

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ

REPORTE DE RESIDENCIA PROFESIONAL

Alumno:

Vázquez Villanueva José Alexis

Número de control:

13270816

Licenciatura:

Ingeniería Química

Proyecto:

Diseño y evaluación técnico-económica de una planta potabilizadora de 100 litros/segundo a partir de agua de río.

ÍNDICE

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| INTRODUCCIÓN | 4 |
| 1.0 GENERALIDADES | 6 |
| 1.1 JUSTIFICACIÓN | 6 |
| 1.2 OBJETIVOS | 6 |
| 1.2.1 Objetivo general | 6 |
| 1.2.2 Objetivo específico..... | 6 |
| 1.3 ALCANCE | 6 |
| 1.4 PROBLEMAS A RESOLVER | 6 |
| 1.5 CARACTERIZACIÓN DE LA EMPRESA Y ÁREA EN QUE SE DESARROLLÓ EL PROYECTO..... | 7 |
| 1.5.1 Fysis soluciones ambientales | 7 |
| 1.5.1.1 Misión..... | 7 |
| 1.5.1.2 Visión | 7 |
| 1.6 FUNDAMENTO TEÓRICO | 8 |
| 1.6.1 tipos de agua | 8 |
| 1.7 CALIDAD DE AGUA | 10 |
| 1.7.1 calidad de agua | 10 |
| 1.7.1.1 Análisis de la calidad del agua cruda..... | 12 |
| 1.8 DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO..... | 12 |
| 1.8.1 Diagrama de conceptual del proceso de potabilización de agua por ultrafiltración | 13 |
| 1.8.2 Diagrama conceptual del proceso de potabilización de agua por filtro de tasa declinante | 14 |
| 1.9 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO Y SELECCIÓN DE LA TECNOLOGÍA APLICADA | 15 |
| 1.9.1 Obra toma | 15 |
| 1.9.1.1 Concepto | 15 |
| 1.9.1.2 Suministro de agua a la planta | 15 |
| 1.9.1.3 Diseño de rejillas propuestas | 16 |
| 1.9.2 Cárcamo de bombeo | 18 |
| 1.9.2.1 Concepto | 18 |
| 1.9.2.2 Clasificación..... | 18 |
| 1.9.2.3 Cárcamo disponible..... | 19 |
| 1.9.3 Desarenación | 19 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 1.9.3.1 Concepto | 19 |
| 1.9.3.2 Diseño de un desarenador ciclónico | 20 |
| 1.9.3.3 Desarenador disponible | 20 |
| 1.9.4 Coagulación -floculación..... | 21 |
| 1.9.4.1 Adición de coagulante | 21 |
| 1.9.4.2 Adición de floculante | 22 |
| 1.9.4.3 Floculador..... | 23 |
| 1.9.4.4 Concepto | 23 |
| 1.9.4.5 Clasificación..... | 24 |
| 1.9.4.6 Elección del floculador más viable | 27 |
| 1.9.4.7 Diseño del floculador seleccionado | 27 |
| 1.9.5 Sedimentación | 30 |
| 1.9.5.1 Concepto | 30 |
| 1.9.5.2 Clasificación..... | 30 |
| 1.9.5.3 Sedimentadores | 30 |
| 1.9.5.3.1 Concepto | 30 |
| 1.9.5.3.2 Sedimentador disponible | 30 |
| 1.9.6 Desinfección | 31 |
| 1.9.6.1 Resultados de cálculo de la dosis de desinfección con hipoclorito de sodio..... | 32 |
| 1.9.6 Eliminación de hierro y manganeso | 32 |
| 1.9.6.1 Oxidación..... | 32 |
| 1.9.6.2 Resultados de dosis para oxidación | 33 |
| 1.9.6.3 Cantidad de Reactivo a Dosificar Remoción de Fe y Mn..... | 35 |
| 1.9.7 Tanque de desinfección y oxidación..... | 35 |
| 1.9.7.1 Concepto | 35 |
| 1.9.7.2 Diseño del tanque de desinfección y oxidación | 36 |
| 1.9.8 Ultra filtración | 36 |
| 1.9.8.1 Concepto | 36 |
| 1.9.8.2 Tecnología seleccionada | 37 |
| 1.9.8.3 Reactivos requeridos para mantenimiento de membranas | 37 |
| 1.9.8.4 Costos de inversión de la primera propuesta (ultrafiltración)..... | 39 |
| 1.9.9 Filtro de tasa declinante y lavado mutuo | 41 |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 1.9.9.1 Concepto | 41 |
| 1.9.9.2 Diseño de filtro de tasa declinante | 41 |
| 1.9.8.4 Costos de inversión de la segunda propuesta (filtros de tasa declinante) | 43 |
| 1.9.9 Resultados | 45 |
| 2.0 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 46 |
| 3.0 COMPETENCIAS DESARROLLADAS Y/O APLICADAS | 46 |
| 4.0 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 47 |
| 3.0 ANEXOS | 48 |

INTRODUCCIÓN

El agua es una sustancia elemental que permite la vida en nuestro planeta, es un líquido incoloro, inodoro e insípido. Tiene una gran influencia en los procesos bioquímicos que ocurren en la naturaleza. Esta influencia no solo se debe a sus propiedades fisicoquímicas como molécula bipolar sino también a los constituyentes orgánicos e inorgánicos que se encuentran en ella.

Se considera que el agua es un solvente universal, debido a que es capaz de disolver o dispersar la mayoría de sustancias con las que tiene contacto, sean estas sólidas, líquidas o gaseosas, y de formar con ellas iones, complejos solubles e insolubles, coloides o simplemente partículas dispersas de diferente tamaño y peso.

La mayoría de las aguas superficiales y algunas subterráneas contienen partículas de un tamaño demasiado pequeño como para poder ser removidas por sedimentación convencional. Estas partículas pueden tardar hasta meses en decantar de manera natural debido a su tamaño y principalmente por sus fuerzas electrostáticas. Estas fuerzas son el producto de cargas eléctricas que tienden a mantener las partículas en suspensión ya que se repelen unas de otras. Estos sólidos son conocidos como sólidos en suspensión, coloidales o disueltos, dependiendo de su origen y química. Comúnmente tienen carga negativa la cual crea la fuerza de repulsión que las mantiene en suspensión. Esta fuerza es conocida como potencial Zeta.

Las partículas en suspensión pueden ser organismos biológicos, bacterias, virus, material orgánico o inorgánico. En conjunto le brindan a un agua una apariencia turbia conocida técnicamente como turbidez. Este parámetro de calidad en un agua es objetable para los consumidores y suele estar acompañado por agentes biológicos patógenos y por ende deben removerse.

Para remover esta turbiedad comúnmente las plantas de tratamiento de agua agregan productos químicos que ayudan a acelerar la remoción de la misma. Estos químicos neutralizan el potencial Zeta y permiten que las partículas se aglomeren entre ellas y decanten. Este proceso es conocido como tratamiento convencional de un agua e incluye las siguientes etapas:

- Coagulación
- Floculación
- Decantación o sedimentación
- Filtración

Por otro lado la contaminación de los recursos hídricos superficiales es un problema cada vez más grave, debido a que estos se usan como destino final de residuos domésticos e industriales, sobre todo en las áreas urbanas e incluso en numerosas ciudades importantes del continente. Estas descargas son las principales responsables de la alteración de la calidad de las aguas naturales, que en algunos casos llegan a estar tan contaminadas que su potabilización resulta muy difícil y costosa por ende es indispensable conocer las características físicas, químicas y biológicas del agua antes de seleccionarla como fuente de agua cruda.

Cabe mencionar que en el presente proyecto se abordaran dos propuestas para la potabilización del agua, sin embargo el cambio entre una y otra radica solamente en la filtración por lo cual los equipos de proceso que no sean los filtros se conservaran tal cual en ambas propuestas como resultado de esto el diseño y análisis de los equipos hará una sola vez y servirán de referencia para ambos costeos.

1.0 GENERALIDADES

1.1 JUSTIFICACIÓN

Las propuestas de diseño generadas para la potabilización de agua del río Ayutla ubicado en el estado de Querétaro pretende no solo mejorar la calidad y cantidad de agua distribuida dentro del casco urbano si no también aprovechar los recursos que actualmente posee el cliente en cuanto a equipos y estructuras se refiere, de forma que se logre un correcto equilibrio entre el aprovechamiento de recursos existentes, solución al desabasto de agua y rentabilidad del proyecto.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo general

Diseñar un sistema de potabilización de agua potable a partir de agua de río para generar una producción de 100 lps.

1.2.2 Objetivo específico

Determinar conforme a la evaluación de tecnologías existentes para la potabilización del agua, la mejor opción desde el punto de vista del mejor costo operativo y de inversión.

1.3 ALCANCE

El presente proyecto tiene como alcance la generación de dos propuestas de proceso para potabilización de agua, el análisis, la selección y el diseño de algunos equipos principales de dichas propuestas planteadas tales como son: desarenador, floculador, tanque de desinfección-oxidación, filtros de tasa declinante y ultra filtración, así como la cuantificación de reactivos necesarios para operar la planta propuesta y el costo de inversión por cada una.

1.4 PROBLEMAS A RESOLVER

- Identificar las calidades del agua cruda
- Seleccionar de las tecnologías disponibles del mercado las más viables para desarrollo del proyecto.
- Desarrollar la ingeniería Básica en función de los equipos y condiciones del proceso propuesto.
- Evaluar los beneficios técnicos de la propuesta realizada.
- Contactar con los proveedores de tecnologías para realizar el costeo de inversión, el costo operativo y de mantenimiento

1.5 CARACTERIZACIÓN DE LA EMPRESA Y ÁREA EN QUE SE DESARROLLÓ EL PROYECTO

1.5.1 Fysis soluciones ambientales

Es una empresa constituida en Febrero de 2006 como respuesta a una preocupación por el medio ambiente, y buscando brindar soluciones de calidad a los problemas derivados del avance industrial. Por lo cual integramos un grupo de profesionistas especializados en diferentes disciplinas de la Ingeniería, Medio Ambiente, Saneamiento, Energía Renovable e Infraestructuras. Ubicada en Sierra Madre Centro de Negocios; Av. Gómez Morín 1101-311, Col. Carrizalejo, San Pedro Garza García, N.L., C.P. 66254.

1.5.1.1 Misión

Participar activamente en la mejora de nuestro ambiente, brindando las mejores soluciones técnico-económicas, y de esta manera contribuir al desarrollo sustentable en el mundo.

1.5.1.2 Visión

Ser la empresa líder de servicios en el área ambiental de México, ofreciendo nuestra experiencia, calidad y rapidez de respuesta de nuestros servicios. Buscando a través del desarrollo constante de nuestros recursos humanos, las mejores prácticas operativas y la innovación constante, brindar la mejor solución técnico-económica a nuestros clientes.

1.6 FUNDAMENTO TEÓRICO

1.6.1 tipos de agua

Hay diversas formas de clasificar al agua que nos rodea de la cual la clasificación por su procedencia o por el uso es la más común, dentro de estas clasificaciones podemos encontrar a las siguientes:

Agua potable

Llamamos agua potable al agua que podemos consumir o beber sin que exista peligro para nuestra salud. El agua potable no debe contener sustancias o microorganismos que puedan provocar enfermedades o perjudicar nuestra salud.

Para que el agua que captamos en embalses, pozos, lagos, etc. sea adecuada para el consumo humano, es necesario tratarla convenientemente para hacerla potable. Este proceso se denomina potabilización y se realiza en las plantas potabilizadoras.

Agua residual

Se denomina aguas servidas o residuales a aquellas que resultan del uso doméstico o industrial del agua. Son residuales pues, habiendo sido usada el agua, constituyen un residuo, algo que no sirve para el usuario directo; son negras por el color que habitualmente tienen.

Agua fósil

El agua fósil es agua subterránea que ha permanecido en un acuífero por milenios. El agua puede permanecer bajo el subsuelo alojada en acuíferos durante miles y quizás millones de años.

Agua salada

El agua salada es el agua de mar la cual posee una alta concentración de sales minerales disueltas, entre las que predomina el cloruro sódico, también conocido como sal de mesa.

Agua salobre

El agua salobre es agua con un nivel de salinidad entre el agua dulce y el agua del mar. En muchos lugares del mundo, el agua salobre aparece de forma natural y constituye un importante hábitat para algunas especies de animales únicos

Agua dulce

El agua dulce es agua que contiene cantidades mínimas de sales disueltas, distinguiéndose así del agua de mar o agua salobre. Toda agua dulce procede en origen de la precipitación de vapor de agua atmosférico que, o bien llega directamente a los lagos, los ríos y las aguas subterráneas, o bien lo hace por el derretimiento de la nieve o del hielo.

Agua dura

Se conoce como agua dura a aquella que dificulta el desarrollo de espuma al estar en contacto con jabón, debido a que presenta una elevada cantidad de bicarbonatos y carbonatos de magnesio y de calcio.

Agua blanda

El agua blanda es la que contiene una concentración relativamente baja de carbonato de calcio y otros iones.

El agua que genera espuma fácilmente con el jabón se llama agua blanda. Describe el tipo de agua que contiene pocos o ningún mineral, como los iones de calcio (Ca) o magnesio (Mg). Por lo general, el término es relativo al agua dura, que sí que contiene cantidades importantes de estos iones.

Por lo general, el agua blanda procede de fuentes con turba o rocas ígneas, como el granito, pero también puede proceder de fuentes con arenisca, puesto que, por lo general, estas rocas sedimentarias contienen poco calcio y magnesio.

Aguas grises

Las aguas grises son aquellas que salen por los desagües de bañeras, lavabos, pilas de la cocina, lavavajillas o lavadoras. Estas aguas, con un tratamiento sencillo, pueden ser fácilmente reutilizadas para diversidad de usos

Agua bruta

El agua bruta o agua cruda es el nombre que recibe el agua que no ha recibido ningún tratamiento, y que generalmente se encuentra en fuentes y reservas naturales de aguas superficiales y subterráneas.

1.7 CALIDAD DE AGUA

1.7.1 calidad de agua

Tabla 1 .Comparativa de calidades de agua según NOMS vigentes y Río Ayutla

| CARACTERÍSTICAS | Unidades | LIMITE PERMISIBLE | | Calidad del Efluente | | Calidad de Agua Río Ayutla | |
|---------------------------------|------------|-----------------------------------------------------------------|--------|-------------------------------------|--|----------------------------|--------------|
| | | NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-127-SSA1-1994 | | Comisión Estatal de Aguas Querétaro | | Estiaje | Lluvias |
| CARACTERÍSTICAS BACTERIOLÓGICAS | | | | | | | |
| Coliformes Totales | NMP/100 ml | 2 | | | | Presencia | Presencia |
| Coliformes Fecales | NMP/100 ml | 0 | | 0 | | Presencia | Presencia |
| Giardialamblia | Quistes/l | < 0/20 | | | | | |
| Microsistina LR | g/l | | | < 1 .0 | | | |
| CARACTERÍSTICAS ORGANOLÉPTICAS | | | | | | | |
| Color Aparente | U. Pt-Co | 20 unidades de color verdadero en la escala de platino-cobalto. | | | | 0 | 200 |
| Olor y Sabor | | Agradable | | | | Agradable | Desagradable |
| Turbiedad | UTN | 5 | | 3 | | 0.43 | 96.8 |
| CARACTERÍSTICAS FÍSICAS | | | | | | | |
| Aluminio | mg/l | 0.2 | < 0.20 | < 0.10 | | 3.389 | |
| Antimonio | mg/l | | | < 0.02 | | | |
| Arsénico | mg/l | 0.05 | | | | < 0.005 | < 0.005 |
| Bario | mg/l | 0.7 | | < 0.70 | | 0.049 | 1.862 |
| Cadmio | mg/l | 0.005 | | < 0.003 | | < 0.001 | 0.0045 |
| Cianuros (como CN-) | mg/l | 0.07 | | < 0.07 | | | |
| Cloro residual libre | mg/l | 0.2 | | 1.5 | | 1.5 | |
| Cloruros (como Cl-) | mg/l | 250 | | | | < 10 | < 10 |
| Cobre | mg/l | 2 | | < 2.00 | | < 0.20 | < 0.20 |
| Cromo total | mg/l | 0.05 | | < 0.05 | | < 0.010 | 0.025 |
| Dureza total (como CaCO3) | mg/l | 500 | | | | 193.23 | 297.94 |
| Fenoles o compuestos fenólicos | mg/l | 0.001 | | | | | |
| Fierro | mg/l | 0.3 | | < 0.030 | | < 0.150 | 4.96 |
| Fluoruros (como F-) | mg/l | 1.5 | | < 1.5 | | < 0.112 | < 0.112 |
| Manganeso | mg/l | 0.15 | | < 0.015 | | < 0.075 | 0.078 |

| | | | | | | | |
|--------------------------------------------------------------------------|---------|-------|-----|---------|-----|---------|--------|
| Mercurio | mg/l | 0.001 | | | | < 0.001 | 0.0013 |
| Nitratos (como N) | mg/l | 10 | | < 10 | | < 1.03 | < 1.03 |
| Nitritos (como N) | mg/l | 0.05 | | < 0.06 | | <0.01 | 0.012 |
| Nitrógeno amoniacal (como N) | mg/l | 0.5 | | | | | |
| Niquel | mg/l | | | < 0.02 | | | |
| pH (potencial de hidrógeno) en unidades de pH | mg/l | 6.5 | 8.5 | 6.5 | 8.5 | 6.8 | 7.1 |
| Plaguicidas en microgramos/l: Aldrín y dieldrín (separados o combinados) | mg/l | 0.03 | | < 0.03 | | | |
| Clordano (total de isómeros) | mg/l | 0.3 | | < 0.20 | | | |
| DDT (total de isómeros) | mg/l | 1 | | < 1 | | | |
| Gamma-HCH (lindano) | mg/l | 2 | | < 2.00 | | | |
| Hexaclorobenceno | mg/l | 0.01 | | < 1.00 | | | |
| Heptacloro y epóxido de heptacloro | mg/l | 0.03 | | < 0.03 | | | |
| Metoxicloro | mg/l | 20 | | < 20.00 | | | |
| 2,4 - D | mg/l | 50 | | < 1.00 | | | |
| Plomo | mg/l | 0.025 | | | | < 0.005 | 0.054 |
| Sodio | mg/l | 200 | | | | < 20 | < 20 |
| Sólidos disueltos totales | mg/l | 1000 | | | | 192 | 211 |
| Sulfatos (como SO4) | mg/l | 400 | | | | < 9.98 | < 9.98 |
| Sustancias activas al azul de metileno (SAAM) | mg/l | 0.5 | | < 0.5 | | | |
| Trihalometanos totales | mg/l | 0.2 | | < 0.20 | | | |
| Zinc | mg/l | 5 | | < 5 | | | |
| Selenio | mg/l | | | < 0.01 | | | |
| Conductividad Eléctrica | mhos/cm | | | | | 369 | 401 |
| Compuestos Orgánicos halogenados adsorbibles fijos | g/l | | | < 0.5 | | | |
| Compuestos Orgánicos no halogenados | g/l | | | < 10 | | | |
| Compuestos Orgánicos halogenados adsorbibles purgables | g/l | | | < 1.0 | | | |
| Carbono orgánico purgable | g/l | | | < 10 | | | |
| CARACTERÍSTICA RADIATIVAS | | | | | | | |
| Radiactividad alfa global | Bq/l | 0.1 | | < 0.56 | | | |
| Radiactividad beta global | Bq/l | 1 | | < 1.85 | | | |

1.7.1.1 Análisis de la calidad del agua cruda

El agua que se desea trabajar según la NOM 127 SSA1 y los requerimientos vigentes de la comisión estatal del agua de Querétaro presenta parámetros fuera de estas en épocas de lluvia, tales como turbiedad alta, presencia de aluminio, bario, cadmio, fierro al igual que color y sabor desagradable por lo que la selección de tecnologías se hará para cumplir con dichas NOMS vigentes.

