5.05)^2 * \pi * H$$

$$V = \frac{H^2}{25.55} * \pi * H$$

$$4.375 \text{ m}^3/\text{hr} = \frac{H^2}{25.55} * \pi * H$$

Despejando H

$$H = 3.3 \text{ m.}$$

9.2.3.3. Cálculo el diámetro del filtro.

$$H = 3.14$$

D

$$D = \frac{3.8\text{m}}{3.14} = 1.2$$

$$D = 1.2 \text{ metros}$$

### 9.2.4. Filtro de carbón activado.

#### 9.2.4.1. Cálculo de la altura del filtro.

Nuestra base de cálculo es 4.375 m<sup>3</sup>/hr.

El diámetro y altura del carbón activado de laboratorio son:

$$H = 0.23 \text{ m}$$

$$D = 0.0732 \text{ m}$$

$$V = A * H$$

$$V = \pi * r^2 * H$$

$$H = 0.23 \text{ m}$$

$$\frac{H}{D} = \frac{0.23}{0.0732} = 3.14$$

$$D = 0.0732 \text{ m}$$

$$H$$

$$\frac{H}{D} = 3.14$$

$$2r$$

Despejando r:

$$r = \frac{H}{2(3.14)} = \frac{H}{6.28}$$

Sustituir el valor de r en la fórmula del volumen:

$$V = (H/6.28)^2 * \pi * H$$

$$V = \frac{H^2}{39.44} * \pi * H$$

$$4.375 \text{ m}^3/\text{hr} = \frac{H^2}{39.44} * \pi * H$$

Despejando H

$$H = 3.8 \text{ m.}$$

9.2.4.2. Cálculo de la altura del carbón activado.

$$h = 0.185 \text{ m}$$

$$D = 0.0732 \text{ m}$$

$$V = A * h$$

$$V = \pi * r^2 * h$$

$$h = 0.185 \text{ m}$$

$$\frac{V}{A} = \frac{V}{\pi * r^2} = 2.53$$

$$D = 0.0732 \text{ m}$$

$$h$$

$$\frac{V}{A} = 2.53$$

$$2r$$

Despejando r:

$$r = \frac{h}{2(2.53)} = \frac{h}{5.05}$$

Sustituir el valor de r en la fórmula del volumen:

$$V = (H/5.05)^2 * \pi * H$$

$$V = \frac{H^2}{25.55} * \pi * H$$

$$4.375 \text{ m}^3/\text{hr} = \frac{H^2}{25.55} * \pi * H$$

Despejando H

$$H = 3.3 \text{ m.}$$

9.2.4.3. Cálculo del diámetro del filtro.

$$\frac{H}{D} = 3.14$$

$$D = \frac{3.8 \text{ m}}{3.14} = 1.2$$

$$D = 1.2 \text{ m.}$$

### 9.2.5. Bomba centrífuga B-2

Se calcularan los Hp necesarios para subir el agua al tanque clorinador de dos formas distintas:

9.2.5.1 Primer cálculo de la potencia del motor de la bomba para subir el agua al clorinador.

$$\text{Potencia} = \frac{Q * \rho * H}{\eta}$$

Donde:

Q = flujo

$\rho$  = peso específico

H = altura total

$\eta$  = factor de fricción

Cálculos:

$$H_{\text{TOTAL}} = H_{\text{ESTRUCTURA}} + D_{\text{ESFERA}}$$

$$H_{\text{ESTRUCTURA}} + D_{\text{ESFERA}} = 3.5 \text{ m} + 5.12 \text{ m} = 8.62 \text{ m.}$$

$$H_{\text{TOTAL}} = 8.62 \text{ m.}$$

Conversiones:

$$H = (8.62 \text{ m}) (3.3 \text{ pie/m}) = 28.45 \text{ pie.}$$

$$Q = (4.375 \text{ m}^3/\text{hr}) (3.3^3 \text{ pie}^3/\text{m}^3) = 157.22 \text{ pie}^3/\text{hr.}$$

$$Q = (157.22 \text{ pie}^3/\text{hr}) (1\text{hr}/36000\text{seg}) = 0.04 \text{ pie}^3/\text{seg.}$$

$$V = 4 \text{ pie/seg.}$$

$$P = \frac{(0.04 \text{ pie}^3/\text{seg}) (62.4 \text{ lb/pie}^3) (28.45 \text{ pie})}{(0.6)} = 118.35 \text{ lb.pie/seg}$$

Lo convertimos a Hp (1 Hp = 550 lb.pie/seg):

$$\frac{118.35 \text{ lb.pie/seg}}{550 \text{ lb.pie/seg}} = 0.22$$

Se necesitara un motor de 1/4 HP

9.2.5.2 Segundo cálculo la potencia del motor de la bomba para subir el agua al clorinador.

Se usará acero comercial.

