

## **CAPÍTULO I GENERALIDADES**

### **ANÁLISIS TÉCNICO PARA LA PUESTA EN MARCHA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE SAN JACINTO**

#### **1. Introducción.**

##### **1.1 Antecedentes.**

En el año 2006, la planta de tratamiento de agua potable de San Jacinto fue puesta fuera de servicio, debido a la caracterización del agua de su efluente estudiado en el cual se determinó que un parámetro de control especial (plaguicida organoclorado) ; Heptacloro  $0,1090 \mu g L^{-1}$ , superan los límites establecidos por la normativa boliviana de control de calidad del agua para consumo humano, (Universidad Autónoma Nacional De México, 2006)

Para tener mayor claridad, sobre la presencia de plaguicidas y las actividades agrícolas que los están generando, evidentemente se debe invertir en estudios intensivos al agua del Lago San Jacinto, siendo específicos, a la entrada y salida de la misma para poder caracterizarla y tomar en cuenta los valores actuales de los parámetros de control de calidad que se requieren cumplir después de tratar el agua, y así tomar las acciones necesarias para su puesta en marcha. Debido al carácter preliminar del estudio de la UNAM, el estado insoluble del plomo y el origen poco claro de altos niveles de Heptacloro en la entrada y salida de Planta de potabilización de San Jacinto, sin estar presentes en niveles alarmantes en la fuente de agua (represa y ríos tributarios), no se considera prohibitivo el uso de la represa y ríos tributarios como fuentes de agua potable, previa: Ubicación de obras de toma y/o sistema de bombeo en lugares estratégicos y bombeo de agua desde los niveles más superficiales de la represa. Sedimentación: eliminación de partículas sedimentables con metales pesados y parásitos. Clarificación: eliminación de turbiedad y sólidos en suspensión. Aireación intensa: eliminación de sulfuros, misma que no es parte del tren de tratamiento convencional de la planta; y Desinfección; eliminación de patógenos. (Grupo TAR I+D. Universidad Autónoma Juan Misael Saracho – Universidad de Sevilla, 2007)

La puesta fuera de servicio de la planta potabilizadora de San Jacinto preocupó a la población tarijeña, ya que la demanda de agua potable se eleva exponencialmente, a raíz de este problema COSAALT, envió muestras a laboratorios nacionales e internacionales para evaluar la presencia de plaguicidas en el efluente de la planta. Estos datos se encuentran en la Tabla Cuadro comparativo de análisis de agua del Lago San Jacinto adjuntada en anexos. En agosto del año 2006, se envió muestras de agua al laboratorio de ITAIPU (Jujuy), para la determinación de cantidad de residuos de plaguicidas en la misma, donde no se tuvo datos confiables, ya que solo se pudo determinar valores de Clordano y Metoxicloro, ambos cumpliendo con la normativa boliviana. El mismo año en octubre, también se envían muestras de agua al laboratorio MHW (California), mismas que arrojaron resultados dentro de lo permisible en cuanto a residuos de plaguicidas en el afluente de la planta. El año 2007 en el mes de octubre se envían muestras, esta vez al Centro de Aguas y Saneamiento Ambiental (CASA) de la Universidad Mayor de San Simón en Cochabamba, donde se obtuvieron resultados bajos en cuanto a plaguicidas, pero no todos cumplían con lo establecido en la norma boliviana NB 512, el valor del heptacloro superaba su límite permisible. El último dato de estudio de plaguicidas en el efluente de la planta fue el del año 2011 en el mes de julio, realizado por el CASA, que muestra resultados favorables para la planta, con valores permisibles en cuanto a residuos de plaguicidas en el agua. (COSAALT R.L., 2012) Todos estos ensayos se hicieron para conocer el estado eventual de la calidad de agua en cuanto a plaguicidas específicos en la misma, es decir esta información no era de alcance total para poder proponer soluciones.

Facsa y la Universidad de Zaragoza han realizado un estudio en planta piloto sobre las técnicas de oxidación por cloración y ozonización, en combinación con adsorción en carbón activo granular (GAC) de origen mineral, para el control de plaguicidas tipo triazinas en aguas de abastecimiento. Aunque la cloración u ozonización consiguen degradar en parte los plaguicidas objeto de estudio (atrazina, simazina, terbutilazina y bromacilo), su paso a través de una columna de adsorción con GAC mineral permite su eliminación total cuando se parte de concentraciones iniciales próximas a los 500 mg/l de cada uno de ellos, alcanzadas mediante fortificación externa de la muestra estudiada.

Se observa que bajo las condiciones de operación utilizadas: La adsorción con carbón activo granular de origen mineral, consigue la eliminación total de los plaguicidas objeto de estudio (atrazina, simazina, terbutilazina y bromacilo), incluso cuando se parte de concentraciones iniciales próximas a los 500 mg/l de cada uno de ellos, alcanzadas mediante fortificación externa de la muestra objeto de estudio. (Melero & Cerbuna, 2009)

El abastecimiento de agua potable a la población de Senyera, España se realiza principalmente mediante la captación de agua subterránea misma que es captada desde el pozo Maximiliano presenta trazas de algunos plaguicidas como son Terbutilazina desetil, Terbumetón desetil y Terbutilazina, que en ocasiones de forma puntual puede exceder los valores máximos permitidos por el RD 140/2003. La planta potabilizadora, que se ubica junto al depósito municipal, consiste en la instalación de un filtro de carbón activo, que produce la adsorción en su superficie porosa de plaguicidas, sustancias orgánicas precursoras de sabor y olor, así como algunos metales pesados y cloro. Para garantizar la eliminación de los plaguicidas presentes en el agua distribuida a la población, el Ayuntamiento de Senyera, ha contratado a AQLARA que llevó a cabo la ejecución de una planta potabilizadora en el año 2007, que actualmente cuenta con eficiencias de remoción del 97% en plaguicidas. Hoy en día debido a la demanda creciente de agua potable, y a la contaminación de las fuentes de agua para consumo humano, surgen empresas como Aqlara que se dedican al diseño, implementación y mantenimiento de este tipo de unidades de tratamiento que son patentadas (Katya, 2021)

En España la Empresa Municipal de aguas de Córdoba, realizó un estudio para evaluar la eliminación de compuestos fitosanitarios (plaguicidas) en abastecimientos de agua de Andalucía con tecnologías de carbón activo, la información refleja que se consiguen concentraciones residuales inferiores a 0.1µg/L (o de 0.03µg/L, para aldrín, dieldrín, heptacloro y heptacloro epóxido) que es el nivel imperativo recogido en la normativa española (RD 1470/2003 y Decreto 70/2009 de la Junta de Andalucía) Evaluando las tecnologías aplicadas, Filtración sobre carbón activo granular (CAG) y dosificación de carbón activo en polvo (CAP), ambas tecnologías están suficientemente contrastadas y funcionan de forma eficaz. (Rafael Marín Galvin, 2014)

## **1.2 Descripción del problema**

La ciudad de Tarija cuenta con dos plantas de tratamiento de agua potable, la principal está ubicada en la zona de tabladita, y la segunda planta, ubicada en la zona de Tablada, misma que fue puesta fuera de servicio el año 2006, debido a los resultados obtenidos en el estudio realizado por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) en el cual se evidencia la presencia de residuos de plaguicidas en el efluente de la planta, superando los límites permisibles según la normativa boliviana NB 512, estos resultados fueron entregados en un informe a COSAALT R.L.

Afectando así a la población tarijeña, específicamente a la zona comprendida entre la Ex Terminal de buses y el Aeropuerto, forzando a la Cooperativa a buscar otras alternativas de fuentes para la dotación del líquido elemento.

COSAALT R.L. intentó dar soluciones para poder poner en marcha la planta potabilizadora, proponiendo alternativas, como, conducir agua del Rincón de la Victoria hasta la planta de San Jacinto, para tratarla, así cubrir la demanda creciente de la población tarijeña, y que la planta pueda cumplir con la función para la que fue construida. Debido a que COSAALT no cuenta con los recursos financieros necesarios para el estudio de los parámetros claves que forzaron el cierre de esta planta no se pudo llevar a cabo el diseño e implementación de un proceso que pueda permitir la puesta en marcha de la misma. La entidad pública local encargada de gestionar este tipo de proyectos no le da la importancia que se merece al problema en cuestión.

Es por esto que COSAALT buscó otras alternativas de financiamiento para llevar a cabo los estudios de los parámetros de control que puedan reflejar la calidad del agua que sirve como fuente de la planta potabilizadora de San Jacinto, y así poder plantear posibles soluciones para su puesta en marcha.

## **1.3 Planteamiento del problema**

¿Cuál es la situación actual de la planta de tratamiento de agua potable de San Jacinto?

¿Qué acciones pueden hacer posible su Puesta en Marcha?

## **1.4 Objetivos.**

### **1.4.1 General.**

- Realizar un análisis técnico de la planta de tratamiento de agua potable de San Jacinto mediante la aplicación de la metodología para el diagnóstico y restauración de edificaciones para proponer la mejor alternativa de diseño de un proceso de tratamiento de remoción de plaguicidas para su puesta en marcha.

### **1.4.2 Específicos.**

- Realizar un diagnóstico técnico en cada componente de la planta potabilizadora de San Jacinto para conocer el estado actual de los mismos.
- Recomendar para cada falencia identificada una solución viable con el fin de facilitar su puesta en funcionamiento.
- Rediseñar los componentes de tratamiento de la planta utilizando el caudal y parámetros de diseño establecidos para verificar que las dimensiones constructivas sean las adecuadas.
- Efectuar la verificación del cumplimiento de los límites de parámetros de control de calidad usando los datos del afluente y efluente según la norma NB 512 vigente con el fin de determinar los parámetros específicos que deben reducirse.
- Evaluar la eficiencia teórica de remoción de los contaminantes, en los procesos de tratamiento de la planta, para definir el proceso que pueda reducir aquellos valores de parámetros de control de calidad excedidos.
- Desarrollar el diseño de un proceso de tratamiento con carbón activado, que se integra de manera viable en la planta de San Jacinto, optimizando su capacidad de adsorción para la eliminación de residuos de plaguicidas específicos presentes en el agua.

## **1.5 Metodología**

### **1.5.1 Tipo de investigación según la finalidad.**

El presente trabajo de investigación es del tipo aplicado.

Este tipo de investigación recurre a los conocimientos ya alcanzados en la investigación básica para encaminarlos al cumplimiento de objetivos específicos, realizar una propuesta para poner en marcha la Planta de Tratamiento de agua Potable de San Jacinto; por tanto, se considera todo el conocimiento existente, datos recolectados de parámetros de calidad de agua, y situación actual de la planta, en un área concreta, para poder implementar los procesos u operaciones que se requiere para llegar a cumplir con lo establecido en cuanto a calidad de agua para el consumo humano.

### **1.5.2 Tipo de investigación según la profundidad.**

Es de tipo descriptivo, porque el objetivo es el de llegar a conocer la situación general en el que se encuentra la planta de tratamiento de agua potable de San Jacinto, identificandolos diferentes procesos que interactúan, parámetros de calidad de agua que debe cumplir el agua tratada por la misma, procesos y/u operaciones, necesarios para poder poner en Marcha nuevamente esta planta.

A través de la descripción de las actividades realizadas, objetos, procesos y personas a fin de extraer generalizaciones significativas que contribuyen al conocimiento. No tiene planteamiento de hipótesis.

Se consiguió datos históricos, de los parámetros de calidad del agua, planos, de la Planta de tratamiento de Agua Potable de San Jacinto, que fueron dotados por COSAALT R.L., también se realizó una inspección previa a la planta, para conocer la situación actual de la misma, y si se cuenta con espacio para implementar procesos u operaciones que se puedan necesitar para cumplimiento del objetivo principal de este trabajo.

### **1.5.3 Elaboración y construcción de los instrumentos.**

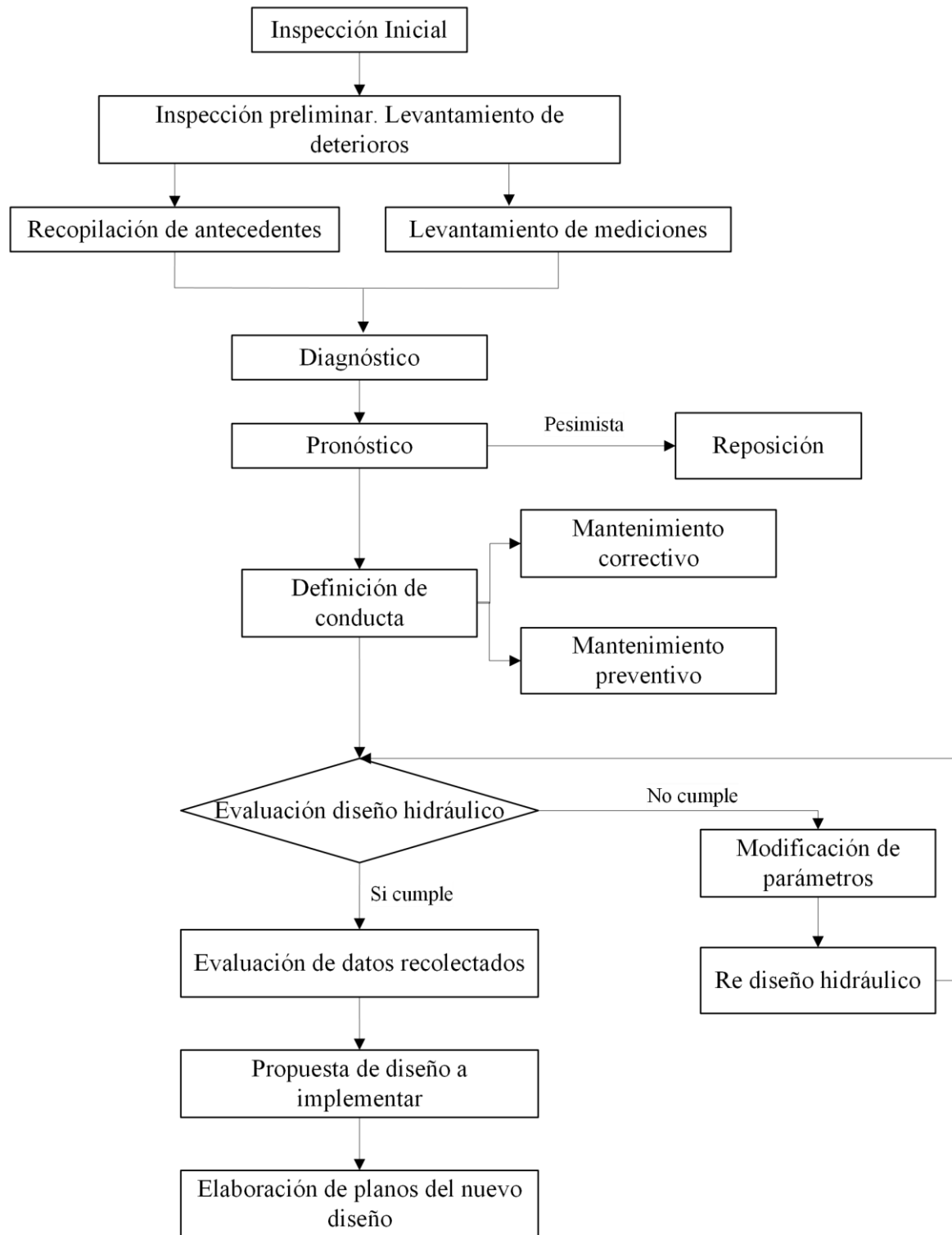
Los procedimientos metodológicos y las técnicas de evaluación empleadas para el desarrollo del Trabajo e basaron en las siguientes metodologías: Metodología para el

Diagnóstico y Restauración de Edificaciones. (Vega & Rodríguez, 2005). La cual fue adecuada a la información obtenida del proyecto.

Metodología para el diseño de un proceso de tratamiento a complementar a la planta.

La fusión de estas dos metodologías, se reflejan en el siguiente diagrama:

Figura 1. Metodología de aplicación.



Fuente: (Vega & Rodríguez, 2005) modificado para el presente proyecto.



#### **1.5.3.1 Inspección inicial**

El objetivo de esta fase es inspeccionar la edificación o la parte de ella que será objeto de estudio, con el fin de trazar las estrategias para realizar el diagnóstico. El reconocimiento del entorno en que se encuentra ubicado el inmueble y la determinación de sus características fundamentales, constituyen los puntos claves de esta etapa del trabajo de diagnóstico.

#### **1.5.3.2 Inspección preliminar: Levantamiento de deterioros**

El objetivo de esta etapa es buscar la presencia de recopilar información acerca del estado de la construcción; lesiones que se manifiesten como síntomas del proceso patológico y a partir de las cuales es posible conocerlo.