1.8 DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO

El objetivo final de la planta potabilizadora debe ser la eliminación total de materia orgánica, sólidos en suspensión, color, turbidez, metales como hierro y manganeso, para finalmente llegar a la desinfección final del agua a tratar. Para ello se proponen dos tecnologías diferentes centradas en la filtración después de oxidar los metales pesados, en la primer propuesta se plantea un proceso por ultra filtración y en la segunda uno por filtros de tasa declinante. A continuación se especifican las unidades de proceso que se requieren en la planta de potabilización de acuerdo a las características requeridas de diseño:

Línea de agua:

- Captación superficial desde el rio Ayutla .
- Desarenador ciclónico: adición de coagulante.
- Cámara de floculación y adición de floculante.
- Decantación.
- Oxidación y Desinfección final mediante hipoclorito sódico
- Filtración
- Depósitos de agua tratada.

Línea de lodos:

- Purga de fangos del decantador lamelar.
- Espesado de fangos por gravedad.

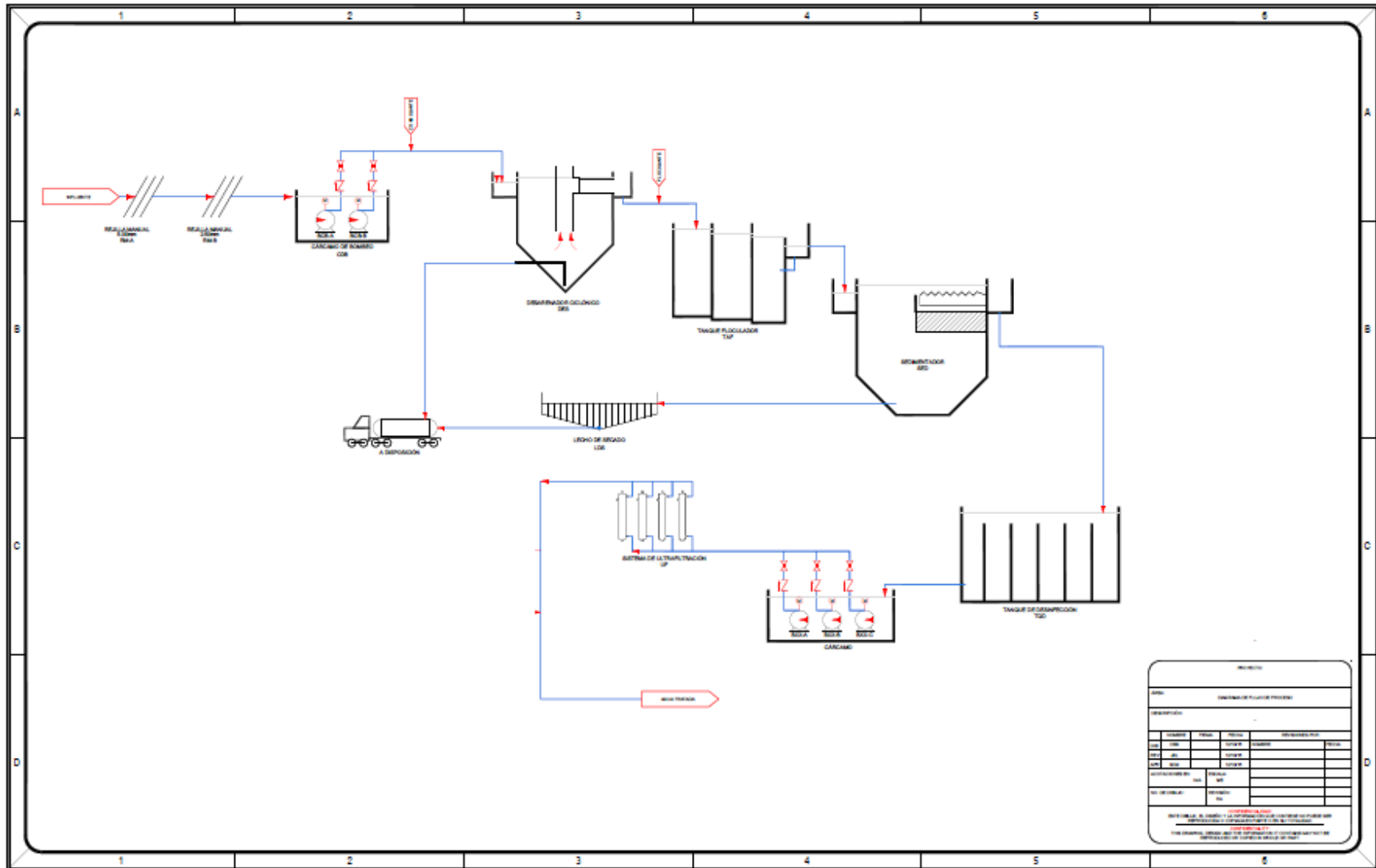
Elementos auxiliares:

- Instalación de agua y aire industrial.
- Red de drenajes y vaciados.

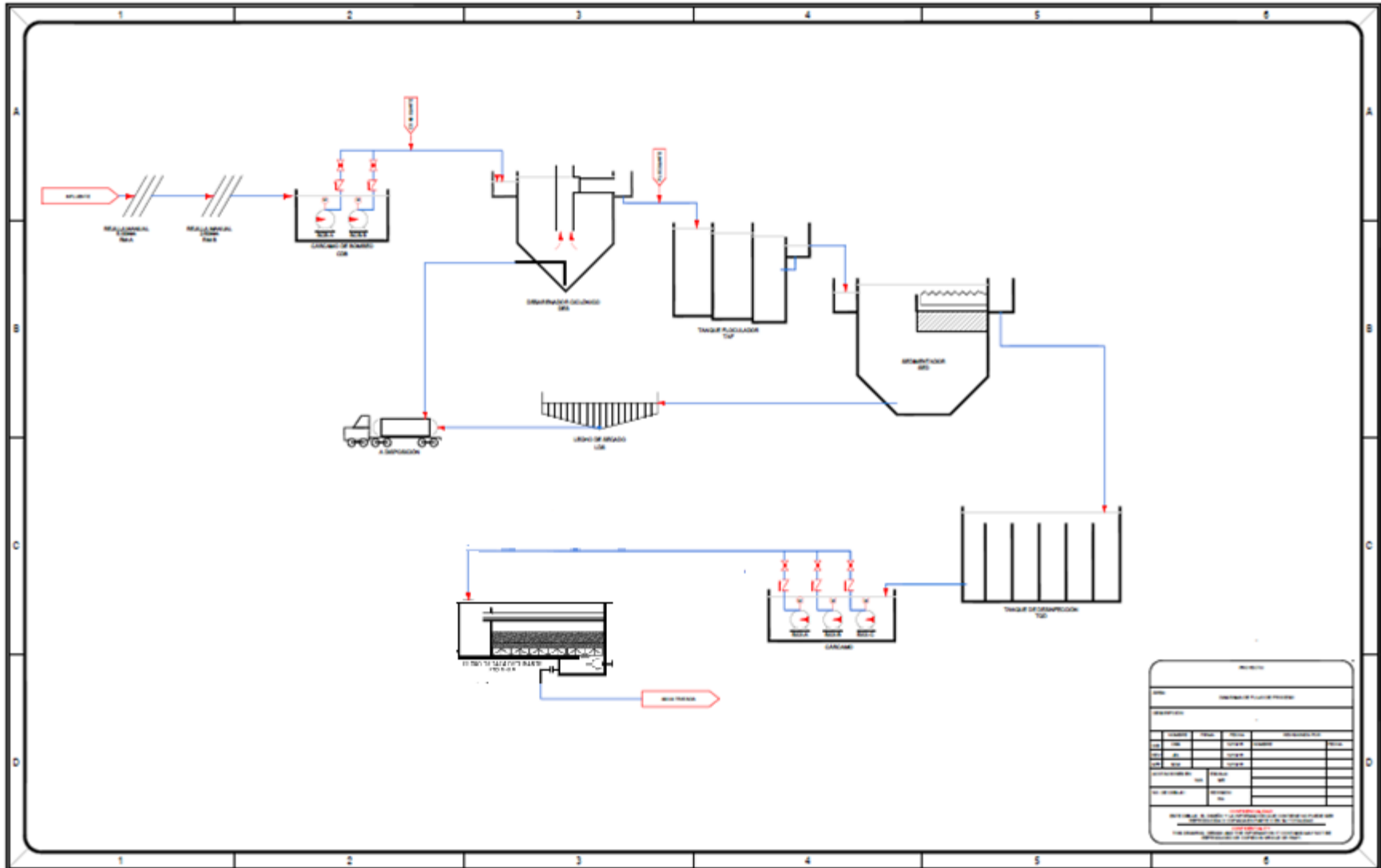
Reactivos:

- Oxidación, desinfección y mantenimiento: Hipoclorito de sodio
- Mantenimiento de membranas: ácido sulfúrico
- Mantenimiento de membranas: hidróxido de sodio
- Coagulante: Sulfato de Aluminio
- Floculante: polímero

1.8.1 Diagrama de conceptual del proceso de potabilización de agua por ultrafiltración



1.8.2 Diagrama conceptual del proceso de potabilización de agua por filtro de tasa declinante



1.9 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO Y SELECCIÓN DE LA TECNOLOGÍA APLICADA

1.9.1 Obra toma

1.9.1.1 Concepto

Se denomina obra de toma al conjunto de estructuras que se construyen con el objeto de extraer el agua de forma controlada y poder utilizarla con el fin para el cual fue proyectado su aprovechamiento. De acuerdo con el aprovechamiento se proyectan obras de toma para presas de almacenamiento, presas derivadoras, plantas de bombeo y tomas directas en corrientes permanentes.¹

1.9.1.2 Suministro de agua a la planta

La toma de captación de agua de río a la planta potabilizadora está cubierta por el cliente, la llegada a esta consta de un canal rectangular de 0.60 m de profundidad considerando el bordo libre (0.2m) y un ancho de 0.8 m, dicho canal desemboca a un cárcamo de bombeo de 14 m³. Se propone agregar dos rejillas medianas de 50 mm x 25 mm antes de la llegada al cárcamo, esto con la finalidad de evitar desgaste excesivo de las bombas y mantenimientos constantes al cárcamo de bombeo.

¹ Secretaria de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación (SAGARPA). Obras de toma para aprovechamientos hidráulicos. Montecillo: Mexico.

1.9.1.3 Diseño de rejillas propuestas

| Rejilla manual de 50 mm | | | | | | |
|--------------------------------|-----|-------------------|---|-------------|------------|-------------------|
| Datos de Proceso | | | | | | |
| Flujo | Q | m ³ /s | = | 0.11 | 9,504.00 | m ³ /d |
| Temperatura | T | °C | = | 14.60 | | |
| Canal de Entrada | | | | | | |
| Ancho | W | m | = | 0.80 | | |
| Tirante Hidraulico | h | m | = | 0.40 | | |
| Area | A | m ² | = | 0.32 | | |
| Radio Hidráulico | Rh | m | = | 0.13 | | |
| Velocidad antes de las rejas | V | m/s | = | 0.34 | | |
| Bordo libre | hb | m | = | 0.2 | | |
| Criterios de Diseño | | | | | | |
| Espesor de la barra | db | m | = | 0.015 | | |
| Inclinación | θ | ° | = | 30 | | |
| Apertura de rejillas manuales | C | m | = | 0.05 | 1.96850394 | in |
| Limpieza | | | = | Manual | | |
| Cálculos | | | | | | |
| Longitud de la reja | L | m | = | 1.2 | | |
| Número de espacios | n | espacios | = | 12 | | |
| Número de barras | n-1 | barras | = | 11 | | |
| Velocidad de acercamiento | Va | m/s | = | 0.35 | | |
| Área de las rejas | Ar | m ² | = | 0.07 | | |
| Velocidad a través de las reja | Vr | m/s | = | 0.44 | | |
| Gravedad | g | m/s ² | = | 9.81 | | |
| Pérdida de carga hidráulica | hL | m | = | 0.005176933 | | |

| Rejilla manual de 25 mm | | | | | | |
|------------------------------------|-----|-------------------|---|--------|------------|-------------------|
| Datos de Proceso | | | | | | |
| Flujo | Q | m ³ /s | = | 0.11 | 9,504.00 | m ³ /d |
| Temperatura | T | °C | = | 14.60 | | |
| Canal de Entrada | | | | | | |
| Ancho | W | m | = | 0.80 | | |
| Tirante hidraulico | h | m | = | 0.39 | | |
| Area | A | m ² | = | 0.32 | | |
| Radio Hidráulico | Rh | m | = | 0.13 | | |
| Velocidad antes de las rejillas | V | m/s | = | 0.34 | | |
| Bordo libre | hb | m | = | 0.2 | | |
| Criterios de Diseño | | | | | | |
| Espesor de la barra | db | m | = | 0.015 | | |
| Inclinación | θ | ° | = | 30 | | |
| Apertura de rejillas manuales | C | m | = | 0.025 | 0.98425197 | in |
| Limpieza | | | = | Manual | | |
| Cálculos | | | | | | |
| Longitud de la reja | L | m | = | 1.19 | | |
| Número de espacios | n | espacios | = | 19 | | |
| Número de barras | n-1 | barras | = | 18 | | |
| Velocidad de acercamiento | Va | m/s | = | 0.35 | | |
| Área de las rejillas | Ar | m ² | = | 0.11 | | |
| Velocidad a través de las rejillas | Vr | m/s | = | 0.52 | | |
| Gravedad | g | m/s ² | = | 9.81 | | |
| Pérdida hidráulica | hL | m | = | 0.01 | | |

1.9.2 Cárcamo de bombeo

1.9.2.1 Concepto

Los cárcamos de bombeo son estructuras hidráulicas cuya función es elevar el agua de una cota inferior a otra superior. Los cárcamos de bombeo se usan para impulsar todo tipo de agua (residual, pluvial, industrial, etc.) cuando:

- La cota del área de donde se capta el agua es muy baja como para drenar por gravedad a colectores existentes o en proyecto.
- Se requiere drenar a zonas situadas fuera de la cuenca vertiente.
- El bombeo disminuya los costos para instalar el alcantarillado posterior para dar servicio a una zona determinada.²

1.9.2.2 Clasificación

Los cárcamos de bombeo se pueden clasificar de diversas formas acuerdo con:

- Su capacidad.
- El método de construcción empleado (en el sitio, prefabricados, etc.).
- La ubicación de las bombas.
- La fuente de energía (eléctrica, motores diesel, etc.).

Por su capacidad:

En la Tabla 2 se aprecia una clasificación de acuerdo con su capacidad para dos tipos de cárcamos (prefabricados y convencionales).

Tabla 2 Clasificación de los cárcamos de bombeo según su capacidad y método constructivo utilizado

| capacidad m ³ /s | clases/tipo |
|-----------------------------|----------------------|
| | Prefabricado |
| < 0.02 | Eyectores neumáticos |
| 0.006 - 0.03 | Cámara de succión |
| 0.006 - >0.1 | Cámara seca |
| | Convencional |
| 0.02 - 0.09 | Pequeño |
| 0.06 - 0.65 | Mediano |
| > 0.65 | Grande |

Fuente: Metcalf and Eddy 1985.

La capacidad de los cárcamos convencionales oscilan entre 0.02 y >0.65 m³ /s. Se emplean cuando:

² Comisión Nacional del Agua (CONAGUA)(2007). Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento; cárcamos de bombeo para alcantarillado, funcional e hidráulico. Tlalpan, México, D.F.

- 1) las condiciones locales impiden el uso de cárcamos prefabricados
- 2) la magnitud o la variación del caudal es tal que excede la capacidad manejada por las instalaciones prefabricadas. En otras palabras, cada uno es diseñado en forma específica para adecuarlo a las condiciones locales.

Por método constructivo

Los cárcamos prefabricados son suministrados en módulos que incluyen todos los equipos y componentes ya montados todo lo contrario de los cárcamos en sitio cuyos componentes se obtienen de diversas fuentes para finalmente armarlos.

Por ubicación de bombas

Los cárcamos de bombeo pueden poseer dos cámaras, una seca y otra húmeda. En la primera se colocan los equipos de bombeo, en tanto que en la segunda se almacena el agua. Esta combinación conforma un cárcamo seco. Para pequeños volúmenes, se usan cárcamos húmedos en los cuales el equipo de bombeo está sumergido en el agua, en tanto que el equipo eléctrico se ubica a pie del cárcamo.

1.9.2.3 Cárcamo disponible

El cliente dispone de un cárcamo de bombeo húmedo con volumen de 14 m³ del tipo convencional cuyas bombas sumergibles mantendrán un flujo constante de 110 lps, el agua llegada a este será impulsada con la carga necesaria para vencer el diferencial geométrico, las pérdidas de carga por longitud de tubería y pérdidas de carga por accesorios, hasta su llegada a un desarenador ciclónico.

1.9.3 Desarenación

1.9.3.1 Concepto

El desarenado tiene por objeto extraer del agua bruta la grava, arena y partículas minerales más o menos finas, con el fin de evitar que se produzcan sedimentos en los canales y conducciones, para proteger las bombas y otros aparatos de la abrasión, así como para evitar sobrecargas en las siguientes fases de tratamiento. En el desarenado se pretende eliminar las partículas superiores a 200 micras. Las granulometrías inferiores corresponden a los procesos de pre-decantación y decantación. Los desarenadores empleados en tratamientos de agua potable son generalmente rectangulares de tipo canal. Se trata simplemente de un canal donde la velocidad del agua se reduce, propiciando de esta forma la sedimentación de las partículas granulares.³

El criterio de diseño para desarenadores es la velocidad de sedimentación con base al tamaño de partícula suspendida en el agua.

³ David Casero (1987). Potabilización del agua, eoi.

1.9.3.2 Diseño de un desarenador ciclónico

| Desarenador | | | | |
|-------------------------------------------|--------------|-------------------------------------|---|------------|
| Datos de Proceso | | | | |
| Flujo | Q | m ³ /s | = | 0.11 |
| Temperatura | T | °C | = | 14.60 |
| Criterios de Diseño | | | | |
| Tamaño de partícula | d | mm | = | 0.21 |
| Peso específico | γ | | = | 1.3 a 2.7 |
| Cantidad de arena promedio | C | m ³ /1000 m ³ | = | 0.09 |
| Remoción | | % | = | 75% |
| Período de retención | t | s | = | 30.00 |
| Carga Hidráulica Superficial (Q promedio) | CHS promedio | m ³ /m ² d | = | 700 a 1600 |
| Carga Hidráulica Superficial (Q pico) | CHS pico | m ³ /m ² d | = | 2,160.00 |
| Factor Pico | FP | | = | 2.40 |
| Altura | H | m | = | 2.70 |
| Camará Superior radio | rs | m | = | 1.90 |
| Camará Inferior radio | ri | m | = | 0.90 |
| Cálculos | | | | |
| Caudal Pico | QP | m ³ /s | = | 0.26 |
| Volumen del Cilindro | Vc | m ³ | = | 30.62 |
| Volumen del Cono Truncado | Vt | m ³ | = | 13.10 |
| Volumen Total Real | Vr | m ³ | = | 43.72 |
| Tiempo de retención | t | s | = | 397.49 |
| Área Superficial | As | m ² | = | 11.34 |
| Carga Hidráulica Superficial (Q promedio) | CHS promedio | m ³ /m ² h | = | 838.10 |
| Carga Hidráulica Superficial (Q pico) | CHS pico | m ³ /m ² h | = | 1,980.95 |
| Profundidad | h | m | = | 3.86 |
| Volumen de arena | | m ³ /d | = | 7.13 |
| | | m ³ /d | = | 0.00 |
| Sólidos Suspendidos Totales | SST | mg/l | = | 290.00 |
| Sólidos en Suspensión Fijos | SSF | mg/l | = | 20.00 |
| Sólidos en Suspensión Fijos | SSF | cm ³ /m ³ | = | 9.10 |
| Volumen de Arenas por Influyente | Va1 | m ³ /día | = | 0.09 |
| | | | | |

1.9.3.3 Desarenador disponible

A pesar de ser factible el uso de desarenadores del tipo convencional como se describió anteriormente, el cliente tiene en existencia un desarenador del tipo ciclónico, por lo cual se pretende utilizar el ya existente para evitar incremento en el costo de inversión, además de poder implementar de esta forma un proceso de potabilización por gravedad. Se agrega a la entrada del desarenador coagulante para aprovechar el movimiento ciclónico dentro del equipo y de esta forma lograr una mezcla rápida.