Con un de Flujo:

$$Q = 4.375 \text{ m}^3/\text{h} = 0.04 \text{ pie}^3/\text{seg.} = 17.952 \text{ GAL}/\text{min.}$$

1 lbm de flujo de agua será la base de cálculo.

Fórmula:

$$Z_1 \frac{g}{g_c} + P_1 V_1 + \left( \frac{V_1^2}{2} \alpha_{1g_c} \right) + \int_1^2 P dV + W_o = Z_2 \frac{g}{g_c} + P_2 V_2 + \left( \frac{V_2^2}{2} \alpha_{2g_c} \right) + \sum F + \sum F_e$$

Se desprecia:

$f_i^2 PdV$  por que el fluido es incomprensible (se usa en gases).

$\sum F_e$  por que el diámetro de la tubería es el mismo.

$$Z_1 \frac{g}{g_c} + P_1 V_1 + (V_1^2/2 \alpha_1 g_c) + W_o = Z_2 \frac{g}{g_c} + P_2 V_2 + (V_2^2/2 \alpha_2 g_c) + \sum F$$

Y como:

$$P_1 = P_2$$

$$V_1 = V_2$$

$$Z_1 \frac{g}{g_c} + W_o = Z_2 \frac{g}{g_c} + \sum F$$

$$\sum F = \sum 2f \frac{V^2 L}{g_c D}$$

Datos:

$$\rho_{\text{agua}} = 62.4 \text{ lbm/pie}^3$$

$$\mu = 1.12 \text{ C.P.} = 0.0007264 \text{ lb/seg.pie.}$$

Suponiendo una tubería de 3 plg de diámetro.

$$v = \frac{Q}{A}$$

$$A = \frac{1}{4} \pi D^2$$

$$D = 3 \text{ plg} (1 \text{ pie}/12 \text{ plg}) = 0.25 \text{ pie}$$

$$D = 0.25 \text{ pies}$$

Sustituyendo :

$$A = 0.785(0.25\text{pie})^2 = 0.049 \text{ pie}^2$$

$$A = 0.049 \text{ pie}^2$$

$$V = \frac{0.04 \text{ pie}^3/\text{seg}}{0.049 \text{ pie}^2} = 0.82 \text{ pie}/\text{seg}.$$

Numero de Reynolds:

$$Re = \frac{\rho v_s D}{\mu}$$

Donde:

$\rho$ : Densidad del fluido

$v_s$ : Velocidad del fluido

$D$ : Diámetro de la tubería a través de la cual circula el fluido

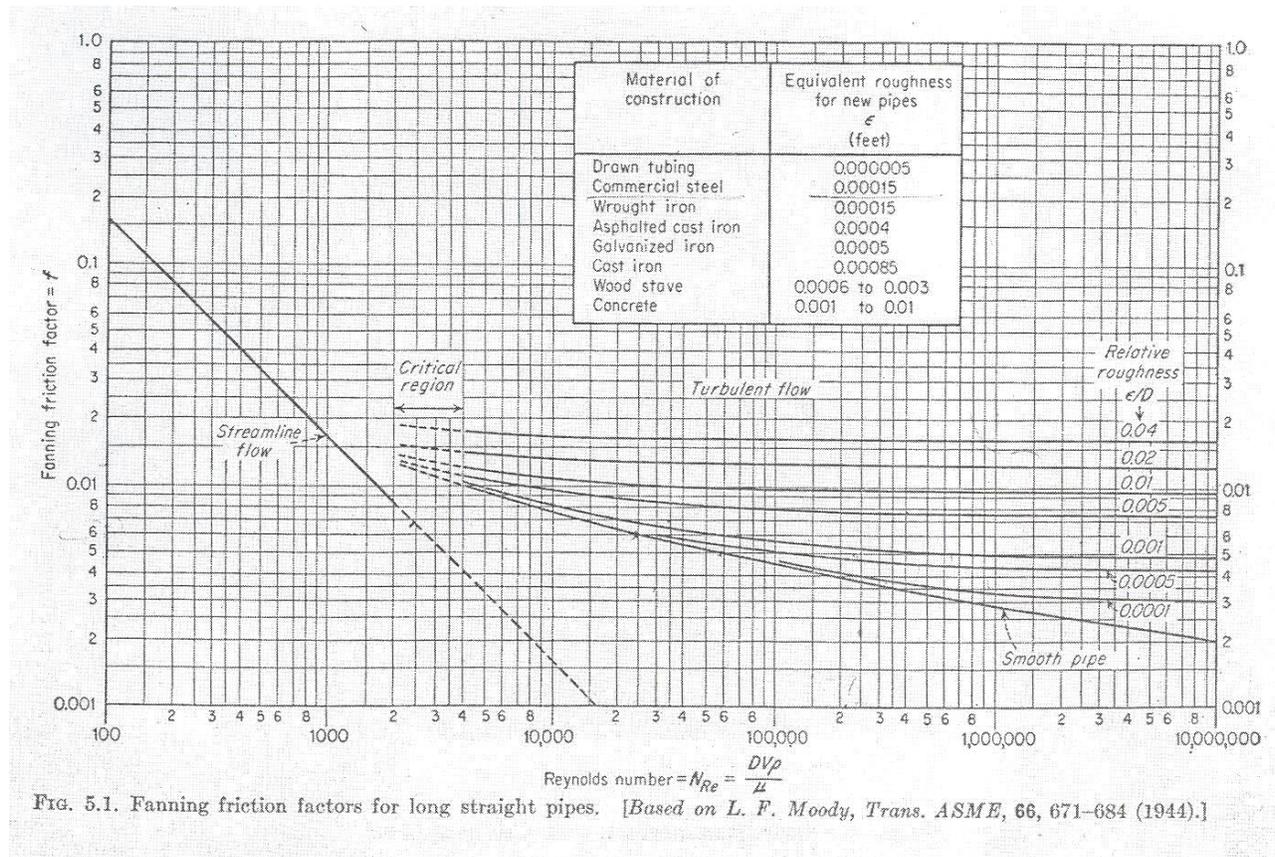
$\mu$ : Viscosidad dinámica del fluido

$$Re = \frac{(62.4 \text{ lbm}/\text{pie}^3)(0.82 \text{ pie}/\text{seg})(0.25 \text{ pie})}{0.0007264 \text{ lbm}/\text{seg}\cdot\text{pie}} = 17610.13$$

$$Re = 17610.13$$

Según la fig. 5.1 Factor de fricción de Fanning para acero comercial  $E = 0.00015$  pies.

Fig. No. 9.1 Factor de fricción de fanning.



$E = 0.00015$  pie

----- = ----- = 0.0006

$D = 0.25$  pie

Graficando en la Fig. 5.1 el valor del numero de Reynolds y  $E/D$  nos da un valor  $f =$  (Factor de fricción de Fanning) 0.007.

$f = 0.007$

$L_t = L + L_e$

Donde:

$L =$  Longitud de la tubería.

$L_e =$  Longitud equivalente.

Se usarán 2 codos de accesorios en la tubería y basándonos en la tabla 2 nos da un valor de  $L_e/D = 32$ .

TABLE 2. $L_e/D$ RATIOS FOR STANDARD PIPE FITTINGS	
<i>Fitting</i>	$L_e/D$
90° elbows.....	32
45° elbows.....	15
Square elbows (intersection of two cylinders).....	60
Couplings.....	Negligible
Unions.....	Negligible
Gate valve, open.....	7
Globe valve, open.....	300

Tabla No. 9.1 Proporciones para accesorios de tubo estándar.