Lo primero es detectar falencias, las lesiones, identificarlas e independizar las lesiones y procesos patológicos diferentes con el objetivo de seguirlos adecuadamente, sobre todo, teniendo en cuenta su posible relación. Esta fase concluye con la confección del levantamiento de daños por locales, ello implicará un número reiterado de visitas y la utilización de una cámara fotográfica que permita plasmar gráficamente las lesiones en el momento del inventario. De este modo, se puede obtener una serie de datos físicos que faciliten la comprensión del proceso.

Para esta primera etapa del estudio es muy útil tener un listado con la clasificación de las posibles lesiones y materiales afectados.

#### **1.5.3.3 Recopilación de antecedentes**

Una vez identificadas e independizadas las lesiones, se inicia esta fase, para la cual se deben usar todas las fuentes disponibles. Esto implicará tratar de conseguir todo tipo de documentación gráfica o escrita sobre la edificación e incluso entrevistas con los moradores, usuarios del edificio o personas del barrio para conocer más detalles que no estén reflejados en la documentación.

En esta fase pueden obtenerse planos, fotografías, informes de diagnósticos anteriores, órdenes de demolición, apuntalamientos, fecha de aparición o periodicidad de algunas lesiones, usos del edificio, fecha de construcción, sistema y detalles constructivos o nivel de contaminación del entorno del edificio, etc.

#### 1.5.3.4 Levantamiento de mediciones

Es preciso realizar mediciones a la construcción para ver si coinciden con los datos de los planos dotados para su evaluación, se debe tomar los mismos con herramientas de medición, tales como flexómetro o cinta métrica.

#### 1.5.3.5 Diagnóstico

Una vez terminada la toma de datos directa, se puede iniciar la reconstrucción de los hechos, es decir, tratar de conocer cómo se ha desarrollado el proceso patológico, cuál ha sido su origen y sus causas, cuál su evolución y cuál su estado actual.

En esta etapa se debe llegar a conclusiones para la posterior actuación que implique la reparación de la edificación. Este análisis debe contemplar los siguientes aspectos:

**Tabla 1. Diagnóstico técnico**

Componente	Identificación del problema	Causas	Evolución del proceso patológico	Mecanismos de actuación	Estado Actual
Laboratorio					
Mezcla					
Rápida					
Floculador					
Sedimentador					
Filtro					
Caseta de Cloración					

Fuente: Elaboración propia

Causas que han originado el proceso, distinguiendo entre las directas y las indirectas, con descripción precisa de cada una de ellas y explicación de su relación, tanto de varias causas directas como de las posibles indirectas que hayan actuado conjuntamente.

Evolución del proceso, indicando sus tiempos, su posible periodicidad, la transformación o ramificación en nuevos procesos patológicos, etc.

Mecanismos de actuación, indicando las causas que de forma primaria o secundaria han motivado el estado actual del elemento estudiado.

Estado actual de la situación del proceso, su posible vigencia o su desaparición y las lesiones a que ha dado lugar y que constituyen los síntomas perceptibles del proceso.

#### **1.5.3.6 Pronóstico**

En esta etapa, deberá apoyarse en el diagnóstico para prevenir la evolución de los daños y orientar a su correcto tratamiento en una fase posterior.

Un buen pronóstico debe basarse tanto en el diagnóstico del proceso patológico como en el conocimiento del edificio, pues al ser este el que da soporte físico, incide en mayor o menor grado sobre su evolución.

Cuando el pronóstico no resulta favorable se procederá a tomar medidas de reposición para las mismas.

#### **1.5.3.7 Reposición**

Tomando en cuenta el pronóstico, cuando este no es favorable, se debe conducir a este tipo de mantenimiento, que nos permite reponer piezas o elementos de la infraestructura que necesitan ser sustituidos. Este tipo de acción optimiza los recursos al reducir la necesidad de reparaciones de emergencia, que suelen ser más costosas y complejas.

#### **1.5.3.8 Definición de conducta**

En el diseño de edificios, pueden suceder dos situaciones, una cuando se diseña para satisfacer las necesidades del usuario o cuando él usuario tiene que adaptarse al espacio que ya fue creado.

#### **1.5.3.9 Mantenimiento Correctivo**

Al tener definida la conducta tenemos dos opciones; una es esta, que se da cuando se requiere corregir comportamientos dados en la infraestructura, que pueden ser subsanados.

#### **1.5.3.10 Mantenimiento Preventivo**

Existen elementos de la infraestructura que necesitaran cuidarse para evitar posibles problemas o daños futuros que afecten los mismos, es por esto que se adoptan medidas de prevención estudiando en cada una de ellas.

#### **1.5.3.11 Evaluación diseño hidráulico**

Una vez que se presenten las mejoras requeridas se procede a evaluar el diseño hidráulico y sanitario de la obra, verificando su cumplimiento con los datos de diseño real.

#### **1.5.3.12 Modificación de parámetros**

En caso de que algún componente no cumpla con lo establecido en los planos, se deberá modificar los parámetros o sugerir soluciones para su cumplimiento.

Realizamos los cálculos de re diseño Hidráulico hasta llegar a los valores que si nos den las dimensiones construidas.

#### **1.5.3.13 Evaluación de datos recolectados**

En esta etapa se evaluarán los datos aplicando los límites permisibles de la normativa vigente en este tipo de obra.

#### **1.5.3.14 Propuesta de diseño a implementar.**

Teniendo en cuenta los datos que no cumplan con la norma, se realizará un diseño de un proceso a implementar para poder reducir los valores de los parámetros de control hasta su cumplimiento establecido en la norma.

#### **1.5.3.15 Elaboración de planos del nuevo diseño.**

Se deberá realizar planos constructivos de la propuesta realizada, en el lugar elegido para su posible emplazamiento.

#### **1.5.4 Categorización de la información.**

De acuerdo a orden cronológico se irá guardando la información recolectada para un mejor manejo de la misma. No existirá otro tipo de categorización.

### **1.6 Justificación investigación.**

#### **1.6.1. Justificación social.**

La puesta en marcha de la planta potabilizadora de San Jacinto es una necesidad urgente y justificada socialmente, que contribuirá significativamente al bienestar de la población de Tarija y al desarrollo sostenible de la ciudad.

Misma que tendría un impacto positivo en el desarrollo social de la región. Al mejorar el acceso al agua potable, se reducirían los riesgos de enfermedades relacionadas con el agua, se promovería una mejor calidad de vida y se apoyarían las actividades productivas que dependen de este recurso vital.

#### **1.6.2. Justificación económica.**

La Planta Potabilizadora de San Jacinto es una infraestructura de tratamiento existente que no puede dejarse sin uso ya que se deteriorará con el tiempo y causará daños económicos duraderos.

Este es un proyecto que pretende preservar dicha estructura, y complementarla para poder cumplir con su objetivo principal potabilizar el agua para los distritos beneficiarios de la ciudad de Tarija, cuya jurisdicción pertenece a COSAALT R.L. misma que se encarga de dotar agua de calidad según lo que establecen las normas

vigentes, y realizar estudios de los costos de operación y mantenimiento para la puesta en marcha de una planta de tratamiento de agua Potable de San Jacinto.

#### **1.6.3. Justificación técnica.**

Se hace uso eficiente del recurso hídrico para la dotación de agua potable, reactivando la planta potabilizadora de San Jacinto, cumpliendo con la Norma Boliviana (NB-512) Reglamento Nacional para el control de calidad del agua para consumo humano.

#### **1.6.4. Justificación práctica.**

Se ayudará a resolver el desabastecimiento de agua potable en la ciudad de Tarija, ya que la planta cuenta fue diseñada para un caudal de 160 l/s.

Se contribuirá a la sociedad poniendo en práctica lo aprendido en clases durante toda la carrera, dando como producto un proyecto sólido y necesario a Cooperativa de Servicios de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario de Tarija (COSAALT R.L.)

#### **1.6.5. Justificación personal.**

Con el presente proyecto se quiere aportar al desarrollo óptimo de la sociedad, con la introducción de tecnología para dotar de un servicio de dotación de agua para consumo humano de calidad, según lo que establecen las normas, mismo que estará dirigido a los habitantes de la ciudad de Tarija de la zona comprendida entre la ex Terminal de Buses hasta el Aeropuerto Internacional Oriel Lea Plaza.

## CAPÍTULO II MARCO REFERENCIAL

### 2. Marco Teórico

#### 2.1 Definición de agua potable.

El agua potable es una de los principales recursos que necesitamos los seres humanos para sobrevivir día a día. Las características del agua potable son las que hacen que esta sea la única apta para consumo humano, ya que no supone un riesgo para la salud al estar libre de microorganismo y sustancias tóxicas. Son muchas las personas que no tienen una fuente de agua potable de fácil acceso a la que recurrir diariamente y para conseguirla se ven obligadas a recorrer kilómetros diarios.



*Figura 2. Agua Potable*

Fuente (Fundación Aquae, 2021)

La Organización Mundial de la Salud (OMS) establece que existe un acceso cuando la fuente de agua potable más cercana se encuentra a menos de un kilómetro de distancia. La OMS también establece que es necesario que se pueda conseguir un mínimo veinte litros de agua diarios por cada componente de una unidad familiar para hablar de un acceso de agua potable. (Fundación Aquae, 2021)

#### 2.2 Características del agua potable.

Las principales características del agua son comunes a sus diferentes tipos, pero el agua potable resultar muy particular debido al consumo humano que se hace de ella y sus implicaciones en la salud. Además de tener en cuenta la calidad del agua para

medirla, para considerar que cierta agua es potable se deben evaluar una serie de características concretas.(Araque Arellano, 2022)

Debe ser limpia y segura. Para su consumo y su uso en la producción de otros alimentos no puede presentar ningún riesgo de contraer cualquier enfermedad.

Debe ser incolora. El agua potable ha de ser transparente, aunque a veces, por el cloro, pueda parecer blanquecina.

Debe ser inodora. No puede incluir nada en su composición que pueda generar olor en ella.

Debe ser insípida. No puede tener sabor. Si lo tiene, existe algún elemento en la composición que lo está generando.(Fundación Aquae, 2021)



*Figura 3.* Características del agua

Fuente:(Echeverria, 2020)

Carecer de elementos en suspensión. El agua potable no puede presentar turbiedad alguna, salvo aquella que provoque la presión de las tuberías. En este caso, deberá desaparecer en un breve lapso de tiempo.

Libre de contaminantes orgánicos, inorgánicos o radiactivos.

Mantener una proporción determinada de gases y sales inorgánicas disueltas.

No debe contener microorganismos patógenos que puedan poner en peligro la salud. Para ello se deben realizar análisis exhaustivos sobre la concentración de bacterias coliformes y otras de origen fecal. (Fundación Aquae, 2021)



## **2.3 Contaminación del agua**

### **2.3.1 Causas de la contaminación del agua**

Las causas más frecuentes de la contaminación del agua. En primer lugar, el ser humano, bien a través del vertido de desechos industriales.

El aumento cada vez mayor de las temperaturas, que generan una alteración en el agua debido a que disminuye el oxígeno que existe en su composición; o bien, que se genere la aparición de sedimentos y acumulación de bacterias en el suelo, debido a una a causa de la deforestación, lo cual causaría una contaminación en las aguas subterráneas (Acosta, 2008, p. 45)

Junto con estos factores, debemos de incluir uno de los más importantes y que además originan una toxicidad bastante elevada: el uso de pesticidas en el campo de cultivo agrícola y que se filtra por las vertientes subterráneas. Una vez allí llegan a las redes de distribución de las ciudades y pueblos para ser posteriormente consumida.

Otro factor que origina una contaminación de las aguas es el vertido accidental de petróleo en alta mar, lo cual afecta de forma muy negativa a la fauna y flora marina, provocando la muerte de peces, y por tanto una alteración del ecosistema. Así pues, diremos que los principales efectos que genera la contaminación del agua consisten fundamentalmente en la desaparición de los ecosistemas acuáticos la biodiversidad. Profundizando en los tipos de contaminación, podemos decir que las fuentes existentes son muy variadas, siendo las más conocidas: Derrame de petróleo: El petróleo, además de causar la muerte de la fauna marina, es capaz de adherirse a las plumas que poseen las aves marinas favoreciendo que puedan perder su capacidad de poder volar (Restrepo, 2007, p. 68).

### **2.3.2 Tipos de contaminación del agua.**

Clasificamos el tipo de contaminación del agua de dos maneras.

Por su tipo de fuente, por los tipos de contaminantes que las generan.

### 2.3.2.1 Contaminación según su fuente.

#### a) Contaminación en las aguas superficiales:

Debido a que las aguas superficiales, poseen en su composición agua natural procedente de la superficie terrestre, (ríos, lagos, embalses...), cuando caen contaminantes de cualquier tipo, éstos entran en contacto las sustancias, mezclándose o disolviéndose con ellas, originando lo que se denomina una contaminación del agua de superficie (Cruz-Guzmán Alcalá, 2007, p. 175). Absorbentes de oxígeno.

En el agua, existen microorganismos que pueden ser de dos tipos: aerobios y/o anaerobios. Cuando gran parte de la biodegradable (cosas que fácilmente se descomponen) acaba en el agua, se produce una sobreestimulación en el crecimiento de este tipo de microorganismos, consumiendo de esta forma más oxígeno. Si se produjera el agotamiento del oxígeno existente, se produciría la muerte de los organismos aeróbicos y a su vez, una reproducción exacerbada de los microorganismos anaerobios, los cuales, son capaces de generar toxinas de naturaleza nociva, como pueden ser los sulfuros y el amoníaco. (Pérez Fuentes et al., 2018, p. 41)



*Figura 4.* Contaminación del agua por desechos industriales.

Fuente:("Contaminacion agua", 2011)

## b) Contaminación en las aguas subterránea

La aplicación de productos químicos, tales como plaguicidas, fungicidas, etc., en el campo para prevenir las plagas en frutas y hortalizas, hace que cuando llueve, éstos sean arrastrados por el agua, para posteriormente ser absorbidos por escorrentía hasta las zonas más internas de la tierra, llegando a las aguas subterráneas o a los acuíferos que las contiene, provocando la contaminación de las mismas (Morell y Evangelista, 1998).

Cuando se produce la extracción de agua desde pozos, ésta tiene que ser controlada correctamente, ya que un uso de este tipo de aguas podría generar consecuencias muy graves en el ser humano y en los animales que la consuman. Para llevar a cabo un correcto control, el plan de control de la calidad del agua potable recoge todas las actividades que se desarrollan en el abastecimiento, y relacionadas con la gestión del agua de sus instalaciones para garantizar su idoneidad, según la normativa establecida en el Real Decreto 140/2003, por el que se establecen los criterios sanitarios de calidad del agua de consumo humano (Jiménez, 2017).



*Figura 5.* Contaminación del agua debido a la descomposición de los residuos sólidos

Fuente: (Navarro, 2021)

Las medidas de control de la calidad para aguas de consumo humano irán encaminadas al grado de cumplimiento de los criterios sanitarios, así como de las instalaciones que lo componen al objeto de velar por la salud de los consumidores. La caracterización legal sobre la potabilidad de un agua se sustenta en la

determinación de determinadas sustancias, asociándolas a unos contenidos aceptables.

### **2.3.2.2 Contaminación según los tipos de contaminantes que las generan.**

#### **a) Contaminación microbiológica**

En muchos países, la población ingiere agua que no ha estado sometida a ningún tratamiento, procedente de ríos o embalses, generándose en muchas ocasiones, una contaminación natural por estos microorganismos, como pueden ser protozoos, bacterias y virus, que en ocasiones puede causar la muerte de peces y otras especies, así como causar enfermedades graves para las personas que la han ingerido. El 90% de las enfermedades transmitidas por el agua y las intoxicaciones, se debe fundamentalmente a una contaminación microbiológica del agua. (Pérez Fuentes et al., 2018, p. 42)

Desde un punto de vista sanitario, las características del agua y en relación al consumo y/o uso humano se encuentran estrechamente relacionadas, en primer lugar, con los microorganismos acuáticos existentes en la misma y que influyen principalmente sobre la calidad y por otro, sobre el contenido microbiológico. Estos factores hacen que posteriormente se desarrollen sabores y olores desagradables. Además, generan procesos de corrosión en las tuberías que distribuyen el agua de bebida, así como en los depósitos de almacenamiento.