1.9.4 Coagulación -floculación

La coagulación-floculación es el proceso mediante el cual se añaden compuestos químicos al agua para reducir las fuerzas que separan a los sólidos suspendidos menores a 10 μm (orgánicos e inorgánicos) para que formen aglomerados que sean removidos del agua por sedimentación.

El proceso se lleva a cabo en dos etapas. En la primera o coagulación, las fuerzas interpartícula, responsables de la estabilidad de los coloides, son reducidas o anuladas por la adición de reactivos apropiados. En la segunda o floculación, las colisiones entre las partículas favorecen el crecimiento de flóculos que puedan ser eliminados por sedimentación. Por ello, en la práctica la primera etapa se realiza mediante un mezclado rápido para dispersar el coagulante y favorecer su contacto con las partículas en suspensión en tanto que en la segunda, se efectúa una mezcla lenta con el fin de promover la formación y el aumento de tamaño y/o densidad de los flóculos formados. Estos últimos son eliminados finalmente del agua por medios físicos como la sedimentación, flotación o filtración. Los contaminantes que se eliminan por coagulación son aquellos que poseen un alto peso molecular y son hidrófobos.⁴

De esta forma, se elimina sólidos suspendidos, color aparente, material coloidal, algunos precursores de trihalometanos, y moléculas grandes que se adsorben poco en carbón activado. La coagulación floculación no sirve para eliminar compuestos orgánicos solubles.

1.9.4.1 Adición de coagulante

Se emplean derivados de aluminio y de hierro, la cal, y diversos polímeros. Los derivados de aluminio y/o de hierro, se hidrolizan rápidamente formando precipitados insolubles. Pero el alumbre (sulfato de aluminio) incrementa los sulfatos en el agua y forma flóculos difíciles de sedimentar, mientras que el hierro aumenta la concentración de cloruros en el agua y causa problemas a pH ácidos. La cal, $\text{Ca}(\text{OH})_2$, forma un flóculo muy denso y fácilmente sedimentable pero es difícil de manipular.

Entre los derivados del aluminio el más utilizado es el sulfato de aluminio, el sulfato de aluminio $(\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14,3 \text{H}_2\text{O})$, es por mucho el reactivo más usado. Su forma comercial se conoce como alumbre o sulfato de aluminio. Es un sólido cristalino grisáceo que contiene aproximadamente 17 % en masa de alúmina

⁴ Comisión Nacional del Agua (CONAGUA)(2007). Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento; Diseño de plantas potabilizadoras tipo de tecnología simplificada. México, D.F.

(Al₂O₃), soluble en agua. Se presentan en costales de gránulos o polvo y como solución concentrada. El aluminio en gránulos es dosificado con equipos gravimétricos a tanques que preparan una solución que es transportada al punto de aplicación. La solución es un líquido translúcido, se recomienda no utilizar disoluciones con concentraciones mayores a 8% de Al₂O₃ en masa a temperaturas cercanas a 0 °C, para evitar la sedimentación; se aplica mediante bombas dosificadoras.⁵

1.9.4.2 Adición de floculante

La floculación es la etapa siguiente a la coagulación. Es un proceso físico en el que pequeñas partículas desestabilizadas durante la coagulación se unen para formar partículas más grandes llamadas flóculos.

Los floculantes son compuestos químicos cuya finalidad se centra en acelerar el proceso de sedimentación de los flocs y disminuir la dosis del coagulante. Son materiales usados en concentraciones relativamente pequeñas y generalmente, de mayor costo que el coagulante principal. Se clasifican en: a) oxidantes (cloro y el ozono); b) polielectrolitos; c) sílice activada y d) agentes ponderados (arcilla). De ellos, los importantes en potabilización son los tres últimos, por su costo.

Los polielectrolitos son moléculas de cadena larga que tienen la capacidad de formar puentes y neutralizar los diferentes potenciales entre partículas. Existen varios tipos comerciales, los cargados positiva y negativamente, y los neutros. Generalmente se usan dosis de 0.1 a 1 mg/l. Están diseñados para ser solubles en agua, adsorber completamente o reaccionar rápidamente con la materia orgánica y no producir flóculos voluminosos para facilitar la filtración. Sus principales ventajas son reducir la demanda del coagulante, producir una menor cantidad de lodos y darle una mayor estabilidad al flóculo. Además, promueven la formación de lodos densos y fáciles de desaguar en lugar de lodos gelatinosos y poco manejables como son los que comúnmente se forman en la potabilizadora.⁵

La sílice activada es silicato de sodio tratado con ácido sulfúrico, sulfato de aluminio, dióxido de carbono o cloro. Una solución diluida de sílice activada es neutralizada con ácido y se deja reposar por 2 h cuidando que no gelifique. Esta solución posteriormente es diluida antes de ser añadida al agua. Sirve para incrementar la velocidad de la reacción, disminuir la dosis de coagulante, ampliar el pH de operación (de 7 a 11), y producir flóculos más resistentes y pesados.

⁵ Comisión Nacional del Agua (CONAGUA)(2007). Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento; Diseño de plantas potabilizadoras tipo de tecnología simplificada. México, D.F.

Como desventaja frente a los polímeros tiene la necesidad de controlar su dosificación en forma muy precisa.⁶

Las arcillas bentoníticas se usan para tratar agua con color, baja turbiedad o bajo contenido mineral pues los flóculos formados en estas condiciones con Al o Fe tienen una muy mala sedimentabilidad. La arcilla actúa entonces como lastre. La dosis exacta debe ser determinada en pruebas de jarras. Usualmente se emplean entre 10 y 15 mg/l. Otros agentes lastrantes que se han usado es la sílica en polvo, piedra caliza y carbón activado; este último, con la ventaja de remover otros compuestos por adsorción.

1.9.4.3 Floculador

1.9.4.4 Concepto

El objetivo del floculador es proporcionar a la masa de agua coagulada una agitación lenta aplicando velocidades decrecientes, favoreciendo los contactos o colisiones entre las partículas suspendidas, necesarios para su aglomeración y consolidación como flóculos, hasta que la suspensión de agua y flóculos salga de la unidad. La energía que produce la agitación del agua puede ser de origen hidráulico o mecánico. La colisión entre partículas suspendidas ocurre por tres mecanismos de transporte:

- Floculación pericinética o difusión Browniana debida a la energía térmica del fluido
- Floculación ortocinética o gradiente de velocidad, producida por la masa de agua en movimiento
- Sedimentación diferencial, debida a la colisión de partículas grandes con las más pequeñas, cuando las primeras precipitan lentamente y aglomeran a las segundas

Los factores que influyen en la floculación según son:

- La naturaleza del agua
- Las variaciones de caudal
- La intensidad de la agitación
- El tiempo de floculación
- El número de compartimentos de la unidad

⁶ Comisión Nacional del Agua (CONAGUA)(2007). Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento; Diseño de plantas potabilizadoras tipo de tecnología simplificada. México, D.F.

1.9.4.5 Clasificación

Los floculadores suelen clasificarse como mecánicos o hidráulicos de acuerdo con el tipo de energía utilizada para agitar la masa de agua

Por lo cual se suele clasificar del siguiente modo:

- Floculadores de contacto de sólidos, y
- floculadores de potencia o de disipación de energía.

Floculadores de contacto de sólidos

Los floculadores de contacto de sólidos o de manto de lodos son controlados por la concentración de sólidos (C). Sin embargo como esta varía continuamente, es necesaria una constante atención del operado, Debido a esto dichos floculadores no suelen ser utilizados en plantas de tratamiento de aguas a pesar de tener tamaños compactos características variables de acuerdo a los fabricantes.

La organización panamericana de la salud y Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, [OPS/CEPIS](2004) menciona que de ser considerados como alternativa de proyecto, además del costo, deberán examinarse los siguientes puntos:

- En cuanto al tamaño de la instalación, no son aconsejables para pequeñas comunidades, carentes de personal altamente calificado, necesario para su operación.
- El régimen de operación debe ser continuo o, por lo menos, por un periodo diario bastante largo, y no debe estar sujeto a variaciones de caudal, por la dificultad de formar y mantener un manto de lodos.
- Por el mismo motivo, se recomienda para aguas que mantengan más o menos constantes sus características fisicoquímicas, con variaciones de calidad imperceptibles.

Floculadores de potencia o disipación de energía

En los floculadores de potencia, las partículas son arrastradas por el flujo de agua a través del tanque de floculación. Normalmente, los gradientes de velocidad son prefijados en el proyecto. De acuerdo con la forma de disipación de energía, se pueden clasificar en:

Hidráulicos: Los floculadores hidráulicos son llamados así por aprovechar la energía hidráulica disponible a través de una pérdida de carga general o específica con relación al tiempo, en esta clasificación podemos encontrar principalmente los siguientes tipos:

a) de pantallas

Los floculadores hidráulicos más utilizados son los de pantallas, de flujo horizontal o de flujo vertical. En los primeros, el agua circula con un movimiento de vaivén, y en los segundos, la corriente sube y baja sucesivamente, contorneando las diversas pantallas (figura 6-12).

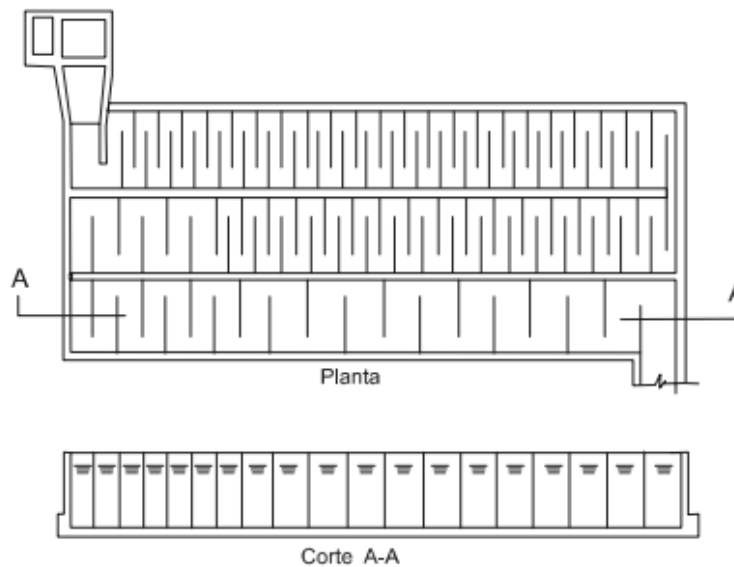


Figura 6-12. Floculadores de pantallas

Los floculadores de pantallas de flujo horizontal son más recomendables para pequeños caudales (menores a 50 lps), y las pantallas pueden ser hechas de madera o de láminas de asbesto-cemento. Por otro lado los floculadores de pantallas de flujo vertical pueden aplicarse a caudales mayores (superiores a 50 lps) sin mencionar que ocupan menor área.

b) Alabama

El floculador Alabama está constituido por compartimentos ligados entre sí por la parte inferior a través de curvas de 90° volteadas hacia arriba. El flujo es ascendente y descendente en el interior del mismo compartimento. Las boquillas permiten ajustar la velocidad a las condiciones de cálculo o de operación. Estas unidades son muy vulnerables a las variaciones de caudal. Fácilmente se pueden generar espacios muertos y cortocircuitos. (figura 6-13).

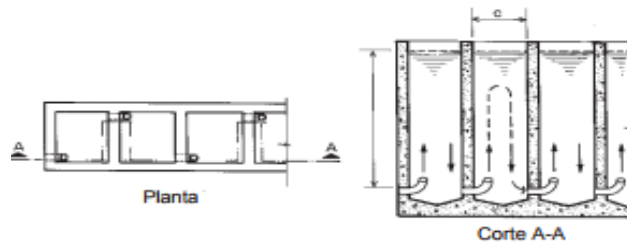


Figura 6-13. Floculador vertical tipo Alabama

c) Helicoidal

Los floculadores del tipo helicoidal aprovechan la energía hidráulica haciendo pasar el agua de forma tangencial por la parte superior y saliendo por la parte inferior a través de una curva dotada de unas guías paralelas como una turbina, de esta forma se hace posible lograr un movimiento helicoidal. (Figura 6-14).

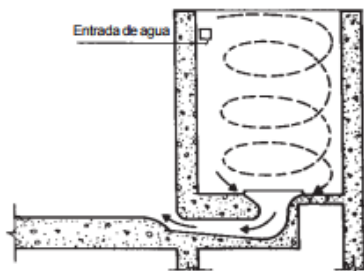


Figura 6-14. Floculador helicoidal

Mecánicos: Los floculadores mecánicos utilizan energía de una fuente externa, normalmente un motor eléctrico acoplado a un intercambiador de velocidades, con lo cual se puede manipular el gradiente de velocidad a conveniencia para formar floc sin desintegrarlo. Se pueden distinguir dos tipos principales de floculadores de este tipo como lo son los floculadores de paletas y los de turbina.

1.9.4.6 Elección del floculador más viable

Debido al gasto energético que conlleva el uso de floculadores mecánicos por la utilización de motores que requieren para su funcionamiento, se opta por la selección de un floculador hidráulico específicamente uno vertical de pantallas, esto considerándolo el más apto con respecto al flujo en la alimentación, área de construcción y calidades de agua en entrada.

1.9.4.7 Diseño del floculador seleccionado

| Floculador Hidráulico Vertical | | | | |
|-------------------------------------------------|----------------|-------------------|---|---------------------------|
| <u>Datos de Diseño</u> | | | | |
| Medidas de las mamparas | 1.2*2.44*.050 | metro | | Asbesto-Cemento |
| Medidas de las mamparas polipropileno | 1.2*2.4*.00635 | metro | | Poliestireno alto impacto |
| Flujo | Q | m ³ /s | = | 0.11 |
| <u>Volumen Total del Floculador</u> | | | | |
| Tiempo de Floculación | t | min | = | 20.00 |
| Volumen Total del Floculador | V | m ³ | = | 132.00 |
| <u>Ancho Total de la Unidad</u> | | | | |
| Profundidad media del agua en el floculador | H | m | = | 3.50 |
| Longitud del Floculador | L | m | = | 10.75 |
| Ancho Total de la Unidad | B | m | = | 3.51 |
| <u>Ancho del Canal (supuestos)</u> | | | | |
| Ancho del Primer Canal | b1 | m | = | 1.17 |
| Ancho del Segundo Canal | b2 | m | = | 1.17 |
| Ancho del Tercer Canal | b3 | m | = | 1.17 |
| <u>Tiempo de Retención</u> | | | | |
| Tramo 1 | t1 | min | = | 6.67 |
| Tramo 2 | t2 | min | = | 6.67 |
| Tramo 3 | t3 | min | = | 6.67 |
| <u>Gradiente de Velocidad (supuestos)</u> | | | | |
| Tramo 1 | G1 | s ⁻¹ | = | 60.00 |
| Tramo 2 | G2 | s ⁻¹ | = | 40.00 |
| Tramo 3 | G3 | s ⁻¹ | = | 20.00 |
| Tramo 4 | G4 | s ⁻² | = | |
| <u>Número de compartimentos entre pantallas</u> | | | | |
| Tramo 1 | m1 | | = | 30.57 |
| Tramo 2 | m2 | | = | 23.33 |
| Tramo 3 | m3 | | = | 14.70 |
| <u>Espesor de las pantallas</u> | | | | |
| Espesor de las pantallas | e | m | = | 0.007 |

| <u>Espaciamiento entre pantallas</u> | | | | |
|-----------------------------------------------------------|------|-----|---|--------|
| Tramo 1 | a1 | m | = | 0.35 |
| Tramo 2 | a2 | m | = | 0.45 |
| Tramo 3 | a3 | m | = | 0.73 |
| <u>Velocidad de los canales</u> | | | | |
| Tramo 1 | V1-1 | m/s | = | 0.27 |
| Tramo 2 | V1-2 | m/s | = | 0.21 |
| Tramo 3 | V1-3 | m/s | = | 0.13 |
| <u>Velocidades en los pasajes</u> | | | | |
| Tramo 1 | V2-1 | m/s | = | 0.18 |
| Tramo 2 | V2-2 | m/s | = | 0.14 |
| Tramo 3 | V2-3 | m/s | = | 0.09 |
| <u>Altura de agua en los pasajes</u> | | | | |
| Tramo 1 | e1 | m | = | 0.52 |
| Tramo 2 | e2 | m | = | 0.68 |
| Tramo 3 | e3 | m | = | 1.09 |
| <u>Altura de agua en los cambios de tramo</u> | | | | |
| Tramo 1-2 | e1-2 | m | = | 1.76 |
| Tramo 2-3 | e2-3 | m | = | 1.76 |
| <u>Extensión Total Canal</u> | | | | |
| Tramo 1 | l1 | m | = | 108.94 |
| Tramo 2 | l2 | m | = | 82.77 |
| Tramo 3 | l3 | m | = | 51.87 |
| <u>Radio Hidráulico del compartimento entre pantallas</u> | | | | |
| Tramo 1 | RH1 | m | = | 0.13 |
| Tramo 2 | RH2 | m | = | 0.16 |
| Tramo 3 | RH3 | m | = | 0.22 |
| <u>Coefficiente de la fórmula de Manning</u> | | | | |
| Coefficiente de la fórmula de Manning | n | | = | 0.02 |
| <u>Pérdida de carga continua en los canales</u> | | | | |
| Tramo 1 | h1-1 | m | = | 0.027 |
| Tramo 2 | h1-2 | m | = | 0.009 |
| Tramo 3 | h1-3 | m | = | 0.001 |
| <u>Pérdida de carga en las vueltas</u> | | | | |
| Tramo 1 | h2-1 | m | = | 0.121 |
| Tramo 2 | h2-2 | m | = | 0.054 |
| Tramo 3 | h2-3 | m | = | 0.014 |
| <u>Pérdida de carga total</u> | | | | |
| Tramo 1 | hf1 | m | = | 0.148 |
| Tramo 2 | hf2 | m | = | 0.063 |

| | | | | |
|--------------------------------------------------------------------|----------|------------------|---|----------|
| Tramo 3 | hf3 | m | = | 0.015 |
| <u>Volumen de cada tramo</u> | | | | |
| Tramo 1 | Vol1 | m ³ | = | 43.330 |
| Tramo 2 | Vol2 | m | = | 43.522 |
| Tramo 3 | Vol3 | m | = | 43.750 |
| <u>Propiedades físicas del agua</u> | | | | |
| Temperatura del agua | T | °C | = | 14.60 |
| Peso específico | γ | N/m ³ | = | 9799.00 |
| Viscosidad dinámica | μ | Pa*s | = | 1.18E-03 |
| Ráiz de γ/μ | | | = | 2881.71 |
| <u>Comprobación de Gradiente de Velocidad Total</u> | | | | |
| Tramo 1 | G1-1 | s-1 | = | 55.807 |
| Tramo 2 | G1-2 | s-2 | = | 36.354 |
| Tramo 3 | G1-3 | s-3 | = | 17.859 |
| <u>Comprobación de Gradiente de Velocidad en el Canal Vertical</u> | | | | |
| Tramo 1 | G2-1 | s-1 | = | 21.824 |
| Tramo 2 | G2-2 | s-2 | = | 12.519 |
| Tramo 3 | G2-3 | s-3 | = | 4.987 |
| Porcentaje de traslape de la long de las mamparas | %T | % | = | 0.55 |
| Ancho Total Propuesto | bt | m | = | 3.51 |
| Diferencia con el ancho calculado | B-bt | m | = | 0.00 |
| Pérdida de carga total | hft | m | = | 0.23 |

1.9.5 Sedimentación

1.9.5.1 Concepto

La sedimentación se define como la remoción por efecto de la gravitacional de las partículas en suspensión presentes en el agua, cuyo peso específico es mayor que dicho líquido.