Despejando  $L_e$ :

$L_e = 32(0.25 \text{ pie}) = 8 \text{ pies}$  multiplicándolo por 2 que será el número de codos necesarios nos da un valor de 16 pies.

$$L_e = 16 \text{ pies} \quad \text{y} \quad L = 28.45 \text{ pies.}$$

$$L_t = 16 \text{ pies} + 28.45 \text{ pies} = 44.45 \text{ pies}$$

$$L_t = 44.45 \text{ pies}$$

Formula para calcular  $\sum F$ :

$$\sum F = \sum 2f \frac{V^2 L}{g_c D}$$

$$\Sigma F = 2(0.007) \frac{(0.82 \text{ pie/seg})^2 (44.45 \text{ pies})}{(32.17 \text{ pie/seg}^2 \cdot \text{lbm/lbf}) (0.25 \text{ pie})} = 0.052 \text{ lbf.pie/lbm}$$

$$\Sigma F = 0.052 \text{ lbf.pie/lbm}$$

Calcular  $Z_1 g/g_c$  y  $Z_2 g/g_c$ :

Datos:

$$Z_1 = 0, Z_2 = 28.45 \text{ pies}, g_c = 32.17 \text{ pie/seg}^2 \cdot \text{lbm/lbf}, g = 32.17 \text{ pie/seg}^2$$

$$Z_1 g/g_c = 0$$

$$Z_2 g/g_c = 28.45 \text{ pies} (32.17 \text{ pie/seg}^2 \cdot \text{lbm/lbf} / 32.17 \text{ pie/seg}^2) = 28.45 \text{ lbf pies/ lbm}$$

$$Z_2 g/g_c = 28.45 \text{ lbf pies/lbm}$$

$$W_o = Z_2 g/g_c + \Sigma F$$

$$W_o = 28.45 \text{ lbf pies/lbm} + 0.052 \text{ lbf.pie/lbm} = 28.502 \text{ lbf.pie/lbm}$$

$$W_o = 28.502 \text{ lbf.pie/lbm}$$

$$\eta W_o = 28.502 \text{ lbf.pie/lbm}$$

$$W_o = \frac{28.502 \text{ lbf.pie/lbm}}{\eta}$$

$\eta$  = factor de fricción.

$$\eta = 60\%$$

$$W_o = \frac{28.502 \text{ lbf.pie/lbm}}{0.60} = 47.50 \text{ lbf.pie/lbm}$$

$$W_o = 47.50 \text{ lbf.pie/lbm}$$

Conversión:

$$W_o = (47.50 \text{ lbf.pie/lbm})(17.95 \text{ gal/min})(\text{pie}^3/7.48 \text{ gal})(62.4 \text{ lbm/pie}^3)(\text{min}/60\text{seg})(\text{Kw}/738 \text{ lbf.pie/seg}) = 0.161 \text{ Kw}$$

$$W_o = 0.161 \text{ Kw}$$

Conversiones a HP:

$$1 \text{ HP} = 550 \text{ lbf.pie/seg}$$

$$\text{Kw} = 738 \text{ lbf.pie/seg}$$

$$0.161 \text{ Kw}(738 \text{ lbf.pie/seg}/1 \text{ Kw}) = 118.818 \text{ lbf.pie/seg}$$

$$118.818 \text{ lbf.pie/seg}(1 \text{ HP}/550 \text{ lbf.pie/seg}) = 0.22 \text{ HP}$$

$$\text{HP} = 0.22$$

Se necesita un motor de  $\frac{1}{4}$  HP.

### 9.2.6. Clorinador.

Será un tanque esférico de plástico recubierto con fibra de vidrio con descarga por la parte inferior a través de una tubería de 4 plg, con una altura de 3.5 m. Requiriéndose para esto como anterior mente se menciono, 2 tanques de almacenamiento de 70 m<sup>3</sup> cada uno.

$$V = 4/3 * \pi * r^3$$

$$70 \text{ m}^3 = 4/3 * \pi * r^3$$

Despejando r:

$$r = 2.56$$

Por lo tanto cada esfera será de D = 5.12.

#### 9.2.6.1. Dosis del clorinador.

Se encontró que la dosificación típica de cloro en partes por millón (ppm) para aguas residuales es de 15-20 ppm. Se dosificará por medio de un tubo perforado.