A su vez, estas corrosiones, afectan de forma negativamente en la contaminación del agua, generando olores y sabores desagradables. Se tiene que tener en cuenta, que la contaminación asociada al agua potable, de tipo directo o de tipo indirecto, por excrementos de origen animal y/o humano, son las formas más frecuentes de transmisión del riesgo para la salud. (Pérez Fuentes et al., 2018, p. 42)

#### **b) Materia suspendida**

Existen contaminantes como las sustancias químicas o partículas, que no son capaces de disolverse fácilmente en el agua, asentándose. Este tipo de partículas, pueden ser nocivas en incluso llegar a los organismos acuáticos que habitan en el suelo. (Pérez

Fuentes et al., 2018, p. 43) Llegando a ser dañinos para la salud si se consumen en cantidades importantes.



*Figura 6.* Sólidos suspendidos en el agua

Fuente: ¿Qué son los sólidos suspendidos y cómo se miden?

### **c) Contaminación de tipo químico**

Como hemos comentado más arriba, muchas industrias y agricultores, trabajan con productos de naturaleza química, cuyos restos, acaban formando parte del agua, bien sea por filtración a través de la tierra o bien sea por escorrentía de las aguas que proceden de las lluvias. Estos productos, están formados por sustancias químicas cuyo uso está destinado al control de las malas hierbas, de los insectos y las plagas que son capaces de destruir cosechas, pero a su vez, son nocivos o tóxicos para muchas formas de vida acuática, pudiendo hacer que se retrase su desarrollo, convirtiéndolos en estériles e incluso matándolos. (Pérez Fuentes et al., 2018, p. 43)

**Biodegradables:** Como nitratos y fosfatos provenientes de los fertilizantes o de la descomposición de materia orgánica, ya que la naturaleza es capaz de degradarlos por si sola.

**No Biodegradables:** Son compuestos obtenidos por la síntesis química tales como plásticos, pesticidas, metales pesados, ya que no se encuentran organismos capaces de degradar este tipo de compuestos. (Ramírez Ramírez, 2014, p. 20)

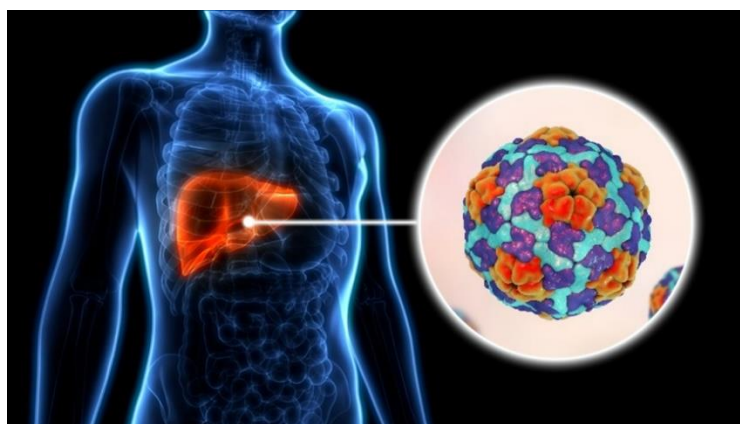
#### **d) Contaminación generada por nutrientes**

Con frecuencia, las aguas residuales, las aguas que se utilizan como fertilizantes y las aguas procedentes del alcantarillado, contienen elevados niveles de nutrientes, los cuales, al mezclarse con el agua de ríos, embalses, son capaces de estimular el crecimiento de las algas y demás flora existente en el agua, haciendo que el agua no sea potable y llegando a obstruir los filtros y conducciones a través de las cuales posteriormente se canalizaran. Un crecimiento excesivo de algas empleará todo el oxígeno existente en el agua, lo cual provocará la muerte de muchos organismos acuático (Samper, 1999).

### **2.4 Consecuencias del consumo humano del agua contaminada**

#### **2.4.1 Hepatitis A**

La hepatitis A es una enfermedad generada en el hígado y bastante contagiosa, la cual presenta una evolución muy desfavorable siempre y cuando, esa no sea tratada, a pesar de que es una enfermedad que no es muy peligrosa.



*Figura 7. Hepatitis A afecta al hígado*

Fuente: (CDC, 2024)

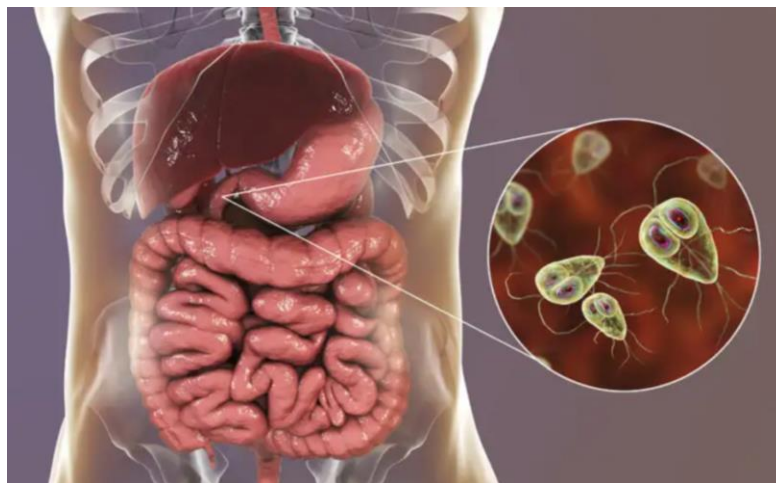
La hepatitis A, es una enfermedad que se transmite a través de la ingestión de n aguas contaminadas con heces.

Los Principales Síntomas, consienten en: heces de color claro, orina de color oscuro, ictericia (color amarillento en la piel y en la parte blanca de los ojos), escalofríos, fiebre, fatiga, náuseas, debilidad y cansancio, así como pérdida de apetito.

No existe un tratamiento específico ya que, al penetrar el virus en nuestro organismo, éste, lo ataca como mecanismo de defensa porque el cuerpo combate el virus por sí solo. El tratamiento más frecuente es el uso de medicamentos que combaten la fiebre y el dolor generados, seguido de reposo e hidratación frecuente. (Pérez Fuentes et al., 2018, p. 44)

#### **2.4.2 Giardiasis**

La giardiasis es una infección del aparato digestivo producida por un parásito denominado *Giardia intestinalis*. La transmisión se realiza a mediante el consumo bien de agua contaminada por heces que contienen quistes del parásito, o a través de alimentos también contaminados o por último mediante una transmisión de persona a otra. (Pérez Fuentes et al., 2018, p. 44)



*Figura 8.* Giardiasis: síntomas y tratamiento

Fuente: (Amador, 2020)

La sintomatología, consiste en fiebre, diarrea, dolor abdominal, náuseas, debilidad o pérdida de peso, presentando un tratamiento mediante medicamentos, así como hidratación, y en caso de deshidratación grave por causa de la diarrea, puede ser necesaria la hidratación a través de vía intravenosa. (Amador, 2020)

#### **2.4.3 Amebiasis o Disentería Amebiana**

La amebiasis o disentería amebiana es una infección generada por *Entamoeba histolytica*, la cual, se aloja en el intestino impidiendo así la absorción de la mayoría



de los nutrientes que son importantes para el organismo. La transmisión, se realiza mediante el consumo de alimentos contaminados o de agua contaminada por heces que poseen quistes maduros amebianos, lo cual hace que las heces pueden contener sangre, moco o pus. La sintomatología que produce es: diarrea, fiebre, dolor abdominal, y escalofríos. Además, si no hay un tratamiento pronto, la enfermedad puede desarrollar la forma invasiva, afectando a otros órganos como el tracto respiratorio, el hígado o el cerebro. El tratamiento empleado, va enfocado al uso de medicamentos, así como rehidratación. (Perez Fuentes et al., 2018, p. 45)

#### 2.4.4 Fiebre Tifoidea

La fiebre tifoidea es una enfermedad de tipo infeccioso, generada por una bacteria denominada *Salmonella typhi*, y su transmisión se debe al consumo de agua o de alimentos contaminados con el parásito. La sintomatología consiste en vómito, dolor abdominal, fiebres altas, estreñimiento, diarrea, dolor de cabeza, pérdida de apetito, pérdida de peso o manchas rojas en la piel.

El tratamiento: se hace recurriendo al uso de antibióticos, siendo muy importante el descanso y la hidratación durante la fase de recuperación. Esta es una enfermedad que puede prevenirse con la vacuna contra la fiebre tifoidea.



*Figura 9.* El agua contaminada es una de las principales fuentes de adquisición de esta patología.

Fuente:(*Fiebre tifoidea*, 2009)



#### **2.4.5 Cólera**

El cólera es una infección generada dentro del intestino, por una bacteria que puede presentarse en el agua contaminada o en alimentos, que produce unas toxinas que desencadenan los síntomas de la enfermedad.

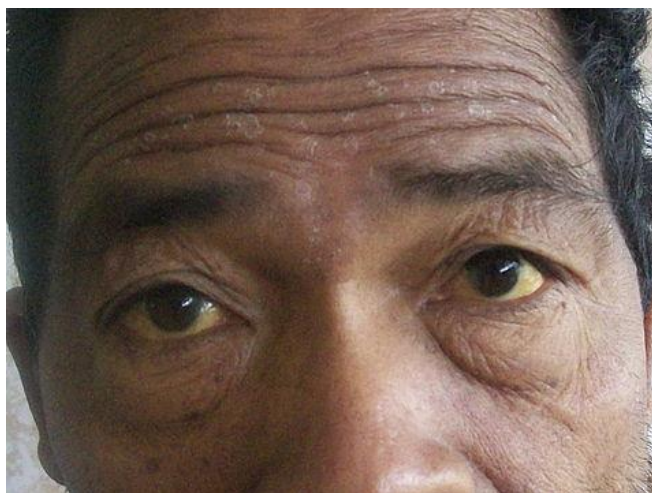
La Sintomatología consiste en diarrea intensa y vómitos, lo cual generaría una deshidratación severa. El tratamiento consiste en el uso de antibióticos y rehidratación intensa bien por vía oral o por vía intravenosa. (Perez Fuentes et al., 2018, p. 45)

#### **2.4.6 Ascaridiasis**

Es una enfermedad generada por un parásito llamado Ascaris Lumbricoide, el cual habita, se desarrolla y se multiplica en el intestino. La enfermedad, se transmite mediante la ingestión de agua o alimentos contaminados a través de los huevos del parásito y la sintomatología consiste en dolor abdominal, mareos y estreñimiento. El tratamiento consiste en el suministro de medicamentos. (Pérez Fuentes et al., 2018, p. 46)

#### **2.4.7 Leptospirosis**

La leptospirosis es una enfermedad generada por bacterias presentes en la orina de las ratas o en otros animales infectados, como perros y gatos. La entrada en el organismo de esta bacteria se produce a través de heridas existentes en la piel o mediante el contacto de aguas contaminadas con las mucosas del cuerpo como nariz, ojos, saliva. (Pérez Fuentes et al., 2018, p. 46)



*Figura 10. Ictericia en la esclerótica en un paciente masculino de 60 años de edad con orina positiva para Leptospira.*

Fuente:(«Leptospirosis», 2024)

Los síntomas de la leptospirosis son fiebre, dolor de cabeza, escalofríos, vómitos, ictericia, anemia y a veces erupción. En general, las personas con leptospirosis resultan bastante enfermas y con frecuencia requieren hospitalización. (*Leptospirosis (enfermedad de Weil)*, s. f.)

El tratamiento consiste en el uso de medicamentos y de Paracetamol para el dolor y la fiebre.

## **2.5.4 Procesos, operaciones unitarias y tecnologías para tratar contaminantes en el agua.**

### **2.5.4.1 Procesos de tratamiento de agua potable**

El agua que entra en las plantas se somete a procesos de tipo físico, químico y biológico con la finalidad de eliminar los contaminantes presentes en el agua.

#### **a) Procesos Físicos**

Filtración: El agua pasa a través de materiales porosos (como arena o carbón activado) para eliminar partículas suspendidas.

Sedimentación: Las partículas más grandes se asientan en el fondo de un tanque de sedimentación debido a la gravedad.

Flotación: Se inyecta aire en el agua para que las partículas suspendidas floten y puedan ser removidas de la superficie.

#### **b) Procesos Químicos**

Coagulación y Floculación: Se añaden productos químicos (como sulfato de aluminio) para agrupar partículas pequeñas en flóculos más grandes que pueden ser eliminados más fácilmente.

Desinfección: Se utilizan desinfectantes (como cloro o ozono) para eliminar microorganismos patógenos.

Ajuste de pH: Se añaden ácidos o bases para ajustar el pH del agua y evitar la corrosión de las tuberías.

### **c) Procesos Biológicos**

Biofiltración: Utiliza microorganismos adheridos a un medio filtrante para descomponer materia orgánica disuelta en el agua.

Lodos activados: Un proceso en el que microorganismos en suspensión descomponen la materia orgánica en el agua.

Filtros de arena lenta: Utilizan una capa biológica en la superficie del filtro de arena para eliminar patógenos y materia orgánica.

#### **2.5.4.2 Operaciones unitarias de tratamiento de agua potable**

Las operaciones unitarias a considerarse en el proceso, incluyen: tamizado, filtración, sedimentación, homogeneización, neutralización, tratamiento físico-químico, bioreacción y aireación. (Ramírez & Abelardo, 2011)

#### **2.5.4.3 Tecnologías de tratamiento de agua potable**

La tecnología en el tratamiento de agua potable se refiere a los equipos y sistemas utilizados para purificar el agua.

Esto incluye filtros, sistemas de desinfección (como la cloración y la ozonización), membranas de ósmosis inversa, y otros dispositivos que eliminan contaminantes y microorganismos del agua.

### **2.6 Parámetros de control de calidad del agua potable.**

Los parámetros de Control de la calidad del agua para consumo humano que deben realizar las EPSA, se presentan en las siguientes tablas.

#### **2.6.1 Parámetros de control mínimo**

**Tabla 2. Parámetros de Control Mínimo**

Nº	Parámetro	Valor admisible
1	pH.	6,5 - 9

2	Conductividad	1500 $\mu$ S/cm
3	Turbiedad	5 UNT
4	Cloro libre residual	0,2mg/l - 1,5mg/l
5	Coliformes termotolerantes	<2NMP/100ml
6	Escherichia coli	<2NMP/100ml

Fuente: (Ministerio de Servicio y obras públicas., 2005)

1. **pH:** Es una medida de la acidez o alcalinidad de una solución. Se expresa en una escala de 0 a 14, donde 7 es neutral, valores menores a 7 indican acidez y valores mayores a 7 indican alcalinidad.
2. **Conductividad:** Es la capacidad de una solución para conducir electricidad. Se mide en siemens por metro (S/m) y depende de la concentración de iones presentes en la solución.
3. **Turbiedad:** Es una medida de la claridad del agua. Se refiere a la presencia de partículas suspendidas que dispersan la luz, haciendo que el agua se vea turbia. Se mide en unidades nefelométricas de turbidez (NTU).
4. **Cloro libre residual:** Es la cantidad de cloro disponible en el agua después de la desinfección para eliminar microorganismos patógenos. Se mide en miligramos por litro (mg/L).
5. **Coliformes termotolerantes:** Son un grupo de bacterias que incluyen a Escherichia coli y que pueden crecer a temperaturas elevadas. Su presencia en el agua indica contaminación fecal y posibles riesgos para la salud.
6. **Escherichia coli:** Es una bacteria que se encuentra en el intestino de los seres humanos y animales. La presencia de E. coli en el agua es un indicador de contaminación fecal y puede causar enfermedades gastrointestinales.

## 2.6.2 Parámetros de control básico

**Tabla 3. Parámetros de Control Básico.**

Nº	Parámetro	Valor admisible
<b>Físicos</b>		
1	Color	15UCV
2	Sabor y olor	Aceptables
<b>Químicos</b>		
3	Sólidos disueltos totales	1000mg/l
<b>Químicos inorgánicos</b>		
4	Alcalinidad total	370mg/l CaCO <sub>3</sub>
5	Calcio Ca	200 mg/L
6	Cloruros Cl	250 mg/L
7	Dureza total	500 mg/L CaCO <sub>3</sub>
8	Hierro total Fe	0,3 mg/L
9	Magnesio Mg	150 mg/L
10	Manganeso Mn	0,1 mg/L
11	Nitritos	0,1 mg/L
12	Nitratos	45 mg/L
13	Sulfatos	400 mg/L
<b>Microbiológicas</b>		
14	Heterotróficas	5x10 <sup>2</sup> UFC/ml

Fuente:(Ministerio de Servicio y obras públicas., 2005)

1. **Color:** Se refiere a la apariencia visual del agua, que puede ser afectada por la presencia de sustancias disueltas o suspendidas. El color puede indicar la presencia de materia orgánica, metales o contaminantes.
2. **Sabor y olor:** Son características sensoriales del agua que pueden ser influenciadas por la presencia de compuestos químicos, minerales o contaminantes. Un sabor u olor inusual puede indicar problemas de calidad del agua.