1.9.5.2 Clasificación

Según la organización panamericana de la salud y el centro panamericano de ingeniería sanitaria la sedimentación puede clasificarse de cuatro tipos:

- *Sedimentación Simple:* Se le atribuye al proceso de depósito de partículas suspendidas que se lleva a cabo sin que estas cambien de características durante la caída (forma, tamaño, densidad).
- *Sedimentación de partículas Floculentas:* Se le atribuye al proceso de depósito de partículas cuyo origen es consecuencia de la desestabilización de partículas coloides debido a la aplicación de agentes químicos.
- *Sedimentación por caída libre:* Es denominada así al depósito de partículas sin interferir esto como resultado de la baja concentración de estas.
- *Sedimentación interferida:* Es denominada así al depósito masivo de partículas debido a múltiples colisiones originadas por las concentraciones altas de estas.

1.9.5.3 Sedimentadores

1.9.5.3.1 Concepto

Se define como sedimentador a aquel equipo de proceso en el cual se busca remover partículas suspendidas en el agua cuyo tamaño son inferiores a 0.2 mm y superiores a 0.05mm.

1.9.5.3.2 Sedimentador disponible

El diseño del sedimentador no fue alcance del proyecto, sin embargo la empresa en donde se llevó a cabo la residencia se encargó de este punto siguiendo las especificaciones de Brenwood , dando como resultado las siguientes especificaciones :

| | |
|--------------------------------------------------|----------------------|
| Ancho del tanque | 3.75 m |
| Altura hidráulica del tanque | 3.50 m |
| Área Transversal previo a entrada a baffle | 13.13 m ² |
| Altura del IFR 6000 | 0.61 m |
| Altura de soporte de IFR | 0.0508 m |
| Sumergencia del IFR 6000 | 0.635 m |
| Altura del baffle | 1.30 m |
| Altura de ingreso por debajo del baffle | 2.20 m |
| Área de flujo debajo de baffle | 8.27 m ² |
| Velocidad de flujo transversal debajo de baffle: | 0.0121 m/s |

1.9.6 Desinfección

El cloro es el principal compuesto empleado para la desinfección del agua, debido a su disponibilidad y bajo costo. Se usa en forma gaseosa, sólida o líquida y en forma pura o combinada. De los productos a base de cloro los más comunes son: cloro gas, hipoclorito de sodio, hipoclorito cálcico, dióxido de cloro, y cloraminas (cloro combinado).

La acción desinfectante del cloro ocurre como producto de las reacciones entre el ácido hipocloroso (HOCl) y el ion hipoclorito (OCI-) en las estructuras moleculares de las bacterias y virus, ya que inactivan la patogenicidad de organismos y agentes infecciosos. La tasa de desinfección depende de la concentración y forma en que se encuentre el cloro disponible, el tiempo de contacto, el pH, temperatura y otros factores.⁷

Tabla 3. Características de los desinfectantes

| Desinfectante | | | | | |
|--------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------|------------------|-----------|---------------------------|
| | Cloro libre | Cloro combinado | Dióxido de cloro | Ozono | Luz ultravioleta |
| Eficacia de desinfección | | | | | |
| Bacterias | Excelente | Buena | Excelente | Excelente | Buena |
| Virus | Excelente | Regular | Excelente | Excelente | Regular |
| Protozoarios | Regular a mala | Pobre | Buena | Buena | Excelente |
| Endoesporas | Buena a regular | Pobre | Regular | Excelente | Regular |
| Formación de químicos | | | | | |
| Subproductos | Forma 4 trihalometanos y 5 ácidos haloacéticos | Trazas de trihalometanos y haloacéticos | Clorito | Bromato | Ninguno |
| Aplicación Típica | | | | | |
| Dosis (mg/L) | 1-6 | 2-6 | 0.2-1.5 | 1-5 | 20-100 mJ/cm ² |

Fuente: CONAGUA.

Tabla 4. Características de los desinfectantes

| Compuesto de cloro | Dosis (mg/L) |
|-----------------------|--------------|
| Cloro gas | 1 a 16 |
| Hipoclorito de sodio | 0.2 a 2 |
| Hipoclorito de calcio | 0.5 a 5 |

Fuente: CONAGUA.

⁷ Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento; Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Pretratamiento y Tratamiento Primario. México, D.F.

1.9.6.1 Resultados de cálculo de la dosis de desinfección con hipoclorito de sodio

Tabla 5.- Cantidad de Reactivo a Dosificar

| Dosificación en húmedo | | | | |
|----------------------------------------------|---|--------|---|--------|
| Dosis que se requiere | D | g/m3 | = | 2.00 |
| Pureza del reactivo que se usa en porcentaje | P | % | = | 13.00 |
| Caudal de la planta | Q | m3/s | = | 0.11 |
| Volumen de solución de hipoclorito | q | mL/s | = | 1.41 |
| Kilogramos de NaOCl | | kg/día | = | 175.46 |

1.9.6 Eliminación de fierro y manganeso

1.9.6.1 Oxidación

La forma más viable para la eliminación de fierro y manganeso consiste en el proceso de oxidación-filtración el cual consta normalmente de un sistema de dosificación de productos químicos y filtros. Algunas veces se requiere un tanque de retención y un sistema de ajuste de pH con hidróxido de sodio (NaOH), hidróxido de calcio o cal hidratada Ca(OH)₂ o carbonato de sodio (Na₂CO₃). Como agentes oxidantes pueden usarse gas cloro o hipoclorito. Este proceso opera a pH mayor o igual a 8.4, pero se tienen deficiencias en el proceso de filtración por la formación de precipitados coloidales que pasan a través del filtro (Sommerfeld, 1999).

Tabla 6. reacciones de Fe (II) con algunos oxidantes y la cantidad teórica para oxidar 1.0 mg/L de Fe

| Reacción | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|
| $2\text{Fe}^{+2} + \frac{1}{2}\text{O}_2(\text{ac}) + 5\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{Fe}(\text{OH})_3(\text{s}) + 4\text{H}^+$ | |
| $2\text{Fe}^{+2} + \text{O}_3(\text{ac}) + 5\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{Fe}(\text{OH})_3(\text{s}) + \text{O}_2(\text{ac}) + 4\text{H}^+$ | |
| $2\text{Fe}^{+2} + \text{HOCl} + 5\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{Fe}(\text{OH})_3(\text{s}) + \text{Cl}^- + 5\text{H}^+$ | |
| $2\text{Fe}^{+2} + \text{ClO}_2 + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_3(\text{s}) + \text{ClO}_2^- + 3\text{H}^+$ | |
| $3\text{Fe}^{+2} + \text{MnO}_4^- + 7\text{H}_2\text{O} \rightarrow 3\text{Fe}(\text{OH})_3(\text{s}) + \text{MnO}_2(\text{s}) + 5\text{H}^+$ | |
| Oxidante | Cantidad estequiométrica teórica |
| O ₂ (ac) | 0.14 mg O ₂ /mg Fe |
| O ₃ (ac) → O ₂ (ac) | 0.43 mg O ₃ /mg Fe |
| HOCl | 0.64 mg HOCl/mg Fe |
| ClO ₂ | 1.2 mg ClO ₂ /mg Fe |
| KMnO ₄ | 0.94 mg KMnO ₄ /mg Fe |

Fuente: Knocke et al.1990

Tabla 7. reacciones de Mn (II) con algunos oxidantes y la cantidad teórica para oxidar 1.0 mg/L de Mn

| Reacción | |
|-------------------------------------------------------------------|----------------------------------|
| $Mn^{+2} + \frac{1}{2}O_2(ac) + H_2O \rightarrow MnO_2(s) + 2H^+$ | |
| $Mn^{+2} + O_3(ac) + H_2O \rightarrow MnOH_2(s) + O_2(ac) + 2H^+$ | |
| $Mn^{+2} + HOCl + H_2O \rightarrow MnO_2(s) + Cl^- + 3H^+$ | |
| $Mn^{+2} + 2ClO_2 + 2H_2O \rightarrow MnO_2(s) + 2ClO_2^- + 4H^+$ | |
| $3Mn^{+2} + 2KMnO_4 + 2H_2O \rightarrow 5MnO_2(s) + 4H^+$ | |
| Oxidante | Cantidad estequiométrica teórica |
| O ₂ (ac) | 0.29 mg O ₂ /mg Mn |
| O ₃ (ac) → O ₂ (ac) | 0.88 mg O ₃ /mg Mn |
| HOCl | 1.3 mg HOCl/mg Mn |
| ClO ₂ →ClO ₂ ⁻ | 2.45 mg ClO ₂ /mg Mn |
| KMnO ₄ | 1.92 mg KMnO ₄ /mg Mn |

Fuente: Knocke et al.1990

1.9.6.2 Resultados de dosis para oxidación

Tabla 8. Dosis de diversos oxidantes en épocas de lluvia para oxidación de Fe (II)

| Elemento: | Fe(II) | | |
|-------------------------------------------|--------------------------|---------------|---------------------------|
| Época: | Lluvias | | |
| Unidades | Influyente | Efluente | a Remover |
| mg/l | 4.96 | 0.03 | 4.93 |
| kg/d | 47.14 | 0.29 | 46.85 |
| Oxidante | Cantidad Estequiométrica | Cantidad Real | Unidades |
| O ₂ (ac) | 0.14 | 6.56 | KgO ₂ /día |
| O ₃ (ac) a O ₂ (ac) | 0.43 | 20.15 | KgO ₃ /día |
| HOCl | 0.64 | 29.99 | KgHOCl/día |
| ClO ₂ | 1.20 | 56.23 | KgCl ₂ /día |
| KMnO ₄ | 0.94 | 44.04 | Kg KMnO ₄ /día |

Tabla 9. Dosis de diversos oxidantes en épocas de estiaje para oxidación de Fe (II)

| Elemento: | Fe(II) | | |
|-------------------------------------------|---------------------------------|----------------------|--------------------------------|
| Época: | Estiaje | | |
| Unidades | Influente | Efluente | a Remover |
| mg/l | 0.15 | 0.03 | 0.12 |
| kg/d | 1.43 | 0.29 | 1.14 |
| Oxidante | Cantidad Estequiométrica | Cantidad Real | |
| O ₂ (ac) | 0.14 | 0.16 | KgO₂/día |
| O ₃ (ac) a O ₂ (ac) | 0.43 | 0.49 | KgO₃/día |
| HOCl | 0.64 | 0.73 | KgHOCl/día |
| ClO ₂ | 1.20 | 1.37 | KgCl₂/día |
| KMnO ₄ | 0.94 | 1.07 | Kg KMnO₄/día |

Tabla 10. Dosis de diversos oxidantes en épocas de lluvia para oxidación de Mn (II)

| Elemento: | Mn(II) | | |
|-------------------------------------------|---------------------------------|----------------------|--------------------------------|
| Época: | Lluvias | | |
| Unidades | Influente | Efluente | a Remover |
| mg/l | 0.08 | 0.02 | 0.06 |
| kg/d | 0.74 | 0.14 | 0.60 |
| Oxidante | Cantidad Estequiométrica | Cantidad Real | |
| O ₂ (ac) | 0.29 | 0.17 | KgO₂/día |
| O ₃ (ac) a O ₂ (ac) | 0.88 | 0.53 | KgO₃/día |
| HOCl | 1.30 | 0.78 | KgHOCl/día |
| ClO ₂ | 2.45 | 1.47 | KgCl₂/día |
| KMnO ₄ | 1.92 | 1.15 | Kg KMnO₄/día |

Tabla 11. Dosis de diversos oxidantes en épocas de estiaje para oxidación de Mn (II)

| Elemento: | Mn(II) | | |
|-------------------------------------------|---------------------------------|----------------------|--------------------------------|
| Época: | Estiaje | | |
| Unidades | Influente | Efluente | a Remover |
| mg/l | 0.08 | 0.02 | 0.06 |
| kg/d | 0.71 | 0.14 | 0.57 |
| Oxidante | Cantidad Estequiométrica | Cantidad Real | |
| O ₂ (ac) | 0.29 | 0.17 | KgO₂/día |
| O ₃ (ac) a O ₂ (ac) | 0.88 | 0.50 | KgO₃/día |
| HOCl | 1.30 | 0.74 | KgHOCl/día |
| ClO ₂ | 2.45 | 1.40 | KgCl₂/día |
| KMnO ₄ | 1.92 | 1.09 | Kg KMnO₄/día |

1.9.6.3 Cantidad de Reactivo a Dosificar Remoción de Fe y Mn

| Dosificación en húmedo | | | | |
|----------------------------------------------|--------------|-------------------|---|--------|
| Dosis para remoción de Fe Lluvias | D_Fe_lluvias | g/m ³ | = | 3.16 |
| Dosis para remoción de Mn Lluvias | D_Mn_lluvias | g/m ³ | = | 0.08 |
| Dosis para remoción de Fe Estiaje | D_Fe_estiaje | g/m ³ | = | 0.08 |
| Dosis para remoción de Mn Estiaje | D_Mn_estiaje | g/m ³ | = | 0.08 |
| Dosis total que se requiere aplicar lluvias | D_lluvias | g/m ³ | = | 3.24 |
| Dosis total que se requiere aplicar estiaje | D_estiaje | g/m ³ | = | 0.16 |
| Pureza del reactivo que se usa en porcentaje | P | % | = | 13 |
| Caudal de la planta | Q | m ³ /s | = | 0.11 |
| Concentración de la solución | C | g/l | = | 101.4 |
| Volumen de solución lluvias | q | l/s | = | 0.0035 |
| Volumen de solución estiaje | q | l/s | = | 0.0002 |
| Kilogramos de NaOCl lluvias | | kg/día | = | 362.88 |
| Kilogramos de NaOCl estiaje | | kg/día | = | 20.74 |

1.9.7 Tanque de desinfección y oxidación

1.9.7.1 Concepto

Se define como tanque de desinfección a la estructura hidráulica en donde se lleva a cabo dicho proceso comúnmente con hipoclorito de sodio y cuya finalidad es contener una cantidad definida de líquido por un tiempo determinado llamado generalmente tiempo de residencia, esto con el afán de eliminar la mayor parte de microorganismos presentes en el agua. dicha estructura también puede ser utilizada como medio donde se lleve a cabo la oxidación de metales a que el hipoclorito de sodio puede ser utilizado como oxidante.

1.9.7.2 Diseño del tanque de desinfección y oxidación

Se diseñó un tanque de desinfección para un tiempo de residencia de 15 minutos, debido a las condiciones del agua las cuales no exigen tiempo prolongado. Se proyectó con las siguientes características:

| Calculo del tanque de desinfección | | |
|----------------------------------------------|-------|----------------|
| TRH | 0.25 | hr. |
| Volumen de tanque | 99.00 | m ³ |
| Profundidad/ancho | 3 | |
| Largo/ancho | 8 | |
| Profundidad | 2.80 | m |
| Ancho canal | 0.93 | m |
| Largo canal | 7.47 | m |
| Volumen de canal | 19.51 | m ³ |
| # de canales | 5.07 | |
| # de canales seleccionados | 5 | |
| Área constructiva del tanque de desinfección | | |
| Largo | 8.07 | m |
| Ancho | 6.47 | m |
| Área requerida | 52.16 | m ² |
| Altura con bordo libre | 3.40 | |
| Volumen húmedo de tanque corregido | 97.56 | m ³ |

1.9.8 Ultra filtración

1.9.8.1 Concepto

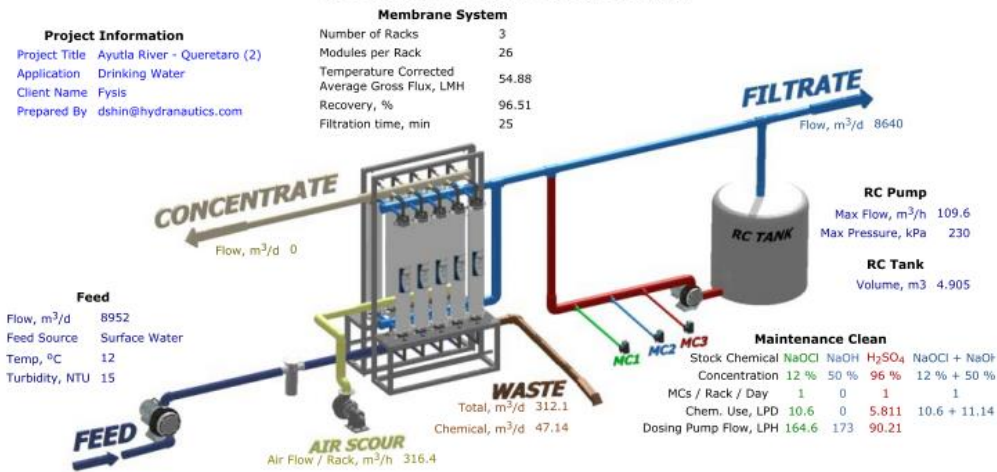
La ultrafiltración es el tipo de Filtración que utiliza membranas para separar diferentes tipos de sólidos y líquidos. El tamaño de poro no es tan fino como en la Nanofiltración y tampoco requiere tanta energía para efectuar la separación, y es más pequeño que el de las membranas de microfiltración.

Las membranas de Ultrafiltración están dispuestas en forma de capilares y están construidas con materiales plásticos que son porosos semipermeables.