Se escogió el valor máximo:

$$20 \text{ ppm} \rightarrow 0.020 \text{ gr/l}$$

$$(0.020 \text{ gr/l})(4.375 \text{ m}^3/\text{hr})(10^3 \text{ l/m}^3) = 87.5 \text{ gr/hr} / 4.375 \text{ m}^3 = 20 \text{ gr/ hr.m}^3$$

La capacidad del dosificador será 20 gr/ hr.m<sup>3</sup>

Cada tanque se llenará en dos días con tiempo de operación de 8hr por día, con un total de 4 días para llenar los tanques. Cada tanque tendrá un medidor que nos indique el nivel de agua y cuando volver a reiniciar la planta.

9.5.2. Cálculo del diámetro de la tubería por donde bajará el agua por gravedad.

$$Q = V * A$$

$$Q$$

$$A = \frac{Q}{V}$$

$$V$$

$$2.62 \text{ pie}^3/\text{min}$$

$$A = \frac{2.62 \text{ pie}^3/\text{min}}{240 \text{ pie}/\text{min}} = 0.01 \text{ pie}^2 (144 \text{ plg}^2) = 1.57 \text{ plg}^2$$

$$240 \text{ pie}/\text{min}$$

$$A = 1.57 \text{ plg}^2$$

$$A = \pi * r^2$$

Despejando r:

$$r = \sqrt{A / \pi}$$

$$r = \sqrt{1.57 \text{ plg}^2 / \pi}$$

$$r = 0.70 \text{ plg.}$$

$$D = 1.4 \text{ plg} \text{ aprox. } 1 \frac{1}{2} \text{ plg.}$$

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El ahorro del agua para uso doméstico es de 50% dado que el consumo de agua que no es directamente de carácter humano será reutilizado en otras actividades:

$$861 \times 4 = 3444 \quad 1 \times 50 = 17200 \quad 1 = 17.2 \text{ m}^3/\text{día.}$$

$$17.2 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$\text{-----} = .49$$

$$35 \text{ m}^3/\text{día}$$

Se obtiene un ahorro del 50 % del agua.

- Con la instalación de estas plantas se combate el desperdicio de agua principalmente doméstica.
- Se aprovecha la pendiente del terreno considerando el drenaje municipal, en la propuesta del diseño en las plantas por zonas, permiten ahorrar equipo principalmente para el movimiento del fluido líquido.
- De acuerdo al número de equipos y accesorio las plantas propuestas con respecto a las plantas comerciales tradicionales representan una gran economía debido al poco equipo utilizado.
- Si las aguas presentan un pH cercano al neutro y turbidez baja se puede a un mas obviarse equipo como el filtro de carbón activado o el de arena.
- El agua tratada y obtenida como producto solo podrá utilizarse en actividades que no tengan que ver con el consumo humano tales como riego de jardines, lavado de autos, lavado de patios y banquetas, baño de mascotas, etc.

## BIBLIOGRAFIA

1. Aya. H., G. Inoue, T. Okabe, and Y. Murayama, 1981, "Development of Compact Wastewater Treatment Plants for Non-potable Water Re-use System", water Reuse SYMPOSIUM, Washington, D.C., pp. 456-475.
2. Bailey, .A.D., G. S. Hansford, and P.L. Dold, 1994b, "The Use of Crossflow Microfiltration, A.D., G.S. Hansford, and Permormance of and Activated Sludge Reactor", Water Research, **28**:297-301
3. Cadi, Z., A. Huyard, J Manem, and R. Moletta, 1994, "Anaerobic Digestion of a Synthetic Wastewater Containing Starch by a Membrane Reactor", Environmental Technology, **15**:1029-1039.
4. Choi, Y.S., et. Al., 1992, "Microfiltration of MLSS in Activted Sludge System Treating Organic WasteWater", in Proc. IMSTEC '92, pp.397-402.
5. Engasser, J.M., 1988, "Bioreactor Engineering: The Desing and Optimisation of Reactor With Living Cells", Chemical Engineering Science, **43**(8):1739-1748.
6. Irwin, J. 1990. "On-site Wastewater Reclamation and Recycling", water Environment & Technology, pp. 90-91.
7. J.L. Bueno, H. Sastre y A.G. Lavín, Ficyt, Oviedo. "Contaminación e Ingeniería Ambiental'.
8. Krauth, K. H., and K. F. Staab, 1994, "Pressurized Biomembrane Reactor for Wastewater Treatment", Hydrotop, **94**:555-562.
9. Lapeña Boixareu Miguel Rigola, "Tratamiento de Aguas Industriales". Pp. 452.
10. Metcalf & Eddy, 1991, Wastewater Engineering Treatment Disposal and Reuse, 3d., McGraw-Hill, New York.
11. Millot, N., 1986, "Les lixiviats de Décharge Controlé, Caractérisation Anlytique, Etudes des Filières de Traitement", Ph. D. Dissertaton. INSA Lyon, Lyon, France.
12. Opazo M G 1991 Tecnología apropiada para agua potable. Fondo Rotatorio Editorial: p. 196.
13. Sato, T., and Y. Ishii, 1991 "Effects of Activated Sludge Properties on Water Flux of Ultrafiltration Membrane Used for Human Excrement Treatment", water Sciences Technology, **23**:1601-1606.