3. **Sólidos disueltos totales (TDS):** Es la cantidad total de sustancias disueltas en el agua, incluyendo minerales, sales y metales. Se mide en miligramos por litro (mg/L) y puede afectar el sabor y la calidad del agua.
4. **Alcalinidad total:** Es la capacidad del agua para neutralizar ácidos, lo que ayuda a mantener un pH estable. Se mide en miligramos por litro (mg/L) de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ).
5. **Calcio (Ca):** Es un mineral presente en el agua que contribuye a la dureza del agua. Es esencial para la salud ósea, pero en exceso puede causar incrustaciones en tuberías y electrodomésticos.
6. **Cloruros (Cl):** Son compuestos de cloro presentes en el agua, que pueden provenir de fuentes naturales o de la contaminación. Altos niveles de cloruros pueden afectar el sabor del agua y corroer las tuberías.
7. **Dureza total:** Es la concentración de minerales, principalmente calcio y magnesio, en el agua. Se mide en miligramos por litro (mg/L) de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) y puede causar incrustaciones en tuberías y electrodomésticos.
8. **Hierro total (Fe):** Es la cantidad de hierro presente en el agua. Aunque es un mineral esencial, en altas concentraciones puede causar manchas en la ropa y en las superficies, y afectar el sabor del agua.
9. **Magnesio (Mg):** Es un mineral que contribuye a la dureza del agua. Es esencial para la salud, pero en exceso puede causar problemas similares a los del calcio, como incrustaciones.
10. **Manganeso (Mn):** Es un mineral que puede estar presente en el agua. En altas concentraciones, puede causar manchas en la ropa y en las superficies, y afectar el sabor del agua.
11. **Nitritos:** Son compuestos de nitrógeno que pueden estar presentes en el agua debido a la contaminación agrícola o industrial. Altos niveles de nitritos pueden ser tóxicos y representar un riesgo para la salud.

12. **Nitratos:** Son compuestos de nitrógeno que pueden estar presentes en el agua debido a la contaminación agrícola o industrial. Altos niveles de nitratos pueden ser peligrosos, especialmente para los bebés, causando una condición conocida como “síndrome del bebé azul”.
13. **Sulfatos:** Son compuestos de azufre presentes en el agua. En altas concentraciones, pueden afectar el sabor del agua y tener efectos laxantes.
14. **Heterotróficas:** Se refiere a las bacterias heterotróficas, que son microorganismos que obtienen su energía y carbono de materia orgánica. Su presencia en el agua puede indicar contaminación y la necesidad de tratamiento adicional.

### 2.6.3 Parámetros de control complementario

**Tabla 4. Parámetros de Control Complementario.**

Nº	Parámetro	Valor admisible
<b>Químicos inorgánicos</b>		
1	Aluminio Al	0,1 mg/L
2	Amonio NH <sub>4</sub>	0,5 mg/L
3	Arsénico As	0,01 mg/L
4	Boro B	0,3 mg/L
5	Cadmio Cd	0,003 mg/L
6	Cobre Cu	1,0 mg/L
7	Fluoruro F	1,5 mg/L
8	Índice de Langelier	°-0,5 a 0,5
9	Plomo Pb	0,01 mg/L
10	Sodio Na	200 mg/L
11	Zinc Zn	5 mg/L

Fuente:(Ministerio de Servicio y obras públicas., 2005)

1. **Aluminio (Al):** Es un metal que puede estar presente en el agua debido a la erosión de minerales naturales o a la contaminación industrial. En altas concentraciones, puede ser tóxico y afectar la salud.

2. **Amonio ( $\text{NH}_4$ ):** Es un compuesto de nitrógeno que puede estar presente en el agua debido a la descomposición de materia orgánica o a la contaminación agrícola. Altos niveles de amonio pueden indicar contaminación y afectar la calidad del agua.
3. **Arsénico (As):** Es un metaloide que puede estar presente en el agua debido a fuentes naturales o a la contaminación industrial. El arsénico es tóxico y puede causar serios problemas de salud, incluyendo cáncer.
4. **Boro (B):** Es un elemento que puede estar presente en el agua debido a fuentes naturales o a la contaminación agrícola. En bajas concentraciones, es esencial para las plantas, pero en altas concentraciones puede ser tóxico.
5. **Cadmio (Cd):** Es un metal pesado que puede estar presente en el agua debido a la contaminación industrial. El cadmio es tóxico y puede causar daño a los riñones y otros problemas de salud.
6. **Cobre (Cu):** Es un metal que puede estar presente en el agua debido a la corrosión de tuberías de cobre o a la contaminación industrial. En bajas concentraciones, es esencial para la salud, pero en altas concentraciones puede ser tóxico.
7. **Fluoruro (F):** Es un compuesto que puede estar presente en el agua de forma natural o añadirse para prevenir caries dentales. En concentraciones adecuadas, es beneficioso, pero en exceso puede causar fluorosis dental y otros problemas de salud.
8. **Índice de Langelier:** Es un índice utilizado para predecir la tendencia del agua a precipitar o disolver carbonato de calcio. Un índice positivo indica que el agua tiende a formar incrustaciones, mientras que un índice negativo indica que el agua tiende a ser corrosiva.
9. **Plomo (Pb):** Es un metal pesado que puede estar presente en el agua debido a la corrosión de tuberías de plomo o a la contaminación industrial. El plomo es altamente tóxico y puede causar serios problemas de salud, especialmente en niños.
10. **Sodio (Na):** Es un mineral que puede estar presente en el agua debido a fuentes naturales o a la contaminación. En bajas concentraciones, es esencial para la salud,



pero en altas concentraciones puede afectar el sabor del agua y la salud cardiovascular.

11. **Zinc (Zn):** Es un metal que puede estar presente en el agua debido a la corrosión de tuberías de zinc o a la contaminación industrial. En bajas concentraciones, es esencial para la salud, pero en altas concentraciones puede afectar el sabor del agua y causar problemas de salud.

#### 2.6.4 Parámetros de control especial

**Tabla 5. Parámetros de Control Especial.**

N°	Parámetro	Valor admisible
<b>Químicos inorgánicos</b>		
1	Antimonio Sb	0,02 mg/L
2	Bario Ba	0,7 mg/L
3	Cianuro libre CN	0,07 mg/L
4	Cromo Total Cr	0,05 mg/L
5	Mercurio Hg	0,001mg/L
6	Niquel Ni	0,05 mg/L
7	Selenio Se	0,01mg/L
<b>Plaguicidas organoclorados</b>		
8	Aldrín	0,03µg/L
9	DDT	1µg/L
10	Dieldrín	0,03µg/L
11	Endosulfan	20µg/L
12	Endrín	0,6µg/L
13	Heptacloro	0,03µg/L
14	Heptacloroepóxido	0,03µg/L
15	Lindano	2µg/L
16	Metoxicloro	20µg/L
17	Clordano	0,2µg/L

18	Plaguicidas totales	0,5µg/L
19	Otros plaguicidas individuales	<0,1µg/L

Fuente:(Ministerio de Servicio y obras públicas., 2005)

1. **Antimonio (Sb):** Es un metaloide que puede estar presente en el agua debido a la contaminación industrial. En altas concentraciones, puede ser tóxico y causar problemas de salud.
2. **Bario (Ba):** Es un metal alcalinotérreo que puede estar presente en el agua debido a fuentes naturales o a la contaminación industrial. En altas concentraciones, puede ser tóxico y afectar el sistema cardiovascular.
3. **Cianuro libre (CN):** Es un compuesto químico altamente tóxico que puede estar presente en el agua debido a la contaminación industrial. La exposición al cianuro puede ser letal.
4. **Cromo Total (Cr):** Incluye todas las formas de cromo presentes en el agua, tanto el cromo trivalente (Cr(III)) como el cromo hexavalente (Cr(VI)). El cromo hexavalente es altamente tóxico y carcinogénico.
5. **Mercurio (Hg):** Es un metal pesado que puede estar presente en el agua debido a la contaminación industrial. El mercurio es altamente tóxico y puede causar daños neurológicos y renales.
6. **Níquel (Ni):** Es un metal que puede estar presente en el agua debido a la contaminación industrial. En altas concentraciones, puede ser tóxico y causar problemas de salud.
7. **Selenio (Se):** Es un elemento que puede estar presente en el agua debido a fuentes naturales o a la contaminación industrial. En bajas concentraciones, es esencial para la salud, pero en altas concentraciones puede ser tóxico.

**Plaguicidas organoclorados:** Son una clase de plaguicidas que contienen cloro y son conocidos por su persistencia en el medio ambiente y su potencial para bioacumularse. Incluyen varios compuestos específicos:

8. **Aldrín:** Un plaguicida organoclorado que es altamente tóxico y persistente en el medio ambiente.
9. **DDT:** Un plaguicida organoclorado ampliamente utilizado en el pasado, conocido por su persistencia y toxicidad.
10. **Dieldrín:** Un plaguicida organoclorado relacionado con el aldrín, también altamente tóxico y persistente.
11. **Endosulfán:** Un plaguicida organoclorado utilizado en la agricultura, conocido por su toxicidad y persistencia.
12. **Endrín:** Un plaguicida organoclorado relacionado con el aldrín y el dieldrín, altamente tóxico.
13. **Heptacloro:** Un plaguicida organoclorado utilizado para controlar insectos, conocido por su persistencia y toxicidad.
14. **Heptacloroepóxido:** Un metabolito del heptacloro, también tóxico y persistente.
15. **Lindano:** Un plaguicida organoclorado utilizado para controlar insectos, conocido por su toxicidad y persistencia.
16. **Metoxicloro:** Un plaguicida organoclorado utilizado como alternativa al DDT, menos persistente pero aún tóxico.
17. **Clordano:** Un plaguicida organoclorado utilizado para controlar termitas, conocido por su persistencia y toxicidad.
18. **Plaguicidas totales:** Se refiere a la suma de todos los plaguicidas presentes en una muestra de agua, independientemente de su clase química.
19. **Otros plaguicidas individuales:** Se refiere a plaguicidas específicos que no pertenecen a la clase de los organoclorados, pero que pueden estar presentes en el agua y tener efectos tóxicos.

## **2.7 Planta de tratamiento de agua potable.**

### **2.7.1 Definición**

Conjunto de obras civiles, instalaciones y equipos convenientemente dispuestos para llevar a cabo procesos y operaciones unitarias que permitan obtener agua de calidad apta para consumo y uso humano. Se denomina también planta potabilizadora de agua. (Ministerio de Servicio y obras públicas., 2005, p. 8)

### **2.7.2 Tipos de plantas de tratamiento de agua potable.**

La clasificación está basada en el tipo de procesos que comprende y por la clase de tecnología empleada en su concepción.

#### **2.7.2.1 Por el tipo de procesos que comprende.**

Se clasifican en plantas de filtración rápida y plantas de filtración lenta.

##### **a) Plantas de Filtración Rápida**

Comprenden los procesos de: coagulación, sedimentación y filtración rápida descendente y desinfección. Una alternativa de la filtración rápida es la Filtración Directa, constituida solamente por los procesos de coagulación y filtración. Podrá ser Filtración Directa Descendente (F.D.D.), Filtración Directa Ascendente (F.D.A.) ó una combinación de ambas, denominada doble filtración; Filtración Directa Ascendente – Descendente (F.D.A.D.). En cada caso se requiere un estudio de la calidad de la fuente de agua para determinar su aplicabilidad. (Ministerio de Servicio y obras públicas., 2004, p. 116)

##### **b) Plantas de Filtración Lenta**

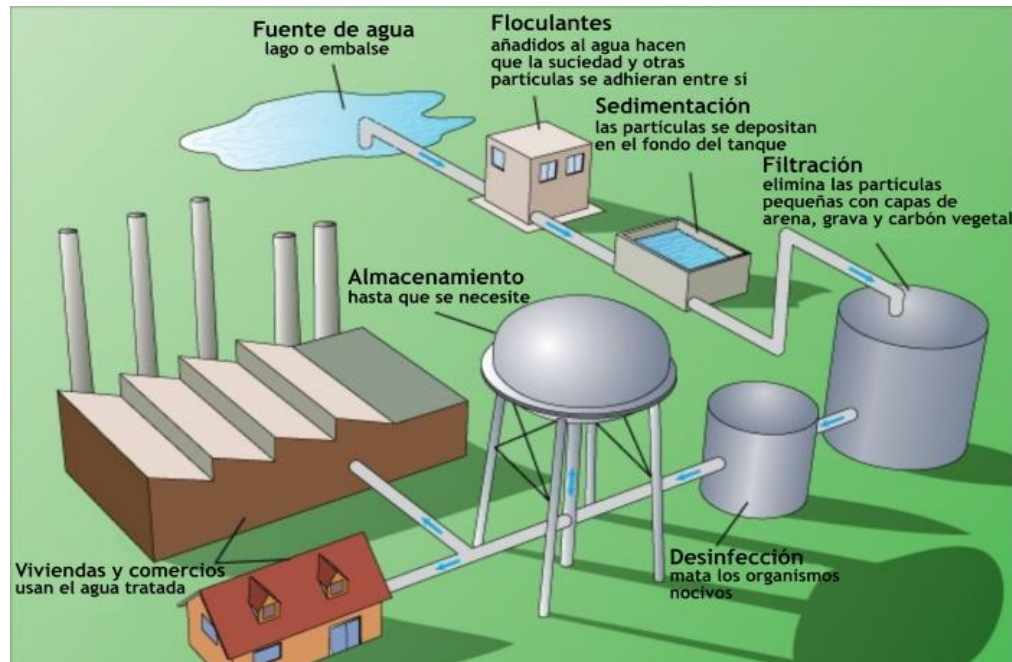
Comprenden procesos cuyos mecanismos de remoción son solamente físicos y biológicos. Los procesos que se llevan a cabo son: desarenado, presedimentación, sedimentación, prefiltración en grava, filtración lenta y desinfección de seguridad. (Ministerio de Servicio y obras públicas., 2004, p. 116)

#### **2.7.2.2 Por la tecnología empleada.**

Se clasifican en sistemas convencionales, de tecnología apropiada y patentados

### a) Sistema convencional

Comprende las plantas de tratamiento donde se llevan a cabo los procesos de: mezcla rápida, floculación, sedimentación, filtración y desinfección. Utilizan el potencial hidráulico para su funcionamiento y su mecanización es mínima.



*Figura 11.* Esquema de una planta de tratamiento de agua potable convencional.

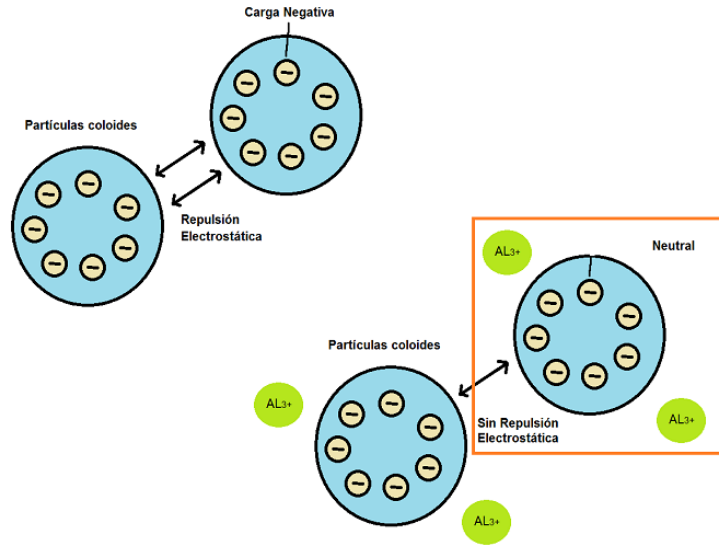
Fuente: (Coello Montoya et al., 2012)

### Componentes de una Planta de tratamiento de agua Potable Convencional

#### a.1) Coagulación.

El objetivo de esta unidad es la remoción de partículas en suspensión de tamaño coloidal que todavía se encuentran en la masa de agua en proceso de tratamiento, estas partículas se pueden encontrar en:

Suspensión, disueltas, concentradas, suspensiones finas y coloides. (Araque Arellano, 2022, p. 24)



*Figura 12. Acción del coagulante*

Fuente: (*Coagulantes para tratamiento de agua – Tratamiento del Agua*, 2016)

Este proceso se usa para:

- Remoción de turbiedad orgánica o inorgánica que no se puede sedimentar rápidamente.
- Remoción de color verdadero y aparente.
- Eliminación de bacteria, virus y organismos patógenos susceptibles de ser separados por coagulación.
- Destrucción de algas y plancton en general.
- Eliminación de sustancias productoras de sabor y olor, en algunos casos de precipitados químicos suspendidos en otros. (Restrepo Osorno, 2009)
- Los coagulantes que se utilizan en la práctica para agua potable son los siguientes:
- Sales de Aluminio: Forman un flóculo ligeramente pesado. Las más conocidas son:
- El Sulfato de Aluminio,  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \times 14\text{H}_2\text{O}$ , que en la práctica se le denomina como Alumbre; el Sulfato de Aluminio Amoniacal y el Aluminato Sódico. El primero es el que se usa con mayor frecuencia dado su bajo costo y manejo relativamente sencillo.
- Sales de Hierro: Se utiliza el Cloruro Férrico,  $\text{FeCl}_3$ , y los Sulfatos de Hierro Férrico y Ferroso,  $\text{Fe}(\text{SO}_4)_3$  y  $\text{FeSO}_4$ . Forman un floc más pesado y de mayor velocidad de asentamiento que las sales de aluminio.