1.9.8.2 Tecnología seleccionada



HYDRAcap® MAX 80 Process Overview



1.9.8.3 Reactivos requeridos para mantenimiento de membranas

| Consumo promedio de Hipoclorito de sodio por mes para limpieza | | |
|----------------------------------------------------------------|-------|---------------------|
| Volumen hipoclorito al 13 % por día | 3.53 | lts |
| Numero de limpiezas por día | 1 | |
| Limpiezas totales diarias | 3 | |
| Volumen hipoclorito al 13 % por día | 10.6 | lts |
| Densidad de la solución | 1200 | kg/m ³ |
| % de concentración (NaOCl) | 13 | % |
| Volumen de solución | 0.323 | m ³ /mes |
| Masa de Hipoclorito | 386.9 | kg/mes |

| Consumo promedio de H2SO4 por mes para limpieza | | |
|--------------------------------------------------------|----------|--------|
| Volumen H2SO4 al 96 % por día | 2.1307 | lts |
| Numero de limpiezas por día | 1 | |
| Limpiezas totales diarias | 3 | |
| Volumen H2SO4 al 96 % por día | 6.39 | lts |
| Densidad de la solución: | 1,840.00 | kg/m3 |
| % de concentración (H2SO4) | 96 | % |
| Volumen H2SO4 por día | 0.19 | m3/mes |
| masa H2SO4 al por día | 349.6 | kg/mes |

| Consumo promedio de NaOH por mes para limpieza | | |
|-------------------------------------------------------|----------|--------|
| Volumen NaOH al 50 % por día | 4.0865 | lts |
| Numero de limpiezas por día | 1 | |
| Limpiezas totales diarias | 3 | |
| Volumen NaOH al 50 % por día | 12.26 | lts |
| Densidad de la solución: | 1,520.00 | kg/m3 |
| % de concentración (NaOH) | 96 | % |
| Volumen NaOH por día | 0.37 | m3/mes |
| masa NaOH al por día | 562.4 | kg/mes |

1.9.8.4 Costos de inversión de la primera propuesta (ultrafiltración)

| Clave | Descripción | Unidad | Cantidad | Precio unitario | Total |
|---------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|----------|-----------------|----------------------|
| Filtros de Ultra Filtración | | | | | |
| Obra Civil | | | | | |
| Estructuras de concreto | | | | | |
| CFU01 | Losa de concreto de 15.00 de largo por 15.0 de ancho | Estructu | 1.00 | \$ 272,801.63 | \$ 272,801.63 |
| CFU02 | Tanque de alimentación de 1.83 de ancho por 6.00 de largo por 3.00 profundidad. | Estructu | 1.00 | \$ 194,727.67 | \$ 194,727.67 |
| CIV03 | Tanque Floculador, Tanque Sedimentador y Tanque de desinfección | Estructu | 1.00 | \$ 2'630,350.84 | \$ 2'630,350.84 |
| PA01 | Techumbre para cubrir un área de 16.00 por 16.00 mts | Estructu | 1.00 | \$ 908,326.99 | \$ 908,326.99 |
| PA02 | Construcción de caseta de 3.6 largo, 2.6 ancho y altura 2.5, construida de multipanel, incluye todo lo necesario para la correcta operación de los equipos | Estructu | 1.00 | \$ 128,760.92 | \$ 128,760.92 |
| Total de Estructuras de concreto | | | | \$ | 4'134,968.05 |
| Total de Obra Civil | | | | \$ | 4'134,968.05 |
| Equipamiento | | | | | |
| Equipo de alimentación de Filtros | | | | | |
| F06 | Bomba centrifuga construccion robusta en fierro succion bridada de 6" descarga bridada de 4", acoplada directamente a motor cerrado eficiencia premium de 50 H.P. 2 polos 3500 rpm 3 fases 220/440 volts Mca. Barnes Q= 224.8 m3/h Presion= 285.8 Kpa | Pza | 3.00 | \$ 85,191.23 | \$ 255,573.69 |
| F12 | Filtros duplex tipo canasta | Pza | 2.00 | \$ 481,894.20 | \$ 963,788.40 |
| Total de Equipo de alimentación de Filtros | | | | \$ | 1'219,362.09 |
| Filtros de Ultra Filtración | | | | | |
| F01 | Suministro e instalación de Filtros de Ultra Filtración | Modulo | 3.00 | \$ 2'774,303.43 | \$ 8'322,910.29 |
| F02 | Accesorios de tubería de PVC, incluye válvulas de diferentes diámetros | Modulo | 3.00 | \$ 339,622.42 | \$ 1'018,867.26 |
| CC.01 | Columnas de calibración 300 GH | Modulo | 3.00 | \$ 4,186.00 | \$ 12,558.00 |
| F03 | Estructura de acero a carbón para fijación de los Filtros de Microfiltración | Modulo | 3.00 | \$ 77,518.69 | \$ 232,556.07 |
| F04 | Compresor tipo reciprocante para manejo de aire libre de aceite para servicio severo marca Powerex modelo OTS-030 | Pza | 1.00 | \$ 273,563.47 | \$ 273,563.47 |
| F13 | Soplador | Pza | 2.00 | \$ 516,220.42 | \$ 1'032,440.84 |
| F05 | Secadora del aire del tipo refrigerativa marca Hankinson de 15 ft3 para manejar un punto de rocío de 3°C | Pza | 1.00 | \$ 273,563.47 | \$ 273,563.47 |
| F07 | Bomba centrifuga construccion robusta en fierro succion bridada de 4" descarga bridada de 3", acoplada directamente a motor cerrado eficiencia premium de 20 H.P. 4 polos 1750 rpm 3 fases 220/440 volts Mca. Barnes Q= 109.6 m3/h Presion= 230 Kpa | Pza | 1.00 | \$ 57,781.02 | \$ 57,781.02 |
| F08 | Bomba de Hipoclorito de Sodio modelo D72 8 8 P M 4 NNN dosifica 25 GPH & 100 PSI | Pza | 1.00 | \$ 52,567.79 | \$ 52,567.79 |
| F09 | Bomba de Ácido Sulfúrico modelo D82 8 8 P M4 NNN, dosifica hasra 57 GPH & 75 PSI | Pza | 2.00 | \$ 54,434.11 | \$ 108,868.22 |
| F11 | Tanque de polietileno de alta densidad resistente a químicos esta rodeado por una jaula de acero galvanizado, con capacidad de 330 galones. | Pza | 2.00 | \$ 16,930.12 | \$ 33,860.24 |
| F09.01 | Dampener y Columna de Calibración | Pza | 2.00 | \$ 27,372.58 | \$ 54,745.16 |
| Total de Filtros de Ultra Filtración | | | | \$ | 11'474,281.83 |

| Propuesta Filtros de Ultra Filtración | | | | | |
|-------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|----------|-----------------|------------------------|
| Clave | Descripción | Unidad | Cantidad | Precio unitario | Total |
| Floculador | | | | | |
| EQ08 | Mamparas de polipropileno, incluye: Guías de acero a carbon de ángulos de 2" con un lardo de 3.10 metros | Pza | 66.00 | \$ 8,211.07 | \$ 541,930.62 |
| F10 | Tanque de 5,000 lts NEG R-40% | Pza | 1.00 | \$ 16,885.68 | \$ 16,885.68 |
| F08.01 | Bomba de Hipoclorito de Sodio modelo D42 88 PQ 4NNN | Pza | 2.00 | \$ 46,484.69 | \$ 92,969.38 |
| F08.02 | Tubería y accesorio de PVC | Lote | 1.00 | \$ 16,051.25 | \$ 16,051.25 |
| Total de Floculador | | | | \$ | 667,836.93 |
| Sedimentador | | | | | |
| EQ07 | Medio plástico para sedimentación IFR | Pza | 2.00 | \$ 140,786.56 | \$ 281,573.12 |
| EQ07.01 | Extracción de lodos, tubería de 6 pulgadas en PVC y accesorios | Lote | 1.00 | \$ 196,619.18 | \$ 196,619.18 |
| Total de Sedimentador | | | | \$ | 478,192.30 |
| Instrumentación | | | | | |
| F14 | Instrumentación | Lote | 1.00 | \$ 703,910.68 | \$ 703,910.68 |
| Total de Instrumentación | | | | \$ | 703,910.68 |
| Automatización | | | | | |
| INT.02 | Automatización | Lote | 1.00 | \$ 686,153.66 | \$ 686,153.66 |
| Total de Automatización | | | | \$ | 686,153.66 |
| Alimentación de Fuerza | | | | | |
| F15 | Alimentación de Fuerza a Equipos | Lote | 1.00 | \$ 191,394.97 | \$ 191,394.97 |
| Total de Alimentación de Fuerza | | | | \$ | 191,394.97 |
| Sistema de Fuerza | | | | | |
| PA02 | Construcción de caseta de 3.6 largo, 2.6 ancho y altura 2.5, construida de multipanel, incluye todo lo necesario para la correcta operación de los equipos | Estructu | 1.00 | \$ 128,760.92 | \$ 128,760.92 |
| PA09 | Poste de concreto para transformador y transformador de 150 kva de 13.2kv a 220v | Pza | 1.00 | \$ 114,759.34 | \$ 114,759.34 |
| PA12 | Centro de control de motores Nema 1 | Pza | 1.00 | \$ 334,880.00 | \$ 334,880.00 |
| PA08 | Luminaria tipo campana industrial de 14", de 250 W. de aditivos metálicos, | Pza | 4.00 | \$ 3,323.67 | \$ 13,294.68 |
| PA06 | Sistema de Pararrayo | Pza | 1.00 | \$ 118,496.00 | \$ 118,496.00 |
| PA07 | Sistema de tierras | Lote | 1.00 | \$ 37,030.00 | \$ 37,030.00 |
| Total de Sistema de Fuerza | | | | \$ | 747,220.94 |
| Barandales, Escalera y Rejilla Irving | | | | | |
| OT.01.01 | Barandales, Escaleras de acero al carbón y rejilla irving | Lote | 1.00 | \$ 114,761.30 | \$ 114,761.30 |
| Total de Barandales, Escalera y Rejilla Irving | | | | \$ | 114,761.30 |
| Urbanización | | | | | |
| UB.01.01 | Banquetas | Lote | 1.00 | \$ 29,349.66 | \$ 29,349.66 |
| UB.02.01 | Guarnición | Lote | 1.00 | \$ 16,716.95 | \$ 16,716.95 |
| UB.03.01 | Cercado de malla ciclónica | Lote | 1.00 | \$ 101,431.10 | \$ 101,431.10 |
| Total de Urbanización | | | | \$ | 147,497.71 |
| Total de Equipamiento | | | | \$ | 16'430,612.41 |
| Total de Filtros de Ultra Filtración | | | | \$ | 20'565,580.46 |
| Subtotal de Presupuesto | | | | \$ | 20'565,580.46 |
| | | | | Impuesto | \$ 3'290,492.87 |
| Total | | | | \$ | 23'856,073.33 |

1.9.9 Filtro de tasa declinante y lavado mutuo

1.9.9.1 Concepto

Se le llaman filtros de tasa declinante a aquellos que trabajan en baterías y están intercomunicados a través de un canal de entrada y uno de salida por ende se comportan como vasos comunicantes y son considerados como tecnología apropiada debido a que reúnen varias ventajas sobre otros sistemas de filtración en uso por ejemplo:

- No requieren una carga hidráulica muy grande para operar.
- No tienen galería de tubos. El transporte del agua decantada, filtrada, el agua para el retrolavado de los filtros y el desagüe del agua de lavado se efectúan mediante canales
- No se requiere tanque elevado ni equipo de bombeo para efectuar el retrolavado de un filtro.

1.9.9.2 Diseño de filtro de tasa declinante

| Cálculo del filtro de tasa declinante | | | | |
|--------------------------------------------------------------------|------------------|-------------------------|---|--------|
| Número de Filtros | N | | = | 5.00 |
| Caudal del diseño del filtro | Q | m ³ /s | = | 0.02 |
| Velocidad ascensional de lavado | VA | m/min | = | 1.10 |
| Área de cada filtro | Af | m ² | = | 6.00 |
| Ancho de cada filtro | c | m | = | 2.00 |
| Largo de cada filtro | l | m | = | 3.00 |
| Velocidad de filtración promedio | VF | m ³ /m 2d | = | 316.80 |
| Área total de filtros | AT | m ² | = | 30.00 |
| Tamaño efectivo de la arena | d ₁₀ | mm | = | 0.55 |
| Tamaño de la antracita correspondiente al 90% que pasa la malla 90 | d' ₉₀ | mm | = | 1.65 |
| Tamaño efectivo de la antracita | d' ₁₀ | mm | = | 0.80 |
| Coficiente de uniformidad de la arena y la antracita | Cu | | = | 1.50 |
| Tamaño correspondiente al 60% de la arena | d ₆₀ | mm | = | 0.83 |
| Tamaño correspondiente al 60% de la antracita | d _{60'} | mm | = | 1.20 |
| Número de capas de arena | Nc | | = | 7.00 |
| Número de capas de antracita | Nc | | = | 6.00 |
| Porosidad Expandida Promedio de la capa de arena | ξ _e | | = | 0.54 |
| Porosidad Expandida Promedio de la capa de antracita | ξ' _e | | = | 0.56 |
| Porosidad de la arena limpia | ξ _o | | = | 0.42 |
| Porosidad de la antracita limpia | ξ' _o | | = | 0.45 |
| Porcentaje de expansión promedio de la arena | E | | = | 0.25 |
| Porcentaje de expansión promedio de la antracita | E' | | = | 0.26 |

| | | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|-------|---------------------|---|----------|
| Altura del lecho estático de arena | L | m | = | 0.30 |
| Altura del lecho estático de antracita | L' | m | = | 0.50 |
| Altura del lecho filtrante expandido | Le | m | = | 1.01 |
| Número de canaletas de recolección de agua de lavado | N3 | | = | 1.00 |
| Caudal que recolecta cada canaleta | Qc | m ³ /min | = | 1.72 |
| Altura útil de las canaletas de lavado | ho | m | = | 0.40 |
| Ancho de las canaletas de lavado | W | m | = | 0.50 |
| Altura de la losa de las canaletas | hlosa | m | = | 0.10 |
| Altura total de canaletas de lavado + losa de fondo | H | m | = | 0.70 |
| Distancia del borde de la canaleta de lavado a la superficie del medio filtrante estático | H4 | m | = | 1.13 |
| Altura del falso fondo | H1 | m | = | 0.50 |
| Altura de drenaje más la grava | H2 | m | = | 0.52 |
| Altura del lecho filtrante | H3 | m | = | 0.80 |
| Altura del borde de la canaleta relativa al fondo del filtro | Hc | m | = | 2.95 |
| Pérdida de carga en la arena durante el retrolavado | hf | m | = | 0.29 |
| Pérdida de carga en la antracita durante el retrolavado | hf' | m | = | 0.19 |
| Pérdida de carga total en el lecho filtrante durante el retrolavado | hf1 | m | = | 0.48 |
| Ancho de cada vigueta de drenaje | b | m | = | 0.30 |
| Número de viguetas de drenaje | N1 | | = | 10 |
| Espaciamiento entre orificios | x | m | = | 0.10 |
| Longitud de cada vigueta | c | m | = | 2.00 |
| Número de orificios en cada vigueta | N2 | | = | 40.00 |
| Número total de orificios en el drenaje | Nt | | = | 400.00 |
| Caudal de lavado por orificio | qo | m ³ /s | = | 5.50E-05 |
| Diámetro de los orificios del drenaje | do | in | = | 1/2 |
| Área de los orificios del drenaje | Ao | m ² | = | 1.27E-04 |
| Coefficiente de descarga de los orificios | Cd | | = | 0.65 |
| Pérdida de carga en los orificios del drenaje durante el retrolavado | hf2 | m | = | 0.02 |
| Sección transversal del falso fondo | Aff | m ² | = | 1.00 |
| Velocidad en el falso fondo durante el retrolavado | Vff | m/s | = | 0.02 |
| Coefficiente de pérdida de carga en el falso fondo | k | | = | 1.00 |
| Pérdida de carga en falso fondo durante el retrolavado | hf3 | m | = | 2.47E-05 |

1.9.8.4 Costos de inversión de la segunda propuesta (filtros de tasa declinante)

| Propuesta Filtro Tasa Declinante | | | | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|----------|-----------------|----|---------------------|
| Clave | Descripción | Unidad | Cantidad | Precio unitario | | Total |
| Filtro Tasa Declinante | | | | | | |
| Obra Civil | | | | | | |
| Estructura de concreto que incluye: Tanque Floculador, Sedimentación, Desinfección y Tasa Declinante. | | | | | | |
| CIV01 | Caja de distribución de agua a filtros de arena | Estructu | 1.00 | \$ 226,583.34 | \$ | 226,583.34 |
| CIV02 | Estructuras de concreto: Filtro Tasa Declinante, Tanque de control de agua filtrada, Cárcamo de bombeo de retrolavado y Tanque de agua de retrolavado | Estructu | 1.00 | \$ 3'828,604.54 | \$ | 3'828,604.54 |
| CIV03 | Tanque Floculador, Tanque Sedimentador y Tanque de desinfección | Estructu | 1.00 | \$ 2'630,350.84 | \$ | 2'630,350.84 |
| PA02 | Construcción de caseta de 3.6 largo, 2.6 ancho y altura 2.5, construida de multipanel, incluye todo lo necesario para la correcta operación de los equipos | Estructu | 1.00 | \$ 128,760.92 | \$ | 128,760.92 |
| Total de Estructura de concreto que incluye: Tanque Floculador, Sedimentación, Desinfección y Tasa Declinante. | | | | \$ | | 6'814,299.64 |
| Total de Obra Civil | | | | \$ | | 6'814,299.64 |
| Equipamiento | | | | | | |
| Caja Distribuidora | | | | | | |
| CD.01 | Suministro e instalación de material en tubería y accesorios de acero al carbón | Lote | 1.00 | \$ 178,871.52 | \$ | 178,871.52 |
| Total de Caja Distribuidora | | | | \$ | | 178,871.52 |
| Filtro Tasa Declinante, Tanque de control de agua filtrada, Cárcamo de bombeo de retrolavado y Tanque de agua de retrolavado (Internos de Filtro Tasa Declinante, Línea de Aire, Bomba, Tubería de Acero al Carbón, Agitador, Bomba Dosificadora, Tanque de Almacenamiento). | | | | | | |
| Filtro Tasa Declinante | | | | | | |
| FTD01 | Bajo Drenes | Lote | 1.00 | \$ 2'586,709.56 | \$ | 2'586,709.56 |
| FTD02 | Suministro e instalación de antracita y arena | Lote | 1.00 | \$ 2'093,075.22 | \$ | 2'093,075.22 |
| FTD03 | Suministro e instalación de tubería de acero al carbón de 12 pulgadas y accesorios | Lote | 1.00 | \$ 260,649.63 | \$ | 260,649.63 |
| Línea de Aire | | | | | | |
| LA01 | Soplador del tipo rotatorio | Pza | 3.00 | \$ 426,526.35 | \$ | 1'279,579.05 |
| LA02 | Suministro e instalación de tubería de acero a inoxidable para aire de 6 y 8 pulgadas y accesorios | Lote | 1.00 | \$ 568,608.63 | \$ | 568,608.63 |
| PA11 | Compresor tipo recíprocante para manejo de aire libre de aceite para servicio severo marca Powerex o similar | Pza | 1.00 | \$ 483,996.91 | \$ | 483,996.91 |
| Total de Línea de Aire | | | | \$ | | 2'332,184.59 |
| Tanque de control de agua filtrada | | | | | | |
| TCAF02 | Suministro e instalación de tubería de acero al carbón de 20 pulgadas y accesorios | Lote | 1.00 | \$ 865,184.03 | \$ | 865,184.03 |
| Desinfección | | | | | | |
| PL19 | Agitador mecánico almacenamiento de hipoclorito de sodio | Pza | 1.00 | \$ 90,059.02 | \$ | 90,059.02 |
| PL20 | Bomba dosificadora para almacenamiento de hipoclorito de sodio | Pza | 1.00 | \$ 76,112.36 | \$ | 76,112.36 |
| 6.4 | Tanque de almacenamiento de hipoclorito de sodio, con losa y dique de concreto | Pza | 1.00 | \$ 220,881.53 | \$ | 220,881.53 |