14. Nalco Chemical Company, Frank N. Kemmer, John McCallion, 1989 “Manual del agua: su naturaleza, tratamiento y aplicaciones”. Editorial interamericana de mexico S.A. de C.V.
15. George Tchobanoglous, 1996 “Ingeniería de aguas residuales: redes de alcantarillado y bombeo”. Editorial McGRAW-HILL.
16. Robert H. Perry, 1992 “Manual del Ingeniero Químico”. Editorial McGRAW-HILL.
17. Maria Salud Campos Rios, “Planta Piloto Multipropósito Operando a Condiciones Atmosféricas”, Tesis Licenciatura, Mexico D.F., 2000.
18. Alcotzi Nava Bernabé, “Planta Piloto”, Tesis Facultad de Quimica, UNAM, 1989.

◆ Revista Mensual "Dyna" Mayo-1998

◆ Enciclopedia Encarta de Microsoft.

<http://www.fao.org/NOTICIAS/1998/sewage-s.htm>

## ANEXO

### TÉCNICA PARA DETERMINAR LA DOSIS ÓPTIMA POR MEDIO DE LA PRUEBA DE JARRAS.

#### EQUIPO: TEST DE JARRAS

#### ESPECIFICACIONES:

Rango seleccionable:

- Rango bajo: 0-25 rpm
- Rango alto: 0-335 rpm

Capacidad: 6 Jarras de 2 Ltrs c/u.

#### REQUERIMIENTOS:

***Volt.: 120***

Amp.: 0.65

Hz.: 50-60

#### INSTRUCTIVO:

- Verificar que todas las jarras estén centradas.
- Controlar que todas las paletas estén centradas.
- Conectar el equipo.
- Encender las lámparas
- Programar agitación rápida 0-335 rpm
- Programar agitación lenta 0-25 rpm
- Conclusión de la prueba
- Apagar sistemas de controles
- Apagar la lámpara de la base
- Desconectar el equipo y dejar completamente limpio

## PROCEDIMIENTOS SIMPLES PARA LA PRUEBA EN JARRAS

Las pruebas en jarras se utilizan para determinar las dosis más efectivas de coagulante para un agua específica durante el control de la coagulación y floculación en una planta de tratamiento, especialmente cuando la calidad del agua fluctúa rápidamente. Se puede utilizar también con objeto de determinar las velocidades de sedimentación para el diseño de tanques de sedimentación y conocer el potencial del agua cruda para la filtración directa.

### SOLUCIONES QUÍMICAS

Se deben preparar soluciones madres de los coagulantes, coadyuvantes coagulantes y otros reactivos químicos a concentraciones tales que las cantidades adecuadas para utilizarse en las pruebas de coagulación se puedan medir exacta y convenientemente.

<b>Reactivo químico</b>	<b>Concentración de la solución madre</b>	<b>Vida</b>	<b>1 ml/lit de agua equivalente a</b>
Sulfato de aluminio	1%	1 mes	10 mg/lit
Cloruro férrico	1%	2 meses	10 mg/lit
Cal	1%	1 mes	10 mg/lit
Polielectrolito	0.05%	1 semana	0.5 mg/lit
Ácido sulfúrico	0.1 N	3 meses	4.9 mg/lit

- a Las suspensiones de cal se deben mezclar agitándolas cada vez que se utilicen.
- b Las soluciones de polielectrólito se deben utilizar de acuerdo con las instrucciones de los fabricantes.