- Polímeros o polielectrolitos: Son compuestos complejos de alto peso molecular que se utilizan no propiamente como coagulantes sino como ayudantes de coagulación. (Restrepo Osorno, 2009, p. 9)

#### **Dosificación de coagulantes.**

La dosificación de estas sustancias se lleva a cabo en concentraciones muy bajas, lo cual es una gran ventaja y compensa el costo del polímero. Están siendo ampliamente empleados en el tratamiento de aguas potables ya que se produce una menor cantidad de lodos, adicionalmente el lodo producido es más fácilmente tratable.

La coagulación química y la dosificación apropiada de reactivos deben ser seleccionadas por la simulación del paso de clarificación en un laboratorio a escala. La Prueba de Jarras es la que mejor simula la química de la clarificación y la operación llevada a cabo. Un arreglo simple de vasos de precipitado y paletas permite comparar varias combinaciones químicas, las cuales todas están sujetas a condiciones hidráulicas similares. (Restrepo Osorno, 2009, p. 10)



*Figura 13. La coagulación en el tratamiento de aguas.*

Fuente: (*La coagulación en el tratamiento de aguas* | Cropaia, 2018)

Esta prueba se realiza con el fin de determinar la concentración óptima de coagulante necesaria para obtener un floc de las mejores características

#### **a.2) Mezcla rápida.**

Se denomina mezcla rápida a las condiciones de intensidad de agitación y tiempo de retención que debe reunir la masa de agua en el momento en que se dosifica el coagulante, con la finalidad de que las reacciones de coagulación se den en las

condiciones óptimas correspondientes al mecanismo de coagulación predominante. La dosificación se realiza en la unidad de mezcla rápida; por lo tanto, estas condiciones son las que idealmente debe reunir esta unidad para optimizar el proceso.(Canepa de Vargas, 1999, p. 227)

### **Tipo de dispositivo de mezcla rápida**

Es altamente deseable que ocurran condiciones de flujo de pistón, ya que la existencia de corrientes de cortocircuito o la detención de masas de agua por un tiempo mayor que el necesario traerá el inconveniente de que la masa de agua en algunas partes recibirá mayor cantidad de coagulante, lo que podrá causar la reestabilización de los coloides, mientras que otras partes recibirán cantidades demasiado bajas para iniciar la coagulación.(Canepa de Vargas, 1999, p. 243)

Las unidades normalmente utilizadas para producir la mezcla rápida se pueden clasificar en dos grandes grupos, dependiendo del tipo de energía utilizada para producir la agitación: mecánica e hidráulica (Tabla 6).

**Tabla 6. Clasificación de las unidades de mezcla rápida**

<b>Mecánicas</b>	Retromezclador en línea		
<b>Hidráulicas</b>	Resalto hidráulico	Canaleta Parshall	
		Canal de fondo inclinado	
		Vertedero rectangular	
	En línea	Difusores	En tuberías
			Encanales
		Inyectores	
		Estáticos	
	Caídas	Orificios	
		Vertederos triangulares	
	Contracciones	Medidor Venturi	
		Reducciones	
		Orificios ahogados	



	Velocidad ocambio de flujo	Línea de bombeo	
		Codos	

Fuente:(Canepa de Vargas, 1999)

En los mezcladores mecánicos, la turbulencia necesaria para la mezcla proviene de una fuente externa, generalmente un motor eléctrico y, de este modo, puede ser fácilmente controlable.

Por otro lado, la potencia disipada en los mezcladores hidráulicos tiene origen en el trabajo interno del fluido y, por lo tanto, es función de la forma geométrica del mezclador y de las características del flujo, lo que hace que las condiciones de mezcla sean difíciles de controlar por el operador.

Las unidades hidráulicas más comunes son las de resalto hidráulico y los mezcladores en línea. (Canepa de Vargas, 1999, p. 248)

### **Resalto hidráulico**

El resalto hidráulico es un fenómeno que ocurre cuando la corriente líquida pasa de un régimen rápido a uno tranquilo, a través de una profundidad crítica, y discurre de una profundidad menor a una mayor, mientras que la velocidad cambia de mayor a menor que la crítica.

La figura 14 ilustra cómo ocurre el resalto a través de la curva de energía específica.



*Figura 14. Modelación de Resalto hidráulico*

Fuente:(Resalto Hidráulico, s. f.)

Los resaltos pueden producirse en canales horizontales o de fondo inclinado. Son frecuentemente utilizados para producir mezcla rápida en canales rectangulares con cambio brusco de inclinación. (Canepa de Vargas, 1999, p. 249)

En este con la ayuda de difusores, tuberías con perforaciones, se introduce el coagulante de la manera más homogénea posible, desde los tanques de dosificación hacia el canal de entrada de agua cruda.

Para su diseño se puede recurrir al programa HCanales, que nos permite determinar las características hidráulicas de canales.



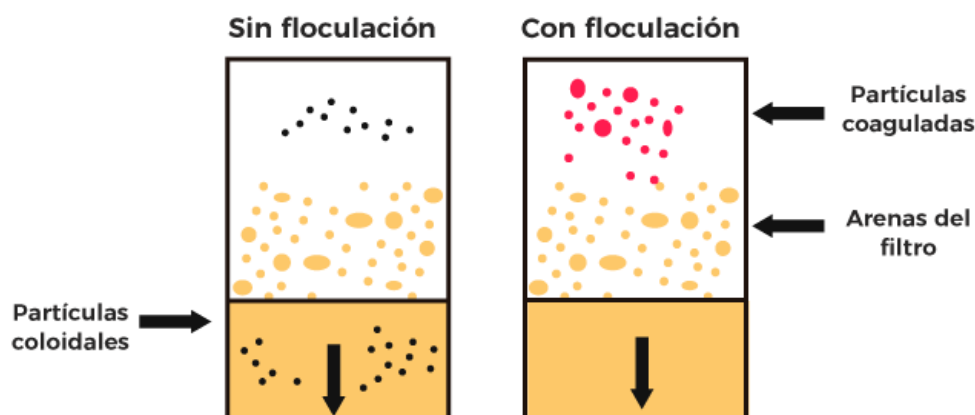
*Figura 15. Programa de diseño de canales*

(Rojas, 2013)

#### **a.4) Floculación.**

La floculación se refiere a la aglomeración de partículas coaguladas en partículas floculentas; es el proceso mediante el cual se aplica una mezcla de bajo gradiente para incrementar las colisiones interparticulares sin romper los agregados formados.

Similar a la coagulación, la floculación está influenciada por las fuerzas químicas y físicas (carga eléctrica de las partículas, capacidad de intercambio, tamaño y concentración del flóculo, el pH, la temperatura del agua y la concentración de electrolitos). (Ministerio de Servicio y obras públicas., 2004, p. 109).



*Figura 16. Principio de Floculación*

Fuente: (*Tratamiento de agua potable Sedapal | BossTech Blog*, 2018)

Tan pronto como se agregan coagulantes a una suspensión coloidal, se inician una serie de reacciones hidrolíticas que adhieren iones a la superficie de las partículas presentes en la suspensión, las cuales tienen así oportunidad de unirse por sucesivas colisiones hasta formar flóculos que crecen con el tiempo.

La rapidez con que esto ocurre depende del tamaño de las partículas con relación al estado de agitación del líquido, de la concentración de las mismas y de su “grado de desestabilización”, que es el que permite que las colisiones sean efectivas para producir adherencia. (Restrepo Osorno, 2009)



*Figura 17.* Mantenimiento de floculadores horizontales

Fuente: (Heraldo, 2022)

Entre los floculadores más conocidos se pueden citar, en primer lugar, las unidades de pantallas de flujo horizontal y vertical, las de medios porosos, la de tipo Alabama y Cox, y los floculadores de mallas.



*Figura 18.* Floculador tipo Alabama y Cox

Fuente: (Saniaguas S.A.S, 2022)

Las unidades de pantallas son las más eficientes y económicas de todos los floculadores actualmente en uso. Debido a la gran cantidad de compartimientos que tienen, confinan casi perfectamente el tiempo de retención; el tiempo real es

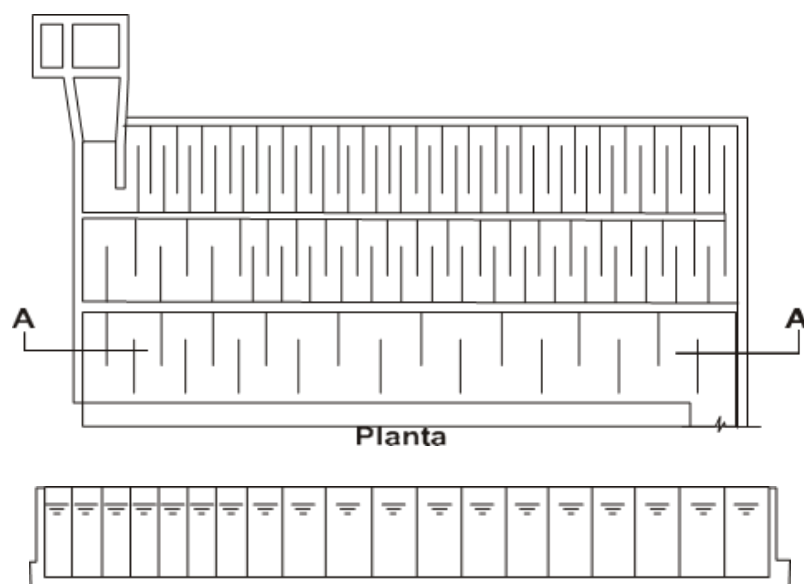
prácticamente igual al tiempo teórico cuando la unidad ha sido bien proyectada. Debido a que no se requiere energía eléctrica para su funcionamiento, el costo de producción es muy bajo.

#### **a.4.1) Unidades de flujo horizontal**

Consisten en tanques de concreto dividido por tabiques, baffles o pantallas de concreto, madera u otro material adecuado, dispuestos de forma tal que el agua haga un recorrido de ida y vuelta alrededor de los extremos libres de los tabiques.

##### **Parámetros y recomendaciones de diseño**

- Recomendables para caudales menores de 50 litros por segundo.
- Las velocidades del flujo no deben ser menores a 0,1 m/s ni mayores a 0,60 m/s para evitar la sedimentación y la ruptura del flóculo correspondientemente.
- Se proyectará un mínimo de dos unidades, salvo que la planta tenga alternativa para filtración directa, porque en ese caso, podrá darse mantenimiento al floculador durante los meses en que la planta opera con filtración directa.
- En este tipo de unidades predomina el flujo de pistón, por lo que se consigue un buen ajuste del tiempo de retención.
- Se pueden utilizar pantallas removibles de concreto prefabricadas, fibra de vidrio, madera, plástico, asbesto cemento u otro material de bajo costo, disponible en el medio y que no constituya un riesgo de contaminación. De esta manera, se le da mayor flexibilidad a la unidad y se reduce el área construida, disminuyendo por consiguiente el costo de construcción (figura 14). (Organización Panamericana de la salud (OPS), 2004, p. 92)
- Entre los materiales indicados para las pantallas, los que ofrecen mayor confiabilidad son la fibra de vidrio, el plástico, los tabiques de concreto prefabricado y la madera. En cada caso, la elección del material dependerá del tamaño de la planta, del costo del material y de los recursos disponibles.



*Figura 19.* Floculador de pantallas de flujo horizontal

Fuente: (Organización Panamericana de la salud (OPS), 2004, p. 93)

- Si se empleara madera, se pueden disponer tabiques de madera machihembrada, tratada con barniz marino aplicado en varias capas, cada una en sentido opuesto a la anterior, de tal manera de formar una gruesa capa impermeabilizante.
- También puede emplearse madera revestida con una capa de fibra de vidrio. La unidad puede tener una profundidad de 1,00 a 2,00 metros, dependiendo del material utilizado en las pantallas. (Organización Panamericana de la salud (OPS), 2004, p. 94)



*Figura 20.* Floculador de pantallas de flujo horizontal

Fuente:(Canepa de Vargas, 1997)

- Cuando se utilicen placas de asbesto-cemento planas o de madera, los coeficientes de fricción deben ser 0,013 y 0,012, respectivamente.
- El coeficiente (K) de pérdida de carga en las vueltas varía entre 1,5 y 3,0 Se recomienda usar un coeficiente de 2 para este fin.
- El espaciamiento entre el extremo de la pantalla y la pared del tanque, es decir, el paso de un canal a otro se deberá hacer igual a 1,5 veces el espaciamiento entre pantallas.
- Dependiendo del tamaño de la unidad, deberá considerarse un punto de desagüe por unidad o uno por cada tramo.(Organización Panamericana de la salud (OPS), 2004, p. 95)

### Criterios para el dimensionamiento

En las unidades hidráulicas el gradiente de velocidad está en función de la pérdida de carga:

**Tabla 7. Parámetros óptimos de floculación**

Tramos	Gradientes de velocidad (s <sup>-1</sup> )	Tiempos de retención (min.)
1	80	5
2	60	10
3	50	15
4	45	20

Fuente:(Organización Panamericana de la salud (OPS), 2004, p. 98)

$$G = \sqrt{\frac{\gamma}{\mu}} * \sqrt{\frac{hf}{T}} \quad (1)$$

Donde:

$\gamma/\mu$  = Relación que depende de la temperatura del agua

hf= Pérdida de carga total en m

T= Tiempo de retención en s

La pérdida de carga se produce a lo largo de los canales ( $h_1$ ) y principalmente en las vueltas ( $h_2$ ), por lo que la pérdida de carga total en el tramo  $h_f = h_1 + h_2$ .

$$h_1 = \left[ \frac{n * v}{r^{2/3}} \right]^2 * l \quad (2)$$

Donde:

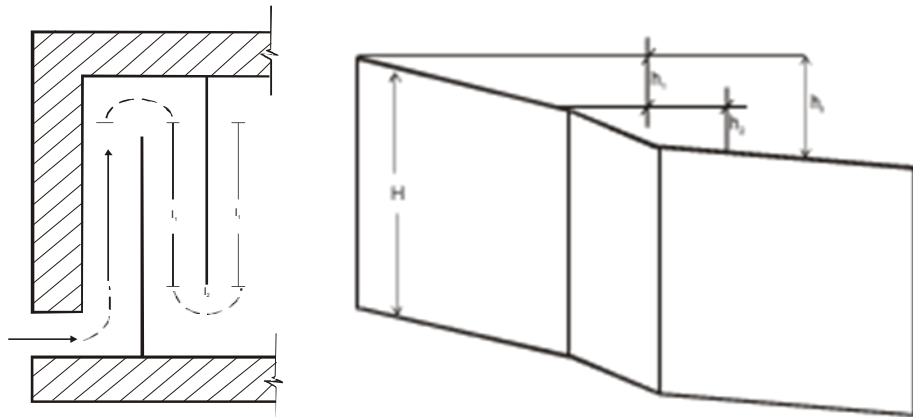
$n$ = Coeficiente de pérdida de carga de Manning,

$v$ = Velocidad en canales en m/s

$g$ = Aceleración de la gravedad en  $m^2/s$

$r$ = Radio hidráulico del canal

$l$ = Longitud total en el tramo en m



*Figura 21. Comportamiento de la pérdida de carga*  
(Organización Panamericana de la salud (OPS), 2004, p. 97)

$$h_2 = K * \left( \frac{v^2}{2g} \right) * N \quad (3)$$

Donde:

$K=2$ , coeficiente de pérdida de carga en las curvas

$N$ = Número de vueltas o pasos entre canales



#### **a.4.2) Unidades de flujo vertical**

En este tipo de unidades el flujo sube y baja a través de canales verticales formados por las pantallas. Es una solución ideal para plantas de medianas a grandes, porque debido a la mayor profundidad que requieren estas unidades, ocupan áreas más reducidas que los canales de flujo horizontal.