| Propuesta Filtro Tasa Declinante | | | | | |
|----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|----------|-----------------|---------------|
| Clave | Descripción | Unidad | Cantidad | Precio unitario | Total |
| | Total de Desinfección | | | \$ | 387,052.91 |
| | Total de Tanque de control de agua filtrada | | | \$ | 1'252,236.94 |
| | Tanque de Retrolavados | | | | |
| TR01 | Suministro e instalación de bomba de retorno de retrolavados | Pza | 2.00 | \$ 217,736.40 | \$ 435,472.80 |
| TR02 | Suministro e instalación de tubería de acero al carbón de 6 pulgadas y accesorios | Lote | 1.00 | \$ 210,494.33 | \$ 210,494.33 |
| | Total de Tanque de Retrolavados | | | \$ | 645,967.13 |
| | Total de Filtro Tasa Declinante | | | \$ | 9'170,823.07 |
| | Total de Filtro Tasa Declinante, Tanque de control de agua filtrada, Cárcamo de bombeo de retrolavado y Tanque de agua de retrolavado (Internos de Filtro Tasa Declinante, Línea de Aire, Bomba, Tubería de Acero al Carbón, Agitador, Bomba Dosificadora, Tanque de Almacenamiento). | | | \$ | 9'170,823.07 |
| | Floculador | | | | |
| EQ08 | Mamparas de polipropileno, incluye: Guías de acero a carbon de ángulos de 2" con un lardo de 3.10 metros | Pza | 66.00 | \$ 8,211.07 | \$ 541,930.62 |
| | Tubería de PVC para envío de agua de alimentación a caja de distribución | | | | |
| TPBC.01 | Suministro e instalación de PVC | Lote | 1.00 | \$ 81,172.99 | \$ 81,172.99 |
| | Total de Tubería de PVC para envío de agua de alimentación a caja de distribución | | | \$ | 81,172.99 |
| | Coagulante | | | | |
| PL03 | Tanque de preparación de coagulante | Pza | 1.00 | \$ 38,850.86 | \$ 38,850.86 |
| PL04 | Agitador mecánico para preparación de coagulante | Pza | 1.00 | \$ 90,059.02 | \$ 90,059.02 |
| PL05 | Bomba dosificadora para preparación de coagulante | Pza | 1.00 | \$ 76,112.36 | \$ 76,112.36 |
| | Total de Coagulante | | | \$ | 205,022.24 |
| | Total de Floculador | | | \$ | 828,125.85 |
| | Sedimentador | | | | |
| EQ07 | Medio plástico para sedimentación IFR | Pza | 2.00 | \$ 140,786.56 | \$ 281,573.12 |
| EQ07.01 | Extracción de lodos, tubería de 6 pulgadas en PVC y accesorios | Lote | 1.00 | \$ 196,619.18 | \$ 196,619.18 |
| | Total de Sedimentador | | | \$ | 478,192.30 |
| | Instrumentación | | | | |
| INT.01 | Instrumentación | Lote | 1.00 | \$ 268,383.79 | \$ 268,383.79 |
| | Total de Instrumentación | | | \$ | 268,383.79 |
| | Automatización | | | | |
| INT.02 | Automatización | Lote | 1.00 | \$ 686,153.66 | \$ 686,153.66 |
| | Total de Automatización | | | \$ | 686,153.66 |
| | Alimentación de Fuerza | | | | |
| SF.01 | Alimentación de Fuerza a Equipos | Lote | 1.00 | \$ 316,668.20 | \$ 316,668.20 |
| | Total de Alimentación de Fuerza | | | \$ | 316,668.20 |
| | Sistema de Fuerza | | | | |
| PA09 | Poste de concreto para transformador y transformador de 150 kva de 13.2kv a 220v | Pza | 1.00 | \$ 114,759.34 | \$ 114,759.34 |

| Propuesta Filtro Tasa Declinante | | | | | |
|----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|--------|----------|-----------------|-------------------------|
| Clave | Descripción | Unidad | Cantidad | Precio unitario | Total |
| PA12.1 | Centro de control de motores Nema 1 | Pza | 1.00 | \$ 251,160.00 | \$ 251,160.00 |
| PA08.01 | Luminaria tipo poste industrial de 14", de 250 W. de aditivos metálicos, | Pza | 6.00 | \$ 9,119.67 | \$ 54,718.02 |
| PA06 | Sistema de Pararrayo | Pza | 1.00 | \$ 118,496.00 | \$ 118,496.00 |
| PA07 | Sistema de tierras | Lote | 1.00 | \$ 37,030.00 | \$ 37,030.00 |
| Total de Sistema de Fuerza | | | | \$ | 576,163.36 |
| Barandales y Escaleras | | | | | |
| OT.01 | Barandales, Escaleras de acero al carbón y rejilla irving | Lote | 1.00 | \$ 162,903.70 | \$ 162,903.70 |
| Total de Barandales y Escaleras | | | | \$ | 162,903.70 |
| Urbanización | | | | | |
| UB.01 | Banquetas | Lote | 1.00 | \$ 157,020.66 | \$ 157,020.66 |
| UB.02 | Guarnición | Lote | 1.00 | \$ 21,732.04 | \$ 21,732.04 |
| UB.03 | Cercado de malla ciclónica | Lote | 1.00 | \$ 114,661.23 | \$ 114,661.23 |
| Total de Urbanización | | | | \$ | 293,413.93 |
| Tratamiento de lodos | | | | | |
| TL.01 | Tratamiento de lodos | Lote | 0.00 | \$ 0.00 | \$ 0.00 |
| Total de Tratamiento de lodos | | | | \$ | 0.00 |
| Total de Equipamiento | | | | \$ | 12'959,699.38 |
| Total de Filtro Tasa Declinante | | | | \$ | 19'773,999.02 |
| Subtotal de Presupuesto | | | | \$ | 19'773,999.02 |
| | | | | Impuesto | \$ 3'163,839.84 |
| | | | | Total | \$ 22'937,838.86 |

1.9.9 Resultados

Tabla 12. Costos de reactivos mensuales utilizando ultra filtración

| Concepto | Unidad | Cantidad | PU | CT |
|----------------------------------------------------|--------|-----------|----------|----------------------|
| Coagulante masa promedio sin lluvia | kg | 578.16 | \$ 23.00 | \$ 13,297.68 |
| Coagulante masa promedio con lluvia | kg | 1,900.80 | \$ 23.00 | \$ 43,718.40 |
| Floculante | kg | 144.54 | \$ 36.00 | \$ 5,203.44 |
| Hipoclorito de sodio para desinfección y oxidación | kg | 11,147.71 | \$ 10.63 | \$ 118,500.17 |
| Hipoclorito de sodio para limpieza de Membranas | kg | 409.50 | \$ 10.63 | \$ 4,352.99 |
| Acido sulfúrico 96% grado alimenticio | kg | 349.60 | \$ 6.80 | \$ 2,377.28 |
| Sosa caustica 50% grado alimenticio | kg | 562.40 | \$ 10.49 | \$ 5,899.58 |
| Total | | | | \$ 193,349.54 |

Tabla 13. Costos de reactivos mensuales utilizando filtros de tasa declinante

| Concepto | Unidad | Cantidad | PU | CT |
|----------------------------------------------------|--------|----------|----------|----------------------|
| Coagulante masa promedio sin lluvia | kg | 578.16 | \$ 23.00 | \$ 13,297.68 |
| Coagulante masa promedio con lluvia | kg | 1,900.80 | \$ 23.00 | \$ 43,718.40 |
| Floculante | kg | 144.54 | \$ 36.00 | \$ 5,203.44 |
| Hipoclorito de sodio para desinfección y oxidación | kg | 9,862.39 | \$ 10.63 | \$ 118,500.17 |
| Total | | | | \$ 180,719.69 |

Tabla 14. Comparativa de las dos propuestas

| Tecnología | Ultra filtración | Filtro de tasa declinante | Diferencia |
|-------------------------------|-------------------------|----------------------------------|-------------------|
| Costos de reactivos mensuales | \$ 193,349.54 | \$ 180,719.69 | \$ 12629.85 |
| Inversión | \$ 23856073.33 | \$ 22937838.86 | \$ 918234.47 |

2.0 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Tras finalizar el proyecto y con ello las dos propuestas , se puede concluir que la opción más económica en cuanto a inversión y mantenimiento es la de potabilización por filtros de tasa declinante , teniendo una diferencia a favor de cerca de un millón de pesos para inversión y trece mil mensuales para mantenimiento, sin embargo al ser este del tipo hidráulico el área de construcción que abarca es mucho mayor al de la ultrafiltración por lo que se recomienda hacer uso del filtro de tasa declinante siempre y cuando se disponga de espacio para su construcción.

A partir de eso se puede concluir también que los diseños hidráulicos convencionales son los más factibles en cuanto al ahorro de energía se refiere debido a que no suelen utilizar motores, pero el dimensionamiento es mayor por lo cual es conveniente hacer ejercicios de diseño uniendo los dos tipos de tecnologías las de patente y las convencionales para aprovechar y optimizar los recursos al máximo.

3.0 COMPETENCIAS DESARROLLADAS Y/O APLICADAS

Para poder llevar a cabo el proyecto fue necesaria la implementación de distintas disciplinas así como competencias de las cuales se puede citar las siguientes:

- Análisis y selección de tecnologías de proceso para la generación de propuestas.
- Poseer actitud creativa, emprendedora y de liderazgo para impulsar y crear empresas que contribuyan al progreso nacional.
- Poseer actitudes de superación continua para lograr metas personales y profesionales con pertinencia y competitividad.
- Interpretar diagramas de flujo de procesos y diagramas de tuberías e instrumentación (DTI) de plantas de procesos.
- Aplicar criterios de selección de equipo, materiales e insumos para la operación de plantas de procesos.

4.0 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación (SAGARPA). *Obras de toma para aprovechamientos hidráulicos*. Montecillo: México.

Organización Panamericana de la Salud y Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, [OPS/CEPIS](2004). *Tratamiento de agua para consumo humano ; Plantas de filtración rápida .Manual I: Teoría Tomo I* . Lima

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA)(2007). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento; cárcamos de bombeo para alcantarillado, funcional e hidráulico*. Tlalpan, México, D.F.

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA)(2007). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento; Diseño de plantas potabilizadoras tipo de tecnología simplificada*. México, D.F.

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento; Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Pretratamiento y Tratamiento Primario*. México, D.F.

Lina Marín (2011). *Remoción de hierro y manganeso por oxidación con cloro y filtración en grava*. Santiago de Cali

Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS)(1982), *Remoción de hierro y manganeso en el medio rural* .Perú

3.0 ANEXOS

Anexo 1.-Dimensionamiento de las rejillas propuestas a emplear

Se pretende utilizar dos rejillas (ambas medianas) de limpieza manual debido a la cantidad de flujo a ingresar de 100 lts/segundos.

REJILLA MEDIANA

Longitud de la rejilla

$$L = \frac{h + hb}{\text{sen}\theta}$$

Dónde:

L= longitud de la reja

h= tirante hidráulico de diseño = 0.40

hb=bordo libre=0.20

$\theta=30$ (recomendado para facilitar la limpieza)

Efectuando cálculo

$$L = \frac{0.40 + 0.20}{\text{sen } 30^\circ} = 1.2$$

Número de barras

$$n = \frac{w - c}{c + d}$$

Dónde:

n=Número de espacios

n-1=Número de barras

c= Claro de las barras (m) =0.025

w= Ancho del canal (m) =0.80

d= Espesor de la barra (m)=0.015

Calculo de número de espacios

$$n = \frac{0.80m - 0.025m}{0.025m + 0.015m} = 19.37$$

- Se toma el número de espacios entre las barras (n) como 19

Calculo de número de barras

$$n - 1 = 19 - 1 = 18$$

Velocidad de acercamiento aguas arriba

$$v. = \frac{Q}{(W - d) * h}$$

v. = velocidad de acercamiento (m/s)

Q = caudal (m³/s)= 0.11

w= ancho del canal (m) =0.80

h= tirante hidráulico =0.40

d= espesor de la barra (m) =0.015

$$v. = \frac{0.11}{(0.8 - 0.015) * 0.40} = 0.35$$

Arreglo de barras

- Ancho del canal = 0.80 m
- 18 barras de 0.015 m de espesor = 0.270 m
- 19 espacios de 0.025 m= 0.475 m
- $\Sigma = 0.745 \text{ m} < 0.80 \text{ m}$

Alternativas para el arreglo

- Asignar 1.38 cm a cada lado
- Reducir el espacio entre barras

Se reduce el espacio entre barras a 0.024 m quedando:

- 19 barras de 0.015 m de espesor = 0.285 m
- 20 espacios de 0.024 m= 0.48 m
- $\Sigma = 0.765 \text{ m} < 0.80 \text{ m}$

Se le agregan 1.75 cm a ambos lados para completar los 0.80 m de la longitud del canal.

Velocidad a través de las rejas

$$vr = \frac{Q}{A - Ar} \qquad Ar = ndh$$

- vr= velocidad a través de la reja (m/s)
Ar= área de las rejas (m2)=
A= área del canal (m2)=0.32
Q= caudal (m3/s)=0.11
n= número de espacios =20
h= tirante hidráulico (m)=0.40
d= espesor de barra (m)=0.015

$$Ar = 20 * 0.015 * 0.40 = 0.12$$

$$vr = \frac{0.11}{0.32 - 0.12} = 0.55$$

Perdida hidráulica

$$hl = \left(\frac{1}{0.7}\right) \left(\frac{vr^2 - v.^2}{2g}\right)$$

- hl= perdida hidráulica (m)
vr= velocidad a través de la reja (m/s)=0.55
v.= velocidad de acercamiento (m/s)=0.35
g= gravedad (m/s2)=9.81

$$hl = \left(\frac{1}{0.7}\right) \left(\frac{0.55^2 - 0.35^2}{2(9.81)}\right) = 0.013 \text{ m}$$

REJILLA MEDIANA

Longitud de la rejilla

$$L = \frac{h + hb}{\text{sen}\theta}$$

Dónde:

L= longitud de la reja

h= tirante hidráulico de diseño = 0.40

hb=bordo libre=0.20

$\theta=30$ (recomendado para facilitar la limpieza)

Efectuando cálculo

$$L = \frac{0.40 + 0.20}{\text{sen } 30^\circ} = 1.2$$

Número de barras

$$n = \frac{w - c}{c + d}$$

Dónde:

n=Número de espacios

n-1=Número de barras

c= Claro de las barras (m) =0.05

w= Ancho del canal (m) =0.80

d= Espesor de la barra (m)=0.015

Calculo de número de espacios

$$n = \frac{0.80m - 0.05m}{0.05m + 0.015m} = 11.53$$

- Se toma el número de espacios entre las barras (n) como 11

Calculo de número de barras

$$n - 1 = 11 - 1 = 10$$

Velocidad de acercamiento aguas arriba

$$v. = \frac{Q}{(W - d) * h}$$

- v. = velocidad de acercamiento (m/s)
Q = caudal (m³/s)= 0.11
w= ancho del canal (m) =0.80
h= tirante hidráulico =0.40
d= espesor de la barra (m) =0.015

$$v. = \frac{0.11}{(0.8 - 0.015) * 0.40} = 0.35$$

Arreglo de barras

- Ancho del canal = 0.80 m
- 10 barras de 0.015 m de espesor = 0.15 m
- 11 espacios de 0.05 m= 0.55 m
- $\Sigma = 0.7 \text{ m} < 0.80 \text{ m}$

Alternativas para el arreglo

- Asignar 2.5 cm a cada lado
- Reducir el espacio entre barras

Se reduce el espacio entre barras a 0.045 m quedando:

- 11 barras de 0.015 m de espesor = 0.165 m
- 12 espacios de 0.049 m= 0.588 m
- $\Sigma = 0.753 \text{ m} < 0.80 \text{ m}$

Se le agregan 2.35 cm a ambos lados para completar los 0.80 m de la longitud del canal.

Velocidad a través de las rejas

$$v_r = \frac{Q}{A - A_r} \quad A_r = n d h$$

v_r = velocidad a través de la reja (m/s)

A_r = área de las rejas (m²) =

A = área del canal (m²) = 0.32

Q = caudal (m³/s) = 0.11

n = número de espacios = 20

h = tirante hidráulico (m) = 0.40

d = espesor de barra (m) = 0.015

$$A_r = 20 * 0.015 * 0.40 = 0.12$$

$$v_r = \frac{0.11}{0.32 - 0.12} = 0.55$$

Perdida hidráulica

$$h_l = \left(\frac{1}{0.7} \right) \left(\frac{v_r^2 - v.^2}{2g} \right)$$

h_l = pérdida hidráulica (m)

v_r = velocidad a través de la reja (m/s) = 0.55

$v.$ = velocidad de acercamiento (m/s) = 0.35

g = gravedad (m/s²) = 9.81

$$h_l = \left(\frac{1}{0.7} \right) \left(\frac{0.55^2 - 0.35^2}{2(9.81)} \right) = 0.013 \text{ m}$$

Anexo 2.- Dimensionamiento de un Desarenador ciclónico

Datos de proceso

$$\text{Flujo } = Q = 0.11 \text{ m}^3/\text{s}$$

Criterios de diseño

Tamaño de partícula

$$d = 0.21 \text{ mm}$$

Peso específico

$$y = 1.3 \text{ a } 2.7$$

Cantidad de arena promedio

$$C = 0.09 \text{ m}^3 / 1000 \text{ m}^3$$

Remoción

$$75\%$$

Carga hidráulica superficial (q promedio)

$$CHS \text{ promedio} = 700 \text{ a } 1600 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \text{ d}$$

Carga hidráulica superficial (q pico)

$$CHS \text{ pico} = 2,160.00 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \text{ d}$$

Factor pico

$$FP = 2.40$$

Altura

$$H = 2.70 \text{ m}$$

Cámara superior radio

$$r_s = 1.90 \text{ m}$$

Cámara inferior radio

$$r_i = 0.90 \text{ m}$$

Cálculos

Caudal de pico

$$QP = (Q * FP) = (0.11 * 2.40) = 0.26m^3/s$$

Volumen del cilindro

$$Vc = \pi * rs^2 * H = \pi * 1.90^2 * 2.70 = 30.62m^3$$

Volumen del cono truncado

$$\begin{aligned}(Vt) &= ((H * \pi)/3) * (rs^2 * ri^2 + ri * rs) \\ &= ((2.70 * \pi)/3) * (1.90^2 * 0.90^2 + 0.90 * 1.90) = 13.10m^3\end{aligned}$$

Volumen total real

$$Vr = Vc + Vt = 30.62 + 13.10 = 43.72m^3$$

Tiempo de retención

$$t = Vr/Q = 43.72/0.11 = 379.49s$$

Área superficial

$$As = (\pi * rs^2) = (\pi * 1.90^2) = 11.34m^2$$

Carga hidráulica superficial (q promedio)

$$(CHS \text{ promedio}) = (Q \div As) = (9,504.00 \div 11.34) = 838.10m^3/m^2h$$

Carga hidráulica superficial (q pico)

$$(CHS \text{ pico}) = (Qp \div As) = (22,464.00 \div 11.34) = 1,980.95m^3/m^2h$$

Profundidad

$$(h) = Vr \div As = 43.72 \div 11.34 = 3.86m$$

Volumen de arena

$$Q * c \div 1000 = 9,504.00 * 0.09 \div 1000 = 0.86m^3d$$

$$Qp * c \div 1000 = 22,464.00 * 0.09 \div 1000 = 2.02m^3d$$

Sólidos suspendidos totales

$$(SST) = 290.00mg/l$$

Sólidos en suspensión fijos

$$(SSF) = 20.00mg/l$$

Sólidos de suspensión fijos

$$(SSF) = 9.10mg/l$$

Volumen de arena por influente

$$(Va1) = ((SSF * Q)(0.0864,2) = ((9.10 * 0.11) * 0.0864,2) = 0.9m^3 dia$$

Anexo 3.- Diseño de floculador

Volumen total del floculador

$$v = 60 * Q * T$$

Donde:

- V=volumen total del floculador
- Q= caudal= 0.11 m³/s
- T= tiempo de retención= 20 minutos

$$v = 60 * (0.11) * 20 = 132m^3$$

Ancho total de la unidad

$$b = \frac{v}{H * L}$$

Dónde:

- V=volumen total del floculador =132 m³
- H= Profundidad del floculador = 3 m
- L= longitud de la unidad = 10 m

$$b = \frac{132}{3 * 10} = 4.4m$$

Ancho total por tramo (se consideran 3 tramos) = $\frac{4.4}{3} = 1.47$

Se toma un valor de 1.5 como ancho por tramo.