## PROCEDIMIENTO DE LA PRUEBA EN JARRAS PARA EL TRATAMIENTO POR COAGULACIÓN

Las pruebas en jarras con coagulantes requieren un agitador de laboratorio de 6 plazas o aparato para la prueba en jarras, así como también seis vasos de 2 litros. El procedimiento para llevar a cabo la prueba es:

1. Colocar un vaso de 2 litros debajo de cada una de las paletas de agitación.
2. Colocar en cada vaso exactamente 2 litros medidos con una probeta graduada, de una muestra fresca del agua cruda.
3. Anotar en la hoja de datos la cantidad de coagulante que se debe añadir a cada vaso. Esta cantidad variará de vaso a vaso.
4. Con cada pipeta, añadir el coagulante en cantidades crecientes en vasos sucesivos. Por ejemplo: 10 mg. /l en el vaso #1, 20 mg/l en el vaso #2, etc.
5. Colocar las paletas de agitación dentro de los vasos, arrancar el agitador y operarlo durante 1 min. a una velocidad de 60 a 80 rpm.
6. Reducir la velocidad al grado seleccionado de agitación (normalmente 30 rpm. Aproximadamente y permitir que la agitación continúe durante unos 15 min. Se debe procurar que el grado y tiempo de agitación igualen las condiciones de operación de la planta de floculación.
7. Anotar cuánto tiempo transcurre antes de que se empiece a formar un flóculo.
8. Observar qué tan bien resiste éste, algo de agitación sin fragmentarse.
9. Una vez que transcurre el periodo de agitación, detener el agitador y anotar cuánto tiempo transcurre para que el flóculo se sedimente en el fondo del vaso.
10. Después de permitir que el flóculo se asiente durante 20 min, determinar el color y la turbiedad del sobrenadante (el líquido por encima de los flóculos).
11. En las hojas de registro se deben anotar las dosis, tiempo y velocidad de mezclado, pH, características de crecimiento de los flóculos y análisis del sobrenadante.
12. Después de permitir que el flóculo se asiente en el fondo durante 30 min., filtrar el sobrenadante a través de un papel filtro.
13. Filtrar otros 100 a 150 ml de muestra.
14. Determinar la turbiedad, pH, color y, si es necesario, el aluminio residual en el filtrado.

15. La jarra que proporcione los mejores resultados indica la dosis adecuada de coagulante para la planta en cuestión.

### **PRUEBAS EN JARRAS UTILIZANDO COAGULANTES MÁS COADYUDANTES DE COAGULACIÓN**

1. Para determinar si los polielectrólitos pueden ayudar al proceso de coagulación – floculación – sedimentación, se debe hacer lo siguiente: repetir la prueba en jarras utilizando la mejor dosis de coagulación determinada en el paso 15 anterior (o ligeramente por debajo de esta dosis), y añadir cantidades variables de coadyudante coagulante como se describe en el paso 4 anterior para la adición del coagulante. Las dosis de polielectrólito raras veces exceden de 1 mg/l .
2. Cuando se determine el uso de coadyudantes coagulantes, conserve una jarra con sulfato de aluminio únicamente. Compare entonces los resultados (cuando se utiliza sólo sulfato de aluminio) con los resultados obtenidos cuando se añade un coadyudante de coagulación al sulfato de aluminio.

### **PRUEBA DE SEDIMENTACIÓN**

Las pruebas de sedimentación se pueden efectuar en el vaso de prueba tomando muestras con una pipeta a una profundidad preseleccionada, una muestra antes de que se detenga el mezclado y las otras a intervalos de tiempo seleccionados después de detener el mezclado durante un total de aproximadamente 10 min. Se pueden efectuar análisis en las muestras para determinar las concentraciones de cualquier sustancia seleccionada como indicador, tal como Fe, Al, color o turbiedad. Entonces, se pueden graficar curvas de distribución de frecuencia acumulativa de las velocidades de sedimentación contra la concentración del indicador, a partir de éstas se pueden hacer estimaciones de las remociones que se deben esperar en la sedimentación (En Fair, Geyer y Okun, vol. II, 1978; Camp, 1946 e IRC, 1981b se describen las curvas de distribución de frecuencia acumulativa para el diseño de tanques de sedimentación).