Otra ventaja importante es que el área de la unidad guarda proporción con respecto a los decantadores y filtros, con lo que resultan sistemas más compactos y mejor proporcionados. Cuando se emplean floculadores de flujo horizontal en plantas grandes, el área de los floculadores es mucho mayor que el área de todas las demás unidades juntas. (Organización Panamericana de la salud (OPS), 2004, p. 103)

#### **a.4.2) Floculadores tipo Alabama Cox**

En estas unidades el agua hace un movimiento ascendente - descendente dentro de cada compartimiento, por lo que es muy importante mantener la velocidad del agua constante, para que este comportamiento se dé. La velocidad ascensional será constante mientras el caudal sea constante; por esta razón, estas unidades son muy vulnerables a las variaciones de caudal. Si el caudal de operación baja, el agua ya no hace su recorrido ascensional y solamente pasará por el fondo de la unidad de una boquilla a la otra, lo que generará un cortocircuito en esta zona y un gran espacio muerto en toda la parte superior. (Organización Panamericana de la salud (OPS), 2004, p. 113)

#### **a.5) Sedimentación.**

El objetivo principal de esta unidad es promover la sedimentación del material de tamaño coloidal por acción de la fuerza de gravedad. La sedimentación de las partículas se consigue disminuyendo la velocidad de flujo dentro de la unidad. Se recomienda que esta unidad sea de forma rectangular y que el fondo tenga una inclinación al centro para facilitar su remoción. (Araque Arellano, 2022, p. 70)



*Figura 22. Sedimentación en agua potable*

Fuente: *(Purificación Del Agua a Partir Del Hierro, 2021)*

#### **a.5.1) Mecanismo de sedimentación**

En el momento en que una partícula se encuentra en esta unidad está sujeta a dos fuerzas, la primera horizontal inducida por la velocidad de flujo y la segunda vertical inducida por su peso propio. En el momento en que la partícula desciende al fondo de la unidad su movimiento es parabólico. Si en el decantador la partícula solo posee ese movimiento, el tiempo necesario para que el agua lo atravesase será igual al tiempo que demora en llegar al fondo. El tiempo necesario se calcularía dividiendo el volumen del tanque para su caudal de tratamiento.

#### **a.5.2) Sedimentador tipo colmena**

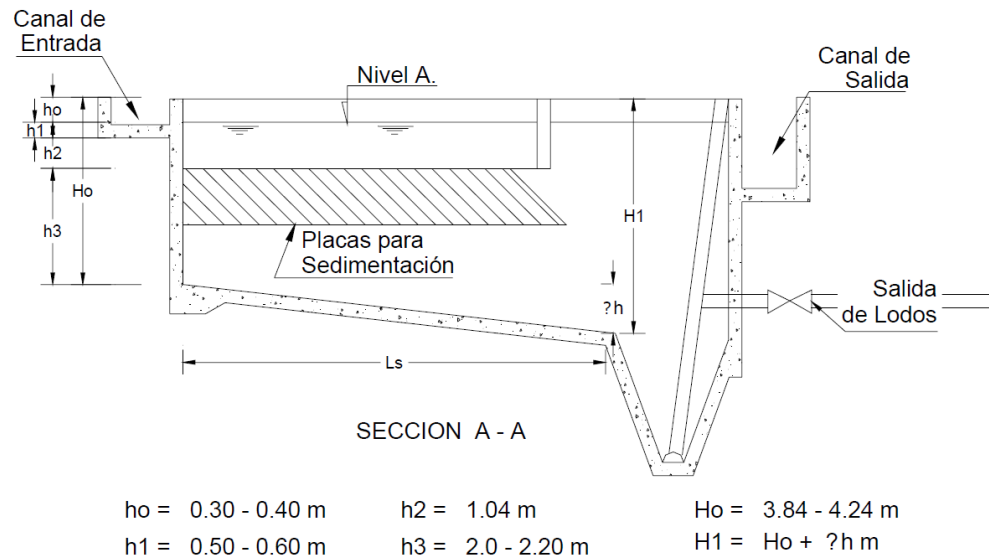
El sistema es mucho más versátil que las tradicionales Placas Planas, ya que este es aplicable a plantas de tratamiento de todos los tamaños desde fincas, condominios, municipios hasta ciudades capitales, aumentando la capacidad del decantador en más de un 200%. Su construcción, se hace sobre medidas sin importar la forma del decantador ya sea circular o rectangular, evitando regirse por un patrón de medida estándar que incurre por lo general en sobrecostos. La experiencia nos dice que es mucho más rápida la decantación de un agua cargada de materias en suspensión dentro de un tubo que tiene cierta inclinación sobre la línea horizontal, que dentro de un tubo colocado verticalmente. (Fandiño Piamonte & Camargo Arcila, 2013, p. 40)

#### **a.5.3) Sedimentadores de alta tasa (placas)**

Son unidades de alta eficiencia y de poca profundidad con relación a los sedimentadores clásicos. El proceso se realiza en elementos poco profundos; placas planas paralelas, placas onduladas paralelas, módulos tubulares, de sección cuadrada, hexagonal, octogonal y otras, colocados en los tanques, presentando en cada caso eficiencias particulares. Los tiempos de retención son cortos (15 minutos). (Ministerio de Servicio y Obras Públicas, 2005, p. 140)

Los tipos de sedimentadores de alta tasa más comunes son:

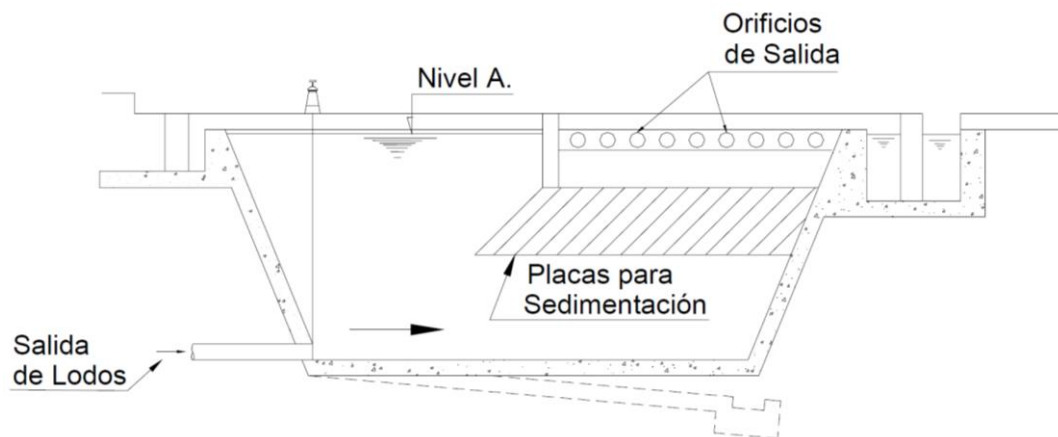
- Sedimentadores de flujo descendente: Son unidades de tratamiento en las que el flujo atraviesa los elementos insertos en forma descendente. Véase Figura 23.



*Figura 23. Sedimentador de alta tasa de flujo descendente*

(Ministerio de Servicio y Obras Públicas, 2005, p. 142)

- Sedimentadores de flujo ascendente: Son unidades de tratamiento en las que el flujo de agua atraviesa los elementos insertos en forma ascendente. Véase Figura 24.



*Figura 24. Sedimentador de alta tasa de flujo ascendente*

Fuente: (Ministerio de Servicio y Obras Públicas, 2005, p. 140)

#### a.5.4) Criterios de diseño

Para sedimentadores de flujo ascendente como descendente, se aplican los siguientes criterios de diseño:

**Tabla 8. Parámetros de referencia de diseño de sedimentación**

Tipo de sedimentador	Carga superficial (m /m <sup>2</sup> /d)	Tiempo de retención hidráulica (h)	Velocidad de flujo (cm/s)
Flujo horizontal	15 - 30	2-4	< 1
Flujo vertical	2 - 30 (máx. 60)	2-4	< 1
Manto de lodos	30 - 120	1,0 - 1,5	2,15 - 5

Fuente: (Resolución 330 de 2017 Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, s. f.)

#### a) Velocidad de sedimentación crítica

En sedimentadores de alta tasa, la velocidad de sedimentación crítica está dada por:

Donde:

$$V_{sc} = \frac{S_c v_o}{\sin \theta + L \cos \theta} \quad (4)$$

$$L_c = L - L' \quad ; \quad L = \frac{l}{d} \quad ; \quad L' = 0.013 \cdot Re$$

$V_{sc}$ = Velocidad crítica de asentamiento o carga superficial de sedimentación de alta tasa

$V_o$ = Velocidad promedio del fluido en el elemento de sedimentación de alta tasa o carga superficial en el área de sedimentación de alta tasa.

$\theta$  = Ángulo de inclinación del elemento de sedimentación de alta tasa.

$L$ = Longitud relativa del sedimentador de alta tasa, en flujo laminar.

$l$  = Longitud recorrida a través del elemento (tubo, placa) en m.

Véase Figura 25.

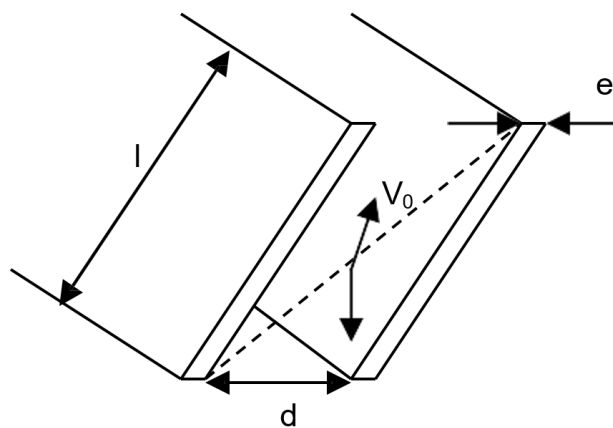
$L_c$ = Longitud relativa del sedimentador de alta tasa en flujo laminar, corregida en la longitud de transición  $L'$  (adimensional)

$d$ = Ancho del conducto o espaciamiento entre placas en m Re Número de Reynolds (adimensional)

$Sc$ = Parámetro característico; igual a 1,0 para sedimentadores de placas paralelas.

$Sc$ = Parámetro característico; igual a 4/3 para tubos de sección circular.

$Sc$ = Parámetro característico; igual a 11/8 para conductos de sección cuadrada.



*Figura 25.* Dimensionamiento de las placas de sedimentación.

Fuente: (Ministerio de Servicio y Obras Públicas, 2005, p. 142)

e = Espesor de placa

d = Distancia entre placas

l = longitud de placa

El valor de Sc para sedimentadores de placas paralelas es 1,0. Cualquier partícula suspendida con un valor de S mayor o igual a 1,0 en un sedimentador de placas paralelas será removida.

### b) Número de Reynolds

El número de Reynolds debe ser menor a 500 para garantizar el flujo en transición.

$$Re = \frac{v_o * d}{\nu} \quad (5)$$

$$\nu = \frac{497 * 10^{-6}}{(T + 42.5)^{1.5}} \quad (6)$$

Donde:

Re= Número de Reynolds (adimensional)

vo= Velocidad promedio del fluido en el sedimentador en m/d

d= Ancho del conducto o espaciamiento entre placas en m

v= Viscosidad cinemática en m<sup>2</sup>/s

T= Temperatura del agua en °C

### c) Tiempo de retención

El tiempo de retención es de 3 a 6 minutos en los sedimentadores de tubos y de 15 a 25 minutos en sedimentadores de placas.

$$t = \frac{l}{v_o} \quad (7)$$

Donde:

t= Tiempo de retención en min.

l= Longitud recorrida a través del elemento (tubo, placa) en m.

vo= Velocidad promedio del fluido en el sedimentador en m/min

**d) Velocidad promedio de flujo entre placas**

$$v_o = \frac{Q}{A * \text{Sen}\theta} \quad (8)$$

Donde:

Q= Caudal de diseño en m<sup>3</sup>

A= Área superficial en m<sup>2</sup>

θ= Ángulo de inclinación del elemento de sedimentación de alta tasa

**e) Carga superficial**

El valor de la carga superficial CS debe obtenerse en laboratorio o pruebas de campo y cuyo valor tendrá relación con un valor de eficiencia remocional deseable o la máxima turbiedad admisible por las unidades de filtración (razonable hasta 10 UNT).

$$CS = \frac{Q}{A} \quad ; \quad A = \frac{Q}{S} \quad (9)$$

Donde:

CS= Carga superficial de sedimentación en m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>d

Q= Caudal de diseño en m<sup>3</sup>

A=Área superficial en m<sup>2</sup>

**f) Longitud de sedimentación**

$$L_s = \frac{A}{b} \quad (10)$$

Donde:

Ls= Longitud de sedimentación en m

A= Área superficial en m<sup>2</sup>

b= Ancho del sedimentador en m; asumido por el proyectista en función al ancho de placas

**g) Número de placas por módulo**

$$N = \frac{L_s \text{Sen} \theta + d}{d + e} \quad (11)$$

Donde:

N= Número de placas por módulo

Ls= Longitud de sedimentación en m

$\theta$ = Ángulo de inclinación de las placas en (°)

d= Separación entre placas en m

e= Espesor de las placas en m

**a.6) Filtración.**

Se define a la filtración como el proceso de remoción de partículas coloidales y suspendidas en un medio acuoso mediante un medio poroso. Esta unidad de tratamiento en las plantas de tratamiento se ubica luego de la unidad de coagulación y antes de la unidad de cloración. (Araque Arellano, 2022, p. 84)

**a.6.1) Mecanismos de filtración**

Las fuerzas que mantienen adheridas a las partículas al medio filtrante son dos mecanismos distintos y son el transporte y la adherencia. Como parte inicial de este proceso, las partículas coloidales son transportadas hasta el medio filtrante y luego



las partículas son adheridas al medio filtrante siempre y cuando resista las fuerzas de corte del fluido.

Los factores que influyen en el transporte de las partículas es la filtración de acción superficial y la profundidad. El 90 % de las partículas removidas se localizan sobre el medio filtrante y el 10 % restante se localiza en el medio filtrante. El impacto inercial se considera despreciable cuando las partículas suspendidas tienen un tamaño de 0,01 y 0,10  $\mu\text{m}$  y su densidad se encuentra entre 1,0 a 2,65  $\text{kg/m}^3$  en el momento que el flujo es laminar. El flujo que prevalece es laminar por lo que las partículas se mueven a lo largo de las líneas de corriente.

El efecto de la gravedad sí tiene mucha influencia en este proceso, la velocidad de sedimentación se puede calcular con la fórmula de Stokes.

Las partículas pequeñas se caracterizan por tener un movimiento errático cuando se encuentran suspendidas en la masa de agua, mientras que las demás partículas se caracterizan por tener el movimiento conocido como movimiento browniano debido a la disminución de la viscosidad del agua. (Araque Arellano, 2022, p. 86)

#### **a.6.2) Filtración lenta**

Es el método más antiguo de purificación del agua para consumo humano y se utiliza principalmente en las plantas de tratamiento. El proceso de purificación consiste en hacer pasar el agua por diferentes capas de material filtrante.

No es aconsejable para agua que tenga un rango de turbiedad de 20 NTU a 30 NTU. La eficiencia de esta unidad disminuye con temperaturas de agua inferiores a 4 grados centígrados.

La presencia de biosidas o plaguicidas en el agua es perjudicial para el proceso de filtración.

Velocidad de filtración mínima es 0,94  $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{día}$ .

Velocidad de filtración máxima es 2,80  $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{día}$ .

#### **a.6.3) Filtración rápida en arena (fra) (tasa constante) Tasa de filtración**

La tasa de filtración debe obtenerse de laboratorio mediante ensayos en columna de filtración que permitan verificar las eficiencias remocionales de los parámetros que se desean tratar a partir de la variación de alturas de lecho, combinación de material granular, granulometrías y alturas de sobrenadante. Al disponer de columnas de ensayo o filtros piloto la tasa a adoptarse será:

$$V_f = 120 - 600 \frac{m^3}{m^2 d} \quad (12)$$

De no ser posible acceder a ensayos de columna de filtración o filtros piloto, las tasas máximas de filtración serán:

Para filtro con medio simple (arena):  $180 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$

Para filtro con medio dual (arena y antracita):  $360 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$

### **Área de filtración requerida**

$$A_T = \frac{Q_T}{V_f} \quad (13)$$

Donde:

$A_T$ = Área total de filtración requerida en  $\text{m}^2$

$Q$ = Caudal de diseño en  $\text{m}^3/\text{h}$

$V_f$ = Tasa de filtración en  $\text{m}^3/\text{m}^2\text{h}$

### **Número de Unidades**

$$N = \sqrt{\frac{A_T}{3}} \quad (14)$$

Donde:

$N$ = Número de filtros necesarios al final del periodo de diseño.

$A_T$ = Área total de filtración requerida en  $\text{m}^2$

## Capa Soporte

El tipo y tamaño de lecho de grava depende del sistema de drenaje que se use. Para drenajes con orificios menores a 1 mm (boquillas) no se usa grava sino arena “torpedo” de 4 mm de diámetro. Para drenajes con orificios entre 1 – 5 mm (Leopold) se usan 20 a 30 cm de grava distribuidos de acuerdo a los valores mostrados en la tabla 9.

**Tabla 9. Espesores y diámetros de la grava soporte**

Espesor de la capa (cm)	Espesor acumulado (cm)		Diámetro (pulg.)
5	5		3/4 a 1/2
5	10		1/2 a 1/4
5	15		1/4 a 1/8
5	20		1/8 a N° 10
5		25	1/8 a 1/4
5		30	1/4 a 1/2

Nota: N° 10 corresponde al tamiz 10 U.S.

Fuente:(Ministerio de Servicio y obras públicas., 2004, p. 101)

## Medio filtrante

Corresponde al material granular (arena, antracita, granate, ilmenita, carbón magnetita u otros) que retienen los flóculos no sedimentables.

La arena para filtros rápidos estará compuesta de material silicio con dureza de 7 en las escala de Moh (1 al 10) y peso específico no menor a 2, libre de materia orgánica y no más de 1 % podrá ser material laminar o micáceo.

La solubilidad en ácido clorhídrico al 40% durante 24 horas debe ser menor al 5 % y la pérdida por ignición menor a 0,7% en peso.

La antracita debe tener una dureza de 2,7 ó mayor en la escala de Moh y su peso específico no menor a 1,40. El contenido de carbón libre no debe ser menor del 85 % en peso.

### **Coefficiente de uniformidad (arena)**

$$Cu = 1,5 \text{ a } 1,7$$

### **Altura del lecho y tamaño efectivo**

La altura de lecho convencional de arena podrá ser (0,60 a 0,75 m), cuando el tamaño efectivo sea de 0,45 a 0,55 mm. La altura de lecho profundo podrá ser (0,9 a 1,8 m), cuando el tamaño efectivo sea de 0,90 a 1,20 mm.

Para lechos mixtos (arena – antracita); si la arena tiene tamaño efectivo de 0,45 a 0,55 mm, la altura de lecho será 0,20 a 0,40 m; si la antracita tiene tamaño efectivo de 0,90 a 1,40 mm, la altura de lecho será de 0,30 a 0,55 m

### **Granulometría**

Se debe utilizar arenas finas cuando el pretratamiento es deficiente y es necesaria la remoción de turbiedad y bacterias.

Se debe utilizar arenas gruesas cuando el pretratamiento es deficiente, pudiendo optarse filtros de lecho profundo.

Se debe utilizar arena media cuando existan características intermedias

La Tabla 10 muestra los porcentajes retenidos en los tamices para el preparado de arenas finas medias y gruesas.

**Tabla 10. Arena para filtros de tasa constante**

<b>Abertura tamiz (mm)</b>	<b>Porcentaje arena retenida (%)</b>		
	<b>Fina</b>	<b>Media</b>	<b>Gruesa</b>
0.30	97 - 100	99 - 100	100 - 100
0.42	75 - 94	94 - 98	99 - 96
0.69	27 - 69	61 - 86	69 - 70
0.84	3 - 29	16 - 51	29 - 32
0.17	0 - 6	1 - 16	7 - 0

T. E. (mm)	0.35 - 0.45	0.45 - 0.55	0.55 - 0.65
------------	----------------	----------------	----------------

Nota: T.E. = Tamaño Efectivo

Fuente:(Ministerio de Servicio y obras públicas., 2004, p. 104)

Se debe utilizar antracitas con tamaños efectivos entre 0,6 y 1,4 mm. Cuando se emplea como lecho único los tamaños efectivos serán de 0,6 a 0,8 mm. Cuando se emplea en los lechos múltiples los tamaños serán entre 0,8 y 1,4 mm.

#### **Coefficiente de uniformidad (antracita)**

$$Cu = 1,0 - 1,40$$

#### **Pérdida de carga máxima en los filtros**

En filtros sin controladores las pérdidas de carga no deben exceder los 2 m.

#### **Altura de agua sobre el lecho (sobrenadante)**

La altura de agua sobre el lecho debe ser mínima de 0,9 m y máxima de 1,60 m.

#### **Altura del filtro de tasa declinante**

La altura total de los filtros se debe determinar en función a las alturas parciales del fondo falso, capa soporte, altura de lecho de arena (arena y antracita), altura de agua mínima y máxima y altura de seguridad. La Tabla 11 muestra los valores de cada altura.

**Tabla 11. Altura del filtro de tasa declinante**

Descripción	Altura (m)
Altura de fondo falso	0,50 - 0,50
Altura capa soporte (incluyendo viguetas)	0,50 - 0,50
Altura de arena	0,30 - 0,35
Altura de antracita	0,45 - 0,50
Altura mínima de agua (sobre el nivel de arena)	1,25 - 1,35

Altura máxima de agua (sobre el nivel mínimo)	1,60 - 1,70
Altura de seguridad	0,40 - 0,40
<b>Altura total</b>	<b>5,0 - 5,30</b>

Fuente:(Ministerio de Servicio y obras públicas., 2004, p. 106)

#### **a.7) Desinfección.**

La última unidad en el proceso de tratamiento del agua potable es la unidad de desinfección cuyo objetivo es añadir cloro al agua para conseguir su desinfección, la cloración se puede realizar con cloro líquido, hipocloritos o cal clorada. (Araque Arellano, 2022, p. 87)

Hay tres tipos básicos de desinfección: Tratamientos físicos, tratamientos químicos y radiación.

##### **a) Tratamientos físicos:**

Son los menos utilizados, dentro de este tipo de tratamientos se puede incluir la aplicación de calor, pero además de ser costoso, deja mal sabor ya que elimina el oxígeno disuelto y las sales presentes en el agua.

Otro de los procesos que se utilizan es el dejar pasar el tiempo, para que los gérmenes fecales disminuyan su concentración al ser el agua retenida en ambiente hostil. (Romero, 2012, p. 9)

##### **b) Tratamientos químicos:**

Los agentes químicos desinfectantes más utilizados son el cloro, el dióxido de cloro y el ozono.

Dentro de los que tenemos que el cloro en su forma gaseosa o como Hipoclorito de Sodio o Calcio es el más usado.

La aceptación del cloro es debida a 3 factores: Su capacidad de oxidar sustancias inorgánicas (hierro, manganeso, nitritos, etc) que causan mal sabor, corrosión y deterioro en las líneas de transmisión del agua.

- La acción microbicida del cloro como alguicida, bactericida y en menor medida virucida. Y la capacidad de mejorar los procesos de coagulación y floculación, ya que favorece la formación de flóculos. Adicionalmente a las ventajas anteriores su uso es de bajo costo y es bastante seguro. El equipo que requiere pasa su dosificación no es sofisticado ni complejo.
- El Dioxido de Cloro ( $\text{ClO}_2$ ) es un gas relativamente inestable que se obtiene a partir de la mezcla de cloro con clorito sódico. Es relativamente inestable por lo que normalmente se genera en el lugar de aplicación. Una de sus ventajas es que no se ve afectado por el pH e incluso aumenta su potencialidad frente a amebas y enteovirus.
- El Ozono constituye la tercera alternativa tras el cloro y el dióxido de cloro. La aplicación de ozono también requiere de aplicación in situ debido a su inestabilidad.(Romero, 2012, p. 10)
- La dosificación de desinfectantes (dosis) debe determinarse en laboratorio a través de la Prueba de Demanda de Cloro. Debe tenerse en cuenta que la demanda de cloro de cualquier agua, varia con la cantidad de cloro que se aplique, con el tiempo de contacto del que se dispone en la planta de tratamiento con el pH y con la temperatura.

La Tabla 12 muestra las características de los compuestos desinfectantes, su presentación y concentración comercial.

**Tabla 12. Compuestos desinfectantes utilizados para el tratamiento de aguas**

Compuesto	Fórmula	Presentación	Concentración comercial
Cloro	$\text{Cl}_2$	Gas líquido bajo presión	99,50%
Hipoclorito de Calcio	$\text{Ca}(\text{OCl})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	Granular Polvo	65 % de cloro disponible en peso (mínimo)
Hipoclorito de Sodio	$\text{Na OCl}$	Solución	10 % de cloro disponible en peso (mínimo)

Fuente:(Ministerio de Servicio y obras públicas., 2004, p. 115)

### **b.1) Criterios de diseño Cloración**

#### **Caudal mínimo de agua**

El caudal mínimo de agua para el funcionamiento del inyector se calculamediante la siguiente ecuación:

$$q = Q * \frac{D_M}{C} \quad (15)$$

Donde:

$D_m$ = Dosis máxima, normalmente se asume igual a 5.0 mg/L

$C$ = Concentración de la solución clorada, normalmente se asume igual a 3500 mg/L

Usar caudales de agua mayores que  $q$  no ofrece problemas en la dosificación y a menudo es necesario tomar caudales mayores para ajustarse a los tamaños comerciales de los equipos de bombeo. Los equipos de bombeo pueden evitarse, cuando la planta cuenta con un suministro de agua con presión suficiente para el funcionamiento del inyector. Usualmente, la mínima presión necesaria es 30 metros de columna de agua (mca), más las pérdidas calculadas en la tubería de abastecimiento.(Organización Panamericana de la salud (OPS), 2004, p. 256)

#### **Potencia mínima bombeo**

La potencia mínima del equipo de bombeo se calcula con la siguiente ecuación:

$$P = \frac{\delta * Q * H}{75E} \quad (16)$$

Donde:

$\delta$ = Peso específico del agua (1000kg/m<sup>3</sup>)

$H$ = Carga dinámica total (m.c.a)

$E$ = Eficiencia del equipo de bombeo

Para el cálculo de  $H$  se utilizan los siguientes criterios:



$$H = h + H_o + H_m \quad (17)$$

Donde:

$h$  = Presión requerida por el inyector (m.c.a)

$H_o$  = Pérdidas de fricción (m.c.a)

$H_m$  = Pérdidas menores (m.c.a)

$$H_o = f * \frac{L}{\phi} * \frac{V^2}{2g} \quad (18)$$

Donde:

$f = 0,030$  (coeficiente de fricción)

$L$  = longitud de la tubería (m)

$\phi$  = diámetro de la tubería (m)

$V = 0,60$  a  $1,20$  m/s (velocidad del agua)

$g$  = aceleración de la gravedad.

$$H_m = \sum K \frac{V^2}{2g} \quad (19)$$

Donde  $\sum K$  = suma de coeficientes de pérdida de carga en accesorios. Los usuales se indican en la tabla 12.

**Tabla 13. Coeficientes de pérdida de carga menores**

Accesorios	K
Codo	0,4
Te de paso directo	0,25
Válvula de compuerta	0,3
Filtro “Y”	3,5
Total $\sum K$ =	4,45

Nota: La suma de K debe ajustarse de acuerdo con el diseño de cada sistema.

Fuente: (Organización Panamericana de la salud (OPS), 2004, p. 257)

### Capacidad requerida del equipo

$$W = Q * D_M \quad (20)$$

Donde:

W = capacidad requerida en g/h.

Con este dato entramos a los catálogos de los fabricantes y seleccionamos un equipo cuya capacidad sea igual o inmediatamente superior a la requerida. La tabla 24 ofrece información tomada de los catálogos.

**Tabla 14. Tamaños comerciales de cloradores.**

Capacidad del clorador (a)		Temperatura ambiente mínima (b)	
g/h	lb/día	°C	°F
	100	24	75
1400	75	13,3	56
750	40	2	36
280	15	-3	26
120	6	-5	23
50	2	-5,6	22

Nota:

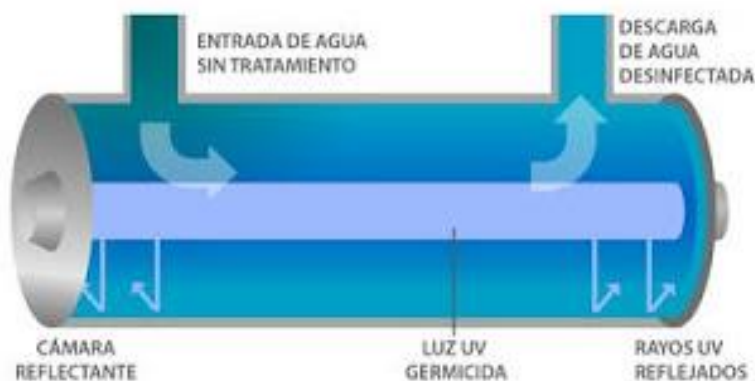
(a) La dosificación mínima es 1/20 de la máxima.

(b) Estimación razonable de la temperatura ambiente mínima para una dosificación continua.

Fuente: (Organización Panamericana de la salud (OPS), 2004, p. 258)

### c) Radiación:

Hay varias formas que pueden desempeñar un papel desinfectante. Las radiaciones más útiles son UV, los rayos X y los rayos  $\gamma$ . La radiación que más se utiliza es la UV debido a su costo, un inconveniente que tiene este tratamiento es su baja eficacia frente a la turbidez del agua. (Romero, 2012, p. 11)



*Figura 26. Radiación ultravioleta*

Fuente: (Serviqualita, 2016)

Los sistemas de tratamiento y desinfección de Agua mediante luz Ultra Violeta (UV), garantizan la eliminación de entre el 99,9% y el 99,99 de agentes patógenos. Para lograr este grado de efectividad casi absoluta mediante este procedimiento físico, es totalmente imprescindible que los procesos previos del agua eliminen de forma casi total cualquier turbiedad de la misma, ya que la Luz Ultravioleta debe poder atravesar perfectamente el flujo de agua a tratar.(Serviqualita, 2016)

#### **a.8) Tanques de almacenamiento o reservorios.**

Los tanques de almacenamiento tienen como función hidráulica suministrar agua para consumo humano con las presiones de servicio adecuadas, y en la cantidad necesaria que compense las variaciones de la demanda; asimismo, debe contar con un volumen adicional para suministrar en casos de emergencia como incendios, suspensión temporal de la fuente de abastecimiento y/o paralización parcial de la planta de tratamiento.(Laín et al., 2011)



*Figura 27. Tanque de concreto*

(«Tanques de almacenamiento de agua, tipos, ventajas y desventajas», 2018)

El tamaño de los reservorios está en función de la población futura en el proyecto y en función del tamaño de la red de distribución, la misma que a más de las acometidas disponen de hidrantes. (Araque Arellano, 2022, p. 88)

#### **h) Sistemas de Tecnología Apropriada**

Deben satisfacer el concepto de multibarrera o de múltiples etapas y, llevan a cabo el tratamiento de las aguas sin la adición de productos químicos para la coagulación. Principalmente está conformada por unidades de filtración.

Comprende los procesos de desarenación, presedimentación, sedimentación, filtración gruesa dinámica, filtración gruesa de flujo horizontal, filtración gruesa de flujo vertical, filtración lenta y desinfección, como opciones, las cuales, el proyectista elegirá de acuerdo a las características de la calidad del agua, ámbitos del proyecto y al concepto de sostenibilidad en el tiempo.

Los sistemas de tratamiento con tecnología apropiada, son todos aquellos que cumplen una función determinada en la remoción de algún parámetro físico-químico y/o bacteriológico, a bajo costo. Se deben considerar como alternativas tecnológicas apropiadas las siguientes: sistema de filtración en medios granulares, porosos y sintéticos de uso doméstico, destiladores solares para la remoción de contenidos salinos en aguas de consumo, sistemas de desinfección solar, sistemas de desinfección con producción de desinfectantes in situ y el uso y aplicación de

desinfectantes de uso comercial, disponibles en el mercado local. (Ministerio de Servicio y obras públicas., 2004, p. 117)

#### i) Sistemas patentados

Se deben considerar como sistemas patentados aquellos que se caracterizan por su equipamiento, grado de complejidad, grado de mecanización y automatización mayor al de un sistema convencional.(Ministerio de Servicio y obras públicas., 2004, p. 117)

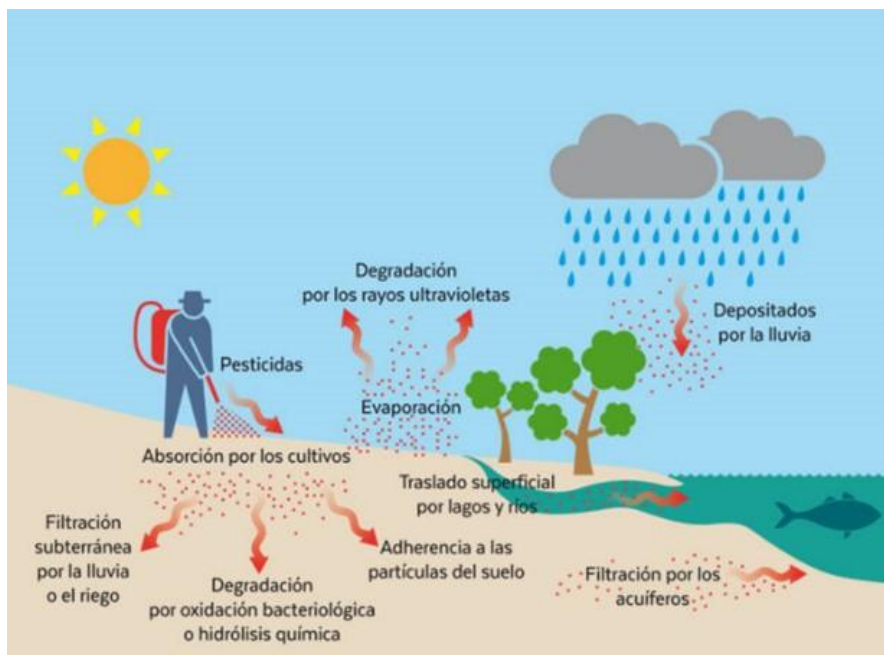


*Figura 28.* Planta de tratamiento de agua potable compacta Modelo Trident HS 2100

Fuente:(SPENA GROUP, 2016)

### 2.7 Plaguicidas en el agua.

Los plaguicidas utilizados en la agricultura llegan a los cursos de aguas subterráneas y superficiales (ríos y lagos) fundamentalmente por arrastre y lixiviación, pudiendo contaminar los reservorios de agua para consumo humano que son alimentados por estos recursos hídricos. (Mukherjee et al., 2018, p. 27)



*Figura 29. Ciclo de los plaguicidas en el medio ambiente.*

Fuente: Ecologistas en acción

La dinámica de los plaguicidas en el suelo es muy compleja y depende de una serie de factores que influyen en los procesos antes mencionados. (Romero, 2012)

Plaguicidas que se encontraron en el agua potable de la PTAP de San Jacinto:

## 2.7.1 Heptacloro

### 2.7.1.1 Definición

El heptacloro es una sustancia química manufacturada usada en el pasado para matar insectos en el hogar, en edificios y en cosechas de alimentos. Desde el año 1988 no se usa para estos propósitos. No existen fuentes naturales de heptacloro o de epóxido de heptacloro. Algunas marcas registradas del heptacloro son: Heptagran®, Heptamul®, Heptagranox®.

Es un producto de degradación y también un componente del plaguicida clordano (aproximadamente 10% en peso). El heptacloro puro es un polvo blanco. El heptacloro de calidad técnica es un polvo de color canela y es de menor pureza que el heptacloro puro. El heptacloro de calidad técnica fue la forma de heptacloro que se

usó como plaguicida con más frecuencia. Tiene un olor similar al alcanfor, no se incendia fácilmente y no es explosivo. No se disuelve en agua fácilmente. (*Resumen de Salud Pública*, 2021a)

#### 2.7.1.2 Origen

Entre los años 1953 y 1974, el heptacloro entró al suelo y al agua de superficie cuando los agricultores lo usaron para matar insectos en semillas de granos y en cosechas. También entró al aire y al suelo cuando los dueños de viviendas y exterminadores profesionales de insectos lo usaron para matar termitas. Hoy en día, el uso doméstico del heptacloro está prohibido, pero los exterminadores aun pueden usar el inventario de heptacloro existente para matar hormigas en transformadores enterrados bajo tierra.



*Figura 30. Los plaguicidas y sus efectos sobre el medio ambiente*

Fuente:(La Reserva, 2011)

El heptacloro y el epóxido de heptacloro pueden entrar al aire, al suelo, al agua subterránea y al agua de superficie como consecuencia de escapes en sitios de desechos peligrosos o vertederos.

El heptacloro se adhiere fuertemente al suelo y se evapora lentamente al aire. El heptacloro no se disuelve fácilmente en agua.

Tanto el heptacloro como el epóxido de heptacloro pueden movilizarse con el viento largas distancias desde el lugar donde fueron liberados, por ejemplo en terrenos tratados o en sitios de manufactura.

En el suelo y el agua, el heptacloro es transformado por bacterias a una sustancia más dañina, el epóxido de heptacloro, o a sustancias menos dañinas. Las plantas pueden absorber heptacloro en el suelo a través de las raíces. El heptacloro en el aire puede depositarse sobre las hojas de la planta y entrar a la planta desde el suelo contaminado. *(Resumen de Salud Pública, 2021a)*

### **2.7.1.3 Efectos sobre la salud humana.**

Cuando usted respira aire que contiene heptacloro o epóxido de heptacloro, ambas sustancias pueden pasar a la sangre a través de los pulmones, pero no se sabe con que rapidez ni cuanto tiempo permanecen en la sangre. También pueden entrar al cuerpo a través del estómago si usted come alimentos o toma agua o leche que los contienen. La mayor parte del heptacloro que usted traga pasa a la sangre a través del estómago. También puede entrar a su cuerpo a través de la piel. El heptacloro puede pasar directamente desde la sangre de la madre al feto a través de la placenta. También pueden pasar de la madre al bebé a través de la leche materna.

Una vez dentro del cuerpo, el heptacloro es transformado a epóxido de heptacloro y a otras sustancias químicas relacionadas. La mayoría del heptacloro, epóxido de heptacloro y otros productos de degradación abandonan el cuerpo en las heces unos días después de la exposición. Algunos productos de degradación también pueden abandonar el cuerpo en la orina. Cierta porción de heptacloro y epóxido de heptacloro se almacena en la grasa corporal y permanece ahí durante mucho tiempo después de ocurrida la exposición. El heptacloro y epóxido de heptacloro que se han almacenado en el tejido graso abandonan el cuerpo mucho más lentamente. *(Resumen de Salud Pública, 2021a)*

La gente puede empezar a detectar el olor del heptacloro o del epóxido de heptacloro cuando la concentración en el aire es de aproximadamente 0.3 miligramos por metro



cúbico de aire ( $0.3 \text{ mg/m}^3$ ). No se sabe si respirar heptacloro o epóxido de heptacloro produce efectos perjudiciales sobre la salud debido a que no hay estudios adecuados. Tampoco hay estudios adecuados en animales para establecer si inhalar aire con heptacloro o epóxido de heptacloro produce efectos adversos.

Más aun, tampoco hay estudios en seres humanos que puedan usarse para evaluar si la ingestión de alimentos o líquidos contaminados con heptacloro o epóxido de heptacloro produce efectos adversos. Sin embargo, hay numerosos estudios en animales que han demostrado que la administración oral de heptacloro o epóxido de heptacloro produce efectos perjudiciales. Mientras mayor el nivel de exposición y la duración de la exposición, mayor fue la gravedad de los efectos observados. Los animales expuestos sufrieron daño del hígado, excitabilidad y disminución de la fertilidad.

Los animales a los que se administró heptacloro de por vida desarrollaron un número mayor de tumores del hígado que animales no expuestos a heptacloro. La EPA y la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) han clasificado al heptacloro como posiblemente carcinogénico en seres humanos. La EPA también considera al epóxido de heptacloro como posiblemente carcinogénico en seres humanos.

Se discute los posibles efectos sobre la salud en seres humanos causados por exposiciones desde la concepción a la madurez (18 años de edad).

Algunos estudios en animales sugieren que los animales jóvenes expuestos durante la gestación y la infancia pueden ser muy sensibles a los efectos del heptacloro y epóxido de heptacloro. En estos animales se observaron alteraciones del sistema nervioso y de la función inmunitaria. Hay evidencia de que efectos similares pueden ocurrir en seres humanos, sin embargo, los resultados de un estudio que encontró algunas alteraciones en el resultado de ciertas pruebas que evalúan funciones del sistema nervioso no fueron definitivos, y además pudo haber ocurrido exposición simultánea a otras sustancias químicas. La exposición de animales a dosis más altas

de heptacloro también puede producir una reducción de peso corporal y la muerte en las crías recién nacidas. (*Resumen de Salud Pública*, 2021a)

#### **2.7.1.4 Acciones para reducir riesgo de exposición.**

Si su doctor encuentra que usted (o un miembro de la familia) ha estado expuesto a cantidades significativas de heptacloro o de epóxido de heptacloro, pregunte si sus niños también podrían haber estado expuestos. Puede que su doctor necesite pedir que su departamento estatal de salud investigue.

Para evitar la exposición a tierra contaminada, evite que sus niños coman o jueguen con tierra cerca de los cimientos de casas o graneros. Asegúrese de que se laven las manos a menudo, especialmente antes de comer. Enséñeles a sus niños a no llevarse las manos a la boca.

El heptacloro y el epóxido de heptacloro también persisten en los alimentos y la leche. El consumo de pescado cogido en agua contaminada puede aumentar la exposición al heptacloro. No pesque ni consuma pescado cogido en agua contaminada. Los avisos de pesca locales pueden advertirle si el agua está contaminada.

### **2.7.2 Lindano**

#### **2.7.2.1 Definición.**

El lindano es un plaguicida organoclorado que se ha venido utilizando para controlar muchos tipos de insectos desde comienzos de la década de 1950. Se le conoce como un plaguicida relativamente volátil y persistente, que se acumula en el tejido graso de los seres humanos y de otros animales. (IPEN (Red Internacional para la Eliminación de Contaminantes), 2008)

#### **2.7.2.1 Origen.**

El lindano se usa tanto para el control de plagas en la agricultura como en salud pública o en aplicaciones “farmacéuticas”. También se utiliza para controlar infestaciones de insectos en materiales tales como madera, cuero, lana y algodón. De igual forma aplicaciones sanitarias en ganado bovino contra garrapatas y otros parásitos. El lindano mata a los insectos que lo ingieren o que inhalan su vapor.

Estimula el sistema nervioso central y causa temblor, hiper excitación, pérdida de coordinación, parálisis, y eventualmente, la muerte.

No hay una comprensión cabal de la forma exacta en que actúa. Aunque el lindano actúa sobre el sistema nervioso, no inhibe la enzima colinesterasa, que es la forma de acción primaria de los plaguicidas organofosfatados. En la agricultura, el lindano se utiliza para diversos cultivos, frutas, tratamiento de suelos, tratamiento de semillas y en el ganado. Ejemplo específico de esto es la India, donde se usa para controlar plagas en el algodón, caña de azúcar, calabazas, repollos, cebollas, manzanas, nueces, maíz, okhra, papas, tomates, coliflores, rábanos, pepinos y frijoles. (IPEN (Red Internacional para la Eliminación de Contaminantes), 2008)

### **2.7.2.3 Efectos sobre la salud humana.**

Se sabe que el lindano tiene numerosos efectos, agudos y crónicos, sobre la salud. La exposición aguda afecta principalmente al sistema nervioso central, con síntomas que incluyen vómitos y diarrea, seguidos por convulsiones. La Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer (IARC) señala que ha habido informes sobre inflamación del tracto digestivo, hemorragia, coma y muerte como consecuencias del envenamamiento con lindano.

Los trabajadores que han sufrido una exposición severa al lindano, al DDT o a ambos, en períodos de entre 5 y 13 años, muestran tasas más altas de cirrosis y hepatitis crónica del hígado. Se ha sabido que la exposición a cantidades pequeñas, por contaminación a través de la piel o por ingestión, ha producido dolores de cabeza, náuseas, mareos, temblores y debilidad muscular. Los efectos crónicos de la exposición incluyen alteraciones nerviosas y un aumento del peso del hígado.

Los niños son significativamente más susceptibles a los efectos tóxicos del lindano. IARC ha determinado que el lindano es un posible carcinógeno humano (clase 2B). Por su parte, la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US EPA) lo clasificó también como un posible carcinógeno humano. Por añadidura, se le considera un alterador endocrino capaz de imitar ciertas hormonas en los seres

humanos, y por lo tanto, de alterar las funciones fisiológicas controladas por esas hormonas.

Las investigaciones sugieren que cuando el lindano se utiliza en forma extensiva, y especialmente cuando el ganado vacuno ha estado expuesto a él, la incidencia del cáncer de mamas es más alta. La dosis letal para un adulto estaría en un rango de 0,7 a 1,4 g.<sup>18</sup> Se han reportado muchos casos de envenenamiento humano debido al lindano. (IPEN (Red Internacional para la Eliminación de Contaminantes), 2008)

#### **2.7.2.4 Acciones para reducir riesgo de exposición.**

Evite adquirir lindano para usos domésticos y farmacéuticos.

Insta a su gobierno para que ratifique los Convenios de Estocolmo y de Róterdam, si es que aún no lo ha hecho la lista actualizada de países que la han ratificado e insista para que se incorpore el lindano a la lista del Convenio de Estocolmo.

Averigüe si el lindano tiene registro de utilización en su país y si es así, presione para lograr su prohibición.

Unase a una de las actuales campañas internacionales para prohibir el lindano. (IPEN (Red Internacional para la Eliminación de Contaminantes), 2008)

### **2.7.3 Metoxicloro**

#### **2.7.3.1 Definición**

El metoxicloro, conocido también como DMDT, Marlate® o Metox®, es una sustancia química manufacturada usada actualmente en Estados Unidos para controlar insectos. El metoxicloro es eficaz contra moscas, mosquitos, cucarachas y una gran variedad de otros insectos. Este insecticida es usado en cosechas agrícolas y en el ganado, en alimentos para animales y en recipientes para almacenar cereales. Algunos plaguicidas que contienen metoxicloro se usan para controlar insectos en jardines o en animales domésticos.

El metoxicloro puro es un polvo amarillo-pálido que huele levemente a fruta o a moho. No se evapora fácilmente al aire ni se disuelve fácilmente en el agua. Las

personas que trabajan con plaguicidas generalmente disuelven el metoxicloro en un líquido a base de petróleo y lo aplican en forma de rocío, o lo mezclan con otros productos químicos y lo aplican en forma de polvo. La mayor parte del metoxicloro que entra al ambiente proviene de su uso para matar insectos. La cantidad de metoxicloro que se libera al ambiente tiende a ser más alta durante los períodos de control de insectos (primavera y verano). Cierta cantidad de metoxicloro es liberada al ambiente desde plantas químicas que manufacturan metoxicloro o que manufacturan productos que contienen metoxicloro. Una pequeña cantidad también puede ser liberada desde sitios de desechos peligrosos donde se ha desechado metoxicloro. *(Resumen de Salud Pública, 2021b)*

#### **2.7.3.2 Origen.**

El metoxicloro no ocurre naturalmente en el ambiente. La mayor parte entra al ambiente cuando se aplica a bosques, cosechas agrícolas y al ganado. Puede aplicarse a bosques y a cosechas desde el aire en forma de rocío. Este proceso puede contaminar el suelo y el agua en la cercanía.

El metoxicloro que se libera al aire se depositará eventualmente en el suelo, aunque cierta cantidad puede viajar largas distancias antes de depositarse en el suelo. La lluvia y la nieve hacen que se deposite en el suelo más rápidamente.

Una vez que el metoxicloro se ha depositado en el suelo, se adhiere al suelo. Por esta razón, no se moviliza muy rápidamente de un lugar a otro por sí solo. Sin embargo, las partículas en el suelo que contienen metoxicloro pueden ser movilizadas hacia ríos o lagos por el viento, la lluvia o la nieve que se derrite. La mayor parte permanece en la capa más superficial del suelo, pero algunos de los productos a los que se degrada pueden pasar a suelo más profundo.

Cantidades más pequeñas de metoxicloro pueden depositarse directamente desde el aire en ríos, lagos u otras aguas superficiales. Una vez en el agua, el metoxicloro generalmente se adhiere a sedimentos o a materia orgánica y se deposita en el fondo.

Es degradado en el ambiente por varios procesos. Sin embargo, estos procesos son lentos y la degradación puede tardar meses. En el suelo, cierta parte del metoxicloro

es degradada por bacterias y otros microorganismos, y otra parte es degradada al reaccionar con el agua o con materiales en el suelo.

En el aire y el agua, cierta cantidad de metoxicloro es degradada por la luz solar. (Resumen de Salud Pública, 2021b)

### 2.7.3.3 Efectos en la salud al tener exposición al metoxicloro.

Hay muy pocos estudios acerca de los efectos del metoxicloro en seres humanos. En animales, la exposición a altos niveles de metoxicloro produce efectos sobre el sistema nervioso. Estos