Tiempo de retención para cada tramo

$$t = \frac{HbL}{Q * 60}$$

Dónde:

- H= Profundidad del floculador = 3 m
- b=Ancho por tramo=1.5 m
- L= longitud de la unidad = 10 m
- Q=caudal=0.11

$$t = \frac{3 * 1.5 * 10}{0.11 * 60} = 6.82 \text{ minutos}$$

Gradiente de velocidad (propuestos)

Tramo 1 = 60

Tramo 2= 40

Tramo 3= 20

Número de compartimientos entre pantallas

$$m = 0.045 \left[\left(\frac{b * L * G}{Q} \right)^2 * t \right]^{\frac{1}{3}}$$

- m= número de compartimientos
- b=Ancho por tramo=1.5 m
- L= longitud de la unidad = 10 m
- G=gradiente de velocidad=60,40,20
- Q=caudal=0.11
- t=6.82 minutos

Tramo uno:

$$m = 0.045 \left[\left(\frac{1.5 * 10 * 60}{0.11} \right)^2 * 6.82 \right]^{\frac{1}{3}} = 34.65$$

Tramo dos:

$$m = 0.045 \left[\left(\frac{1.5 * 10 * 40}{0.11} \right)^2 * 6.82 \right]^{\frac{1}{3}} = 26.44$$

Tramo tres:

$$m = 0.045 \left[\left(\frac{1.5 * 10 * 20}{0.11} \right)^2 * 6.82 \right]^{\frac{1}{3}} = 16.66$$

Espaciamiento entre pantallas

$$a = \frac{[L - e (m-1)]}{m}$$

- a= espaciamiento entre pantallas=
- m= número de compartimentos=35,26,17
- L= longitud de la unidad = 10 m
- e = espesor del tabique= 0.007 m

Tramo uno:

$$a = \frac{[10 - 0.007 (35-1)]}{35} = 0.28$$

Tramo dos:

$$a = \frac{[10 - 0.007 (26-1)]}{26} = 0.38$$

Tramo tres:

$$a = \frac{[10 - 0.0508 (17-1)]}{17} = 0.59$$

Velocidad en los canales verticales

$$v = \frac{Q}{(a \times b)}$$

- V= velocidad en los canales verticales
- Q=caudal=0.11
- a= espaciamiento entre pantallas=0.28,0.38,0.59
- b=Ancho por tramo=1.5 m

Tramo uno

$$v = \frac{0.11}{(0.28 \times 1.5)} = 0.26$$

Tramo dos

$$v = \frac{0.11}{(0.38 \times 1.5)} = 0.20$$

Tramo tres

$$v = \frac{0.11}{(0.59 \times 1.5)} = 0.12$$

Velocidad en los pasos

$$v_2 = \frac{2}{3} v_1$$

- v= velocidad en los canales verticales.

Tramo uno

$$v_2 = \frac{2}{3}(0.26) = 0.17$$

Tramo dos

$$v_2 = \frac{2}{3}(0.20) = 0.13$$

Tramo tres

$$v_2 = \frac{2}{3}(0.12) = 0.08$$

Altura del paso

$$p = \frac{\left(\frac{Q}{v_2}\right)}{b}$$

- V= velocidad en los pasos=0.17,0.13,0.08
- Q=caudal=0.11
- b=ancho del tramo=1.5

Tramo uno:

$$p = \frac{\left(\frac{0.11}{0.17}\right)}{1.5} = 0.43$$

Tramo dos:

$$p = \frac{\left(\frac{0.11}{0.13}\right)}{1.5} = 0.56$$

Tramo tres:

$$p = \frac{\left(\frac{0.11}{0.08}\right)}{1.5} = 0.92$$

Extensión total de canales en el último tramo

$$l = 60 V_1 t$$

- V= velocidad en los canales verticales= 0.26,0.20,0.12
- t= tiempo de retención=20 minutos

Tramo uno:

$$l = 60 * 0.26 * 6.66 = 103.89 \text{ m}$$

Tramo dos:

$$l = 60 * 0.20 * 6.66 = 79.92 \text{ m}$$

Tramo tres:

$$l = 60 * 0.12 * 6.66 = 47.95 \text{ m}$$

Radio hidráulico del compartimiento entre pantallas

$$R_H = \frac{a * b}{2 (a + b)}$$

- a= espaciamiento entre pantallas=0.28,0.38,0.59
- b=Ancho por tramo=1.5 m

Tramo uno:

$$R_H = \frac{0.28 * 1.5}{2 (0.28 + 1.5)} = 0.12m$$

Tramo dos:

$$R_H = \frac{0.38 * 1.5}{2 (0.38 + 1.5)} = 0.15 m$$

Tramo tres:

$$R_H = \frac{0.59 * 1.5}{2 (0.59 + 1.5)} = 0.21m$$

Perdida de carga continúa en los canales

$$h_1 = \left[\frac{nV_1}{R_H^{\frac{2}{3}}} \right]^2 * l$$

- n=coeficiente de manning=0.013
- V₁= velocidad en los canales verticales=0.26,0.20,0.12
- R_H= radio hidráulico en compartimentos=0.12,0.15,0.21
- l= extensión total de canales en el último tramo=103.89,79.92,47.95

Tramo uno:

$$h_1 = \left[\frac{0.013 * 0.26}{0.12^{\frac{2}{3}}} \right]^2 * 103.89 = 0.042$$

Tramo dos

$$h_1 = \left[\frac{0.013 * 0.20}{0.15^{\frac{2}{3}}} \right]^2 * 79.92 = 0.01$$

Tramo tres

$$h_1 = \left[\frac{0.013 * 0.12}{0.21^{\frac{2}{3}}} \right]^2 * 47.95 = 0.0016$$

Perdida de carga en las vueltas

$$h_2 = \frac{[(m + 1)V_1^2 + mV_2^2]}{2g}$$

- m= número de compartimientos=35,26,17
- V₁= velocidad en los canales verticales=0.26,0.20,0.12
- V₂= velocidad en los pasos=0.17,0.13,0.08
- g=aceleración de la gravedad = 9.81

Tramo uno:

$$h_2 = \frac{[(35 + 1) * (0.26)^2 + (35) * (0.17)^2]}{2 * 9.81} = 0.176$$

Tramo dos:

$$h_2 = \frac{[(26 + 1) * (0.20)^2 + (26) * (0.13)^2]}{2 * 9.81} = 0.096$$

Tramo tres:

$$h_2 = \frac{[(17 + 1) * (0.12)^2 + (17) * (0.08)^2]}{2 * 9.81} = 0.019$$

Perdida de carga total por tramos

$$hf = h_1 + h_2$$

Tramo uno:

$$hf = 0.042 + 0.176 = 0.218$$

Tramo dos:

$$hf = 0.01 + 0.096 = 0.106$$

Tramo tres:

$$hf = 0.0016 + 0.019 = 0.0206$$

Volumen por tramos

$$V = HbL - e(m - 1)b(H - P)$$

Tramo uno:

$$V = 3 * 1.5 * 10 - 0.007 (35 - 1)1.5(3 - 0.43) = 44.08 \text{ m}^3$$

Tramo dos:

$$V = 3 * 1.5 * 10 - 0.007 (26 - 1)1.5(3 - 0.56) = 44.35 \text{ m}^3$$

Tramo tres:

$$V = 3 * 1.5 * 10 - 0.007 (17 - 1)1.5(3 - 0.92) = 44.65 \text{ m}^3$$

Comprobación del gradiente velocidad total por tramo

$$G_T = \sqrt{\frac{\gamma}{u}} \cdot \sqrt{hfQ/V}$$

$$\sqrt{\frac{\gamma}{u}} = 2881.71$$

$$T = 25^\circ\text{C}$$

Tramo uno:

$$G_T = 2881.71 * \sqrt{0.218 * \frac{0.11}{44.08}} = 67.21$$

Tramo dos:

$$G_T = 2881.71 * \sqrt{0.106 * \frac{0.11}{44.35}} = 46.72$$

Tramo tres:

$$G_T = 2881.71 * \sqrt{0.0206 * \frac{0.11}{44.65}} = 20.53$$

Comprobación del gradiente velocidad en el canal vertical

$$G_T = \sqrt{\frac{\gamma}{u}} * \sqrt{\frac{1}{2g}} * \sqrt{\frac{f}{4R_h}} * V_1^{1.5}$$

Tramo uno:

$$G_T = 2881.71 * \sqrt{\frac{1}{2 * 9.81}} * \sqrt{\frac{0.02}{4 * 0.12}} * 0.26^{1.5} = 17.60$$

Tramo dos:

$$G_T = 2881.71 * \sqrt{\frac{1}{2 * 9.81}} * \sqrt{\frac{0.02}{4 * 0.15}} * 0.20^{1.5} = 10.62$$

Tramo tres:

$$G_T = 2881.71 * \sqrt{\frac{1}{2 * 9.81}} * \sqrt{\frac{0.02}{4 * 0.21}} * 0.12^{1.5} = 4.17$$

Anexo 4.-Dosis de hipoclorito para desinfección

Se determina el tiempo de contacto con $e=CT$ donde C =concentración residual del agente desinfectante en mg/L y T =tiempo en minutos, considerando $CT= 20$ para una desinfección al 99.9% y un tiempo de 15 minutos se tiene que:

$$C = \frac{20 \text{ mg} * \text{min}/L}{15 \text{ min}} = 1.333 \frac{\text{mg}}{L}$$

Teniendo el 78% de HOCl (agente desinfectante) en condiciones de ph 7, se calcula la cantidad de hipoclorito de sodio necesario

$$\text{Hipoclorito} = \frac{1.333 \text{ m/L}}{0.78} = 1.70 \text{ mg/L}$$

Comisión nacional del agua (CONAGUA) recomienda una dosis de 0.2 a 2 mg/L se toma como base de cálculo 2 mg/L (tabla 4)

Datos para cálculo

Dosis= 2 mg/L

Pureza= 13%

Cantidad de hipoclorito presente en la solución = 130 g/L

Densidad = 1.2 Kg/L

Calculo

$$2 \frac{\text{mg}}{L} * \left[\frac{110L}{1S} \right] = 220 \frac{\text{mg}}{s}$$

$$220 \frac{\text{mg}}{s} * \left[\frac{1L}{130000 \text{ mg}} \right] = 0.001692 \frac{L}{s}$$

$$0.001692 \frac{L}{s} * \left[\frac{1.2kg}{1L} \right] = 0.00203 \frac{kg}{s}$$

$$0.00203 \frac{kg}{s} * \left[\frac{86400s}{1 \text{ dia}} \right] = 175.46 \frac{kg}{\text{dia}}$$

Anexo 6.- Dosis de diversos oxidantes para oxidación de Fe (II) en lluvias

De la tabla 6 se tiene las siguientes cantidades estequiométricas para oxidar 1 mg de Fe (II)

- O₂ (ac)=0.14 mg
- O₃ (ac) a O₂ (ac)=0.43 mg
- HOCl=0.64 mg
- ClO₂=1.20 mg
- KMnO₄=0.94 mg

De la tabla 1 referente a las calidades del agua del río Ayutla y las NOMS vigentes se tiene como dato 4.96 mg/l de Fe en el influente para la época de lluvia y 0.03 mg/l como requerido en el efluente por lo cual se determina la cantidad de hierro a oxidar de la siguiente forma:

$$FE(II) \text{ a oxidar} = 4.96 \frac{mg}{L} - 0.03 \frac{mg}{L} = 4.93 \frac{mg}{L}$$

Considerando un flujo de 110 L/s en una planta operando las 24 hrs del día se determina la cantidad de hierro a oxidar en kilogramos

$$FE(II) \text{ a oxidar} = 4.93 \frac{mg}{L} * 110 \frac{L}{s} * 86400 \frac{s}{dia} * \frac{1Kg}{10^6 mg} = 46.85 \frac{Kg}{dia}$$

Se calcula la cantidad real de oxidante requerido para 46.85 Kg /día

$$O_2 \text{ (ac)} = \frac{0.14 \text{ mg de } O_2 \text{ (ac)}}{1 \text{ mg de Fe(II)}} * \frac{10^6 \text{ mg de Fe(II)}}{1 \text{ kg de Fe (II)}} * \frac{1Kg \text{ de } O_2 \text{ (ac)}}{10^6 \text{ mg de } O_2 \text{ (ac)}} * \frac{46.85Kg \text{ de Fe (II)}}{dia} = 6.56 \frac{Kg}{dia}$$

$$O_3 \text{ (ac)} = \frac{0.43 \text{ mg de } O_3 \text{ (ac)}}{1 \text{ mg de Fe(II)}} * \frac{10^6 \text{ mg de Fe(II)}}{1 \text{ kg de Fe (II)}} * \frac{1Kg \text{ de } O_3 \text{ (ac)}}{10^6 \text{ mg de } O_3 \text{ (ac)}} * \frac{46.85Kg \text{ de Fe (II)}}{dia} = 20.15 \frac{Kg}{dia}$$

$$HOCl = \frac{0.64 \text{ mg de HOCl (ac)}}{1 \text{ mg de Fe(II)}} * \frac{10^6 \text{ mg de Fe(II)}}{1 \text{ kg de Fe (II)}} * \frac{1Kg \text{ de HOCl (ac)}}{10^6 \text{ mg de HOCl (ac)}} * \frac{46.85Kg \text{ de Fe (II)}}{dia} = 29.99 \frac{Kg}{dia}$$

$$ClO_2 = \frac{1.20 \text{ mg de ClO}_2 \text{ (ac)}}{1 \text{ mg de Fe(II)}} * \frac{10^6 \text{ mg de Fe(II)}}{1 \text{ kg de Fe (II)}} * \frac{1Kg \text{ de ClO}_2 \text{ (ac)}}{10^6 \text{ mg de ClO}_2 \text{ (ac)}} * \frac{46.85Kg \text{ de Fe (II)}}{dia} = 56.23 \frac{Kg}{dia}$$

$$KMnO_4 = \frac{0.94 \text{ mg de ClO}_2 \text{ (ac)}}{1 \text{ mg de Fe(II)}} * \frac{10^6 \text{ mg de Fe(II)}}{1 \text{ kg de Fe (II)}} * \frac{1Kg \text{ de ClO}_2 \text{ (ac)}}{10^6 \text{ mg de ClO}_2 \text{ (ac)}} * \frac{46.85Kg \text{ de Fe (II)}}{dia} \\ = 56.23 \frac{Kg}{dia}$$

Anexo7.- Dosis de diversos oxidantes para oxidación de Fe (II) en estiaje

De la tabla 1 referente a las calidades del agua del rio Ayutla y las NOMS vigentes se tiene como dato 0.15 mg/l de Fe en el influente para la época de estiaje y 0.03 mg/l como requerido en el efluente por lo cual se determina la cantidad de fierro a oxidar de la siguiente forma:

$$FE(II) \text{ a oxidar} = 0.15 \frac{mg}{L} - 0.03 \frac{mg}{L} = 0.12 \frac{mg}{L}$$

Considerando un flujo de 110 L/s en una planta operando las 24 hrs del día se determina la cantidad de fierro a oxidar en kilogramos

$$FE(II) \text{ a oxidar} = 0.12 \frac{mg}{L} * 110 \frac{L}{s} * 86400 \frac{s}{dia} * \frac{1Kg}{10^6 mg} = 1.14 \frac{Kg}{dia}$$

Se calcula la cantidad real de oxidante requerido para 46.85 Kg /día

$$O_2 \text{ (ac)} = \frac{0.14 \text{ mg de } O_2 \text{ (ac)}}{1 \text{ mg de Fe(II)}} * \frac{10^6 \text{ mg de Fe(II)}}{1 \text{ kg de Fe (II)}} * \frac{1 \text{ Kg de } O_2 \text{ (ac)}}{10^6 \text{ mg de } O_2 \text{ (ac)}} * \frac{1.14 \text{ Kg de Fe (II)}}{\text{dia}} = 0.16 \frac{\text{Kg}}{\text{dia}}$$

$$O_3 \text{ (ac)} = \frac{0.43 \text{ mg de } O_3 \text{ (ac)}}{1 \text{ mg de Fe(II)}} * \frac{10^6 \text{ mg de Fe(II)}}{1 \text{ kg de Fe (II)}} * \frac{1 \text{ Kg de } O_3 \text{ (ac)}}{10^6 \text{ mg de } O_3 \text{ (ac)}} * \frac{1.14 \text{ Kg de Fe (II)}}{\text{dia}} = 0.49 \frac{\text{Kg}}{\text{dia}}$$

$$HOCl = \frac{0.64 \text{ mg de HOCl (ac)}}{1 \text{ mg de Fe(II)}} * \frac{10^6 \text{ mg de Fe(II)}}{1 \text{ kg de Fe (II)}} * \frac{1 \text{ Kg de HOCl (ac)}}{10^6 \text{ mg de HOCl (ac)}} * \frac{1.14 \text{ Kg de Fe (II)}}{\text{dia}} = 0.73 \frac{\text{Kg}}{\text{dia}}$$

$$ClO_2 = \frac{1.20 \text{ mg de } ClO_2 \text{ (ac)}}{1 \text{ mg de Fe(II)}} * \frac{10^6 \text{ mg de Fe(II)}}{1 \text{ kg de Fe (II)}} * \frac{1 \text{ Kg de } ClO_2 \text{ (ac)}}{10^6 \text{ mg de } ClO_2 \text{ (ac)}} * \frac{1.14 \text{ Kg de Fe (II)}}{\text{dia}} = 1.37 \frac{\text{Kg}}{\text{dia}}$$

$$KMnO_4 = \frac{0.94 \text{ mg de } ClO_2 \text{ (ac)}}{1 \text{ mg de Fe(II)}} * \frac{10^6 \text{ mg de Fe(II)}}{1 \text{ kg de Fe (II)}} * \frac{1 \text{ Kg de } ClO_2 \text{ (ac)}}{10^6 \text{ mg de } ClO_2 \text{ (ac)}} * \frac{1.14 \text{ Kg de Fe (II)}}{\text{dia}} = 1.07 \frac{\text{Kg}}{\text{dia}}$$

Anexo 8.- Dosis de diversos oxidantes para oxidación de manganeso en llluvias

De la tabla 7 se tiene las siguientes cantidades estequiométricas para oxidar 1 mg de Fe (II)

- O₂ (ac)=0.29 mg
- O₃ (ac) a O₂ (ac)=0.88 mg
- HOCl=1.3 mg
- ClO₂=2.45 mg
- KMnO₄=1.92 mg

De la tabla 1 referente a las calidades del agua del rio Ayutla y las NOMS vigentes se tiene como dato 0.078 mg/l de Mn en el influente para la época de lluvia y 0.02 mg/l como requerido en el efluente por lo cual se determina la cantidad de fierro a oxidar de la siguiente forma:

$$Mn(II) \text{ a oxidar} = 0.078 \frac{mg}{L} - 0.02 \frac{mg}{L} = 0.058 \frac{mg}{L}$$

Considerando un flujo de 110 L/s en una planta operando las 24 hrs del día se determina la cantidad de fierro a oxidar en kilogramos

$$Mn(II) \text{ a oxidar} = 0.06 \frac{mg}{L} * 110 \frac{L}{s} * 86400 \frac{s}{dia} * \frac{1Kg}{10^6 mg} = 0.60 \frac{Kg}{dia}$$

Se calcula la cantidad real de oxidante requerido para 0.60 Kg /día

$$O_2 \text{ (ac)} = \frac{0.29 \text{ mg de } O_2 \text{ (ac)}}{1 \text{ mg de Fe(II)}} * \frac{10^6 \text{ mg de Mn(II)}}{1 \text{ kg de Mn (II)}} * \frac{1 \text{ Kg de } O_2 \text{ (ac)}}{10^6 \text{ mg de } O_2 \text{ (ac)}} * \frac{0.60 \text{ Kg de Mn(II)}}{\text{dia}} = 0.17 \frac{\text{Kg}}{\text{dia}}$$

$$O_3 \text{ (ac)} = \frac{0.88 \text{ mg de } O_3 \text{ (ac)}}{1 \text{ mg de Fe(II)}} * \frac{10^6 \text{ mg de Mn(II)}}{1 \text{ kg de Mn(II)}} * \frac{1 \text{ Kg de } O_3 \text{ (ac)}}{10^6 \text{ mg de } O_3 \text{ (ac)}} * \frac{0.60 \text{ Kg de Mn(II)}}{\text{dia}} = 0.53 \frac{\text{Kg}}{\text{dia}}$$

$$HOCl = \frac{1.30 \text{ mg de HOCl (ac)}}{1 \text{ mg de Fe(II)}} * \frac{10^6 \text{ mg de Mn(II)}}{1 \text{ kg de Mn (II)}} * \frac{1 \text{ Kg de HOCl (ac)}}{10^6 \text{ mg de HOCl (ac)}} * \frac{0.60 \text{ Kg de Mn(II)}}{\text{dia}} = 0.78 \frac{\text{Kg}}{\text{dia}}$$

$$ClO_2 = \frac{2.45 \text{ mg de ClO}_2 \text{ (ac)}}{1 \text{ mg de Fe(II)}} * \frac{10^6 \text{ mg de Mn(II)}}{1 \text{ kg de Mn(II)}} * \frac{1 \text{ Kg de ClO}_2 \text{ (ac)}}{10^6 \text{ mg de ClO}_2 \text{ (ac)}} * \frac{0.60 \text{ Kg de Mn(II)}}{\text{dia}} = 1.47 \frac{\text{Kg}}{\text{dia}}$$

$$KMnO_4 = \frac{1.92 \text{ mg de ClO}_2 \text{ (ac)}}{1 \text{ mg de Fe(II)}} * \frac{10^6 \text{ mg de Mn(II)}}{1 \text{ kg de Mn(II)}} * \frac{1 \text{ Kg de ClO}_2 \text{ (ac)}}{10^6 \text{ mg de ClO}_2 \text{ (ac)}} * \frac{0.60 \text{ Kg de Mn(II)}}{\text{dia}} = 1.15 \frac{\text{Kg}}{\text{dia}}$$

Anexo 9.- Dosis de diversos oxidantes para oxidación de manganeso en estiaje

De la tabla 7 se tiene las siguientes cantidades estequiométricas para oxidar 1 mg de Mn (II)

- O₂ (ac)=0.29 mg
- O₃ (ac) a O₂ (ac)=0.88 mg
- HOCl=1.3 mg
- ClO₂=2.45 mg
- KMnO₄=1.92 mg

De la tabla 1 referente a las calidades del agua del río Ayutla y las NOMS vigentes se tiene como dato 0.075 mg/l de Fe en el influente para la época de lluvia y 0.02 mg/l como requerido en el efluente por lo cual se determina la cantidad de hierro a oxidar de la siguiente forma:

$$Mn(II) \text{ a oxidar} = 0.075 \frac{mg}{L} - 0.02 \frac{mg}{L} = 0.055 \frac{mg}{L}$$

Considerando un flujo de 110 L/s en una planta operando las 24 hrs del día se determina la cantidad de hierro a oxidar en kilogramos

$$Mn(II) \text{ a oxidar} = 0.06 \frac{mg}{L} * 110 \frac{L}{s} * 86400 \frac{s}{dia} * \frac{1Kg}{10^6 mg} = 0.57 \frac{Kg}{dia}$$

Se calcula la cantidad real de oxidante requerido para 0.57 Kg /día

$$O_2 \text{ (ac)} = \frac{0.29 \text{ mg de } O_2 \text{ (ac)}}{1 \text{ mg de Fe(II)}} * \frac{10^6 \text{ mg de Mn(II)}}{1 \text{ kg de Mn (II)}} * \frac{1 \text{ Kg de } O_2 \text{ (ac)}}{10^6 \text{ mg de } O_2 \text{ (ac)}} * \frac{0.57 \text{ Kg de Mn(II)}}{\text{dia}} = 0.17 \frac{\text{Kg}}{\text{dia}}$$

$$O_3 \text{ (ac)} = \frac{0.88 \text{ mg de } O_3 \text{ (ac)}}{1 \text{ mg de Fe(II)}} * \frac{10^6 \text{ mg de Mn(II)}}{1 \text{ kg de Mn(II)}} * \frac{1 \text{ Kg de } O_3 \text{ (ac)}}{10^6 \text{ mg de } O_3 \text{ (ac)}} * \frac{0.57 \text{ Kg de Mn(II)}}{\text{dia}} = 0.50 \frac{\text{Kg}}{\text{dia}}$$

$$HOCl = \frac{1.30 \text{ mg de HOCl (ac)}}{1 \text{ mg de Fe(II)}} * \frac{10^6 \text{ mg de Mn(II)}}{1 \text{ kg de Mn (II)}} * \frac{1 \text{ Kg de HOCl (ac)}}{10^6 \text{ mg de HOCl (ac)}} * \frac{0.57 \text{ Kg de Mn(II)}}{\text{dia}} = 0.74 \frac{\text{Kg}}{\text{dia}}$$

$$ClO_2 = \frac{2.45 \text{ mg de ClO}_2 \text{ (ac)}}{1 \text{ mg de Fe(II)}} * \frac{10^6 \text{ mg de Mn(II)}}{1 \text{ kg de Mn(II)}} * \frac{1 \text{ Kg de ClO}_2 \text{ (ac)}}{10^6 \text{ mg de ClO}_2 \text{ (ac)}} * \frac{0.57 \text{ Kg de Mn(II)}}{\text{dia}} = 1.40 \frac{\text{Kg}}{\text{dia}}$$

$$KMnO_4 = \frac{1.92 \text{ mg de ClO}_2 \text{ (ac)}}{1 \text{ mg de Fe(II)}} * \frac{10^6 \text{ mg de Mn(II)}}{1 \text{ kg de Mn(II)}} * \frac{1 \text{ Kg de ClO}_2 \text{ (ac)}}{10^6 \text{ mg de ClO}_2 \text{ (ac)}} * \frac{0.57 \text{ Kg de Mn(II)}}{\text{dia}} = 1.09 \frac{\text{Kg}}{\text{dia}}$$

Anexo 10.- Consumo de hipoclorito de sodio al día

Dosis de HOCl para remoción de Fe (II) en lluvias

$$HOCl = \frac{0.64 \text{ mg de HOCl (ac)}}{1 \text{ mg de Fe(II)}} * \frac{4.93 \text{ mg de Fe(II)}}{L} * \frac{L}{10^{-3}m^3} * \frac{1 \text{ g de HOCl (ac)}}{10^3 \text{ mg de HOCl (ac)}} = 3.16 \frac{g}{m^3}$$

Dosis de HOCl para remoción de Mn (II) en lluvias

$$HOCl = \frac{1.30 \text{ mg de HOCl (ac)}}{1 \text{ mg de Fe(II)}} * \frac{0.06 \text{ mg de Mn(II)}}{L} * \frac{L}{10^{-3}m^3} * \frac{1 \text{ g de HOCl (ac)}}{10^3 \text{ mg de HOCl (ac)}} = 0.08 \frac{g}{m^3}$$

Dosis total de HOCl para oxidacion en lluvias

$$D_{lluvias} = 3.16 \frac{g}{m^3} + 0.08 \frac{g}{m^3} = 3.24 \frac{g}{m^3}$$

Dosis de HOCl para remoción de Fe (II) en estiaje

$$HOCl = \frac{0.64 \text{ mg de HOCl (ac)}}{1 \text{ mg de Fe(II)}} * \frac{0.12 \text{ mg de Fe(II)}}{L} * \frac{L}{10^{-3}m^3} * \frac{1 \text{ g de HOCl (ac)}}{10^3 \text{ mg de HOCl (ac)}} = 0.08 \frac{g}{m^3}$$

Dosis de HOCl para remoción de Mn (II) en estiaje

$$HOCl = \frac{1.30 \text{ mg de HOCl (ac)}}{1 \text{ mg de Fe(II)}} * \frac{0.06 \text{ mg de Mn(II)}}{L} * \frac{L}{10^{-3}m^3} * \frac{1 \text{ g de HOCl (ac)}}{10^3 \text{ mg de HOCl (ac)}} = 0.08 \frac{g}{m^3}$$

Dosis total de HOCl para oxidacion en estiaje

$$D_{estiaje} = 0.08 \frac{g}{m^3} + 0.08 \frac{g}{m^3} = 0.16 \frac{g}{m^3}$$

Pureza del reactivo a usar

$$p = 13\%$$

Caudal de la planta

$$Q = 0.11 \frac{m^3}{s}$$

Concentración de HOCl en solución en pH 7

$$C = 130 \frac{g}{l} * 0.78 = 101.4 \frac{g}{L}$$

Volumen de solución de hipoclorito en lluvias

$$q = \frac{3.24 \frac{g}{m^3} * 0.11 \frac{m^3}{s}}{101.4 \frac{g}{L}} = 0.0035 \frac{L}{s}$$

Volumen de solución de hipoclorito en estiaje

$$q = \frac{0.16 \frac{g}{m^3} * 0.11 \frac{m^3}{s}}{101.4 \frac{g}{L}} = 0.0002 \frac{L}{s}$$

Kilogramos de hipoclorito en lluvias

$$NaOCl = 0.0035 \frac{L}{s} * \frac{86400s}{dia} * 1.2 \frac{Kg}{L} = 362.88 \frac{Kg}{dia}$$

Kilogramos de hipoclorito en estiaje

$$NaOCl = 0.0002 \frac{L}{s} * \frac{86400s}{dia} * 1.2 \frac{Kg}{L} = 20.74 \frac{Kg}{dia}$$

Anexo 11.- Diseño del tanque de desinfección

Se considera un tiempo de residencia de 15 minutos

$$Tr = 15 \text{ minutos} * \frac{60 \text{ segundos}}{1 \text{ minuto}} = 900 \text{ segundos}$$

Volumen del tanque

$$V = Q * Tr$$

V=volumen del tanque en m³

Q= flujo = 0.11 m³/s

Tr= tiempo de residencia = 900 segundos

Calculando

$$V = 0.11 \frac{m^3}{s} * 900 \text{ segundos} = 99 m^3$$

Se propone relación profundidad/ancho= 3

Se propone relación largo/ancho= 8

Profundidad

Por conveniencia constructiva se propone una profundidad de 2.80 m (sin considerar el bordo libre) esta medida es considerada por ser la profundidad requerida en los sedimentadores de alta tasa

Ancho

$$A = \frac{\text{profundidad}}{3} = \frac{2.80 \text{ m}}{3} = 0.933 \text{ m}$$

Largo

$$L = \text{ancho} * 8 = 0.933 \text{ m} * 8 = 7.47 \text{ m}$$

Volumen del canal

$$Vc = P * A * L = 2.80 \text{ m} * 0.933 \text{ m} * 7.47 \text{ m} = 19.51 \text{ m}^3$$

Numero de canales

$$N_c = \frac{\text{Volumen del tanque}}{\text{Volumen del canal}} = \frac{99\text{m}^3}{19.51\text{m}^3} = 5.07$$

Se opta por la utilización de 5 canales

Área constructiva del tanque de desinfección

Largo

$$L_c = 0.6\text{m} + L = 0.6\text{m} + 7.47\text{m} = 8.07\text{m}$$

Ancho

$$A_c = 0.3\text{m}(N_c + 1) + (N_c * A) = 0.3\text{m}(5 + 1) + (5 * 0.93\text{m}) = 6.47\text{m}$$

Área requerida

$$A_r = L_c * A_c = 8.07\text{m} * 6.47\text{m} = 52.16\text{m}^2$$

Profundidad con bordo libre

$$P_c = P + 0.6\text{m} = 2.80\text{m} + 0.6\text{m} = 3.4\text{m}$$

Volumen húmedo del tanque corregido

$$V_h = \text{volumen de canal} * \text{canales empleados} = 19.51 \text{ m}^3 * 5 = 97.56\text{m}^3$$

Anexo12.- Filtro de tasa declinante

Número de Filtros propuesto (CEPIS recomienda minimo 4)

$$N= 5$$

Caudal del diseño del filtro

$$Qd = \frac{Q}{N} = \frac{0.11 \frac{m^3}{s}}{5} = 0.22 \frac{m^3}{s}$$

Velocidad ascensional de lavado propuesto (CEPIS recomienda velocidad mayor a 0.60 m/min)

$$VA= 1.10 \text{ m/min}$$

Área de cada filtro

$$Af = \frac{N * 60 * Q}{VA} = \frac{5 * \frac{60s}{1 \text{ min}} * 0.11 \frac{m^3}{s}}{1.10 \text{ m/min}} = 6m^2$$

Ancho de cada filtro (propuesto)

$$c=2m$$

Largo de cada filtro

$$l = \frac{Af}{c} = \frac{6m^2}{2m} = 3m$$

Velocidad de filtración promedio

$$VF = \frac{Q * 86400}{Af} = \frac{0.11 \frac{m^3}{s} * 86400 \frac{s}{\text{dia}}}{6m^2} = 316.80 \frac{m^3}{m^2 d}$$

Área total de filtros

$$AT = \frac{Q * 86400 * N}{VF} = \frac{0.11 \frac{m^3}{s} * 86400 \frac{s}{\text{dia}} * 5}{316.80 \frac{m^3}{m^2 d}} = 30 m^2$$

Tamaño efectivo de la arena (CEPIS ;0.45-0.65)

$$d_{10}=0.55 \text{ mm}$$

Tamaño de la antracita correspondiente al 90% que pasa la malla 90

$$d'90=1.65\text{mm}$$

Tamaño efectivo de la antracita

$$d'10=0.80\text{mm}$$

Coeficiente de uniformidad de la arena y la antracita

$$Cu=1.50$$

Tamaño correspondiente al 60% de la arena

$$d60=d10*Cu=0.55\text{mm}*1.50=0.83\text{mm}$$

Tamaño correspondiente al 60% de la antracita

$$d60=d'10*Cu=0.80\text{mm}*1.50=1.2\text{mm}$$

Número de capas de arena

$$Nc=7$$

Número de capas de antracita

$$Nc=7$$

Porosidad Expandida Promedio de la capa de arena

$$\varepsilon'_e = 1 - \left[\frac{1}{\sum x'i(1 - \varepsilon_i)} \right] = 1 - \left[\frac{1}{2.151} \right] = 0.54$$

$$\text{Del cuadro 5-10 se obtiene } = \sum x'i(1 - \varepsilon_i) = 2,251$$

Porosidad expandida promedio de la capa antracita

$$\varepsilon'_e = 1 - \left[\frac{1}{\sum x'i(1 - \varepsilon_i)} \right] = 1 - \left[\frac{1}{2.338} \right] = 0.56$$

$$\text{Del cuadro 5 - 11 se obtiene } = \sum x'i(1 - \varepsilon_i) = 2.338$$

Porosidad de la arena limpia

$$\varepsilon_o = 0,42$$

Porosidad de la antracita limpia

$$\varepsilon_o = 0.45$$

Porcentaje de expansión promedio de la arena

$$E = \frac{\varepsilon_e - \varepsilon_o}{1 - \varepsilon_e} = \frac{0.54 - 0.42}{1 - 0.54} = 0.25$$

Porcentaje de expansión promedio de la antracita

$$E' = \frac{\varepsilon'_e - \varepsilon'_o}{(1 - \varepsilon'_e)} = \frac{0.56 - 0.45}{1 - 0.56} = 26$$

Altura del lecho estático de arena

$$L = 0.30 \text{ m}$$

Altura del lecho estático de antracita

$$L' = 0.50 \text{ m}$$

Altura del lecho filtrante expandido

$$Le = L(1 + E) + L'(1 + E') = 0.30(1 + 0.25) + 0.50(1 + 26) = 1.01 \text{ m}$$

Numero de canaletas de recolección del agua de lavado

$$N_3 = 1$$

Caudal que recolecta cada canaleta

$$Q_c = \frac{1.3 * 60 * Q}{N_3} = \frac{1.3 * 60 \frac{s}{min} * 0.02 \frac{m^3}{s}}{1} = 1.72 \text{ m}^3/min$$

Altura útil de las canaletas de lavado

$$h_o = 0.40 \text{ m}$$

Ancho de las canaletas de lavado

$$W = 0.5$$

Altura total de canaletas de lavado más losa de fondo

$$H_3 = 1.5 h_o + 0.10 = 1.5 \text{ m} * 0.40 + 0.10 \text{ m} = 0.70 \text{ m}$$

Altura entre nivel lecho expandido y fondo canaleta

$$H_4 = 0.10 \text{ m}$$

Altura del falso fondo

$$H_1 = 0,50m$$

Altura del drenaje más la grava

$$H_2 = 0,52m$$

Altura del lecho filtrante

$$H_3 = 0,80m$$

Distancia del borde de la canaleta de lavado a la superficie del medio filtrante estático

$$H_4 = 1.13m$$

Altura del borde de la canaleta de lavado con respecto al fondo del filtro

$$H_c = H_1 + H_2 + L_e + H_3 + H_4 = 2.95m$$

Densidad de la arena

$$p_s = 2.65 \text{ g/cm}^3$$

Densidad del agua

$$p_a = 1.00 \text{ g/cm}^3$$

Espesor de la capa de arena

$$L = 0.30$$

Porosidad de la arena

$$\varepsilon_0 = 0.42$$

Pérdida de carga en la arena durante el retrolavado

$$h_f = (1 - \varepsilon_0) \left(\frac{p_s - p_a}{p_a} \right) L = 0.29m$$

Densidad de la antracita

$$p_{ant} = 1.5 \frac{g}{cm^3}$$

Espesor de la capa de antracita

$$L' = 0.50$$

Porosidad de la antracita

$$\varepsilon_0 = 0.45$$

Pérdida de carga en la antracita durante el retrolavado

$$h'f = (1 - \varepsilon_0) \left(\frac{p_{ant} - p_a}{p_a} \right) L = 0.19m$$

Pérdida de carga total en el lecho filtrante durante el retrolavado

$$hf_1 = hf + h'f = 0.48 m$$

Ancho de cada vigueta de drenaje

$$b=0.30 m$$

Número de viguetas de drenaje

$$N_1 = 10$$

Espaciamiento entre orificios (Se supone el espaciamiento)

$$e=0.10 m$$

Longitud de cada vigueta

$$C=2 m$$

Número de orificios en cada vigueta

$$N_2 = \frac{2C}{e} = \frac{2 * 2m}{0.10m} = 40$$

Número total de orificios en el drenaje

$$NT = N_1 N_2 = 400$$

Caudal de lavado por orificio

$$q_0 = \frac{Q}{NT} = 5.50E-05$$

Diámetro de los orificios del drenaje (Se propone)

$$d_0 = \frac{1}{2} \text{ in } \text{o } 0.013 m$$

Área de los orificios del drenaje

$$AO = \frac{\pi d_o^2}{4} = 1.27E-04$$

Coefficiente de descarga de los orificios

$$Cd=0.65$$

Aceleración de la gravedad

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

Pérdida de carga en los orificios del drenaje durante el retrolavado

$$hf_2 = \frac{q_o^2}{2g(Cd.Ao)^2} = 0.02$$

Ancho libre del canal del falso fondo

$$C= 2 \text{ m}$$

Sección transversal del falso fondo

$$AFF = H_1 C = 1 \text{ m}^2$$

Velocidad en el falso fondo durante el retrolavado

$$VFF = \frac{Q}{AFF} = 0.02 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Coefficiente de pérdida de carga en el falso fondo

$$K=1$$

Pérdida de carga en falso fondo durante el retrolavado

$$hf_3 = \frac{KVFF^2}{2g} = 2.47E-05 \text{ m}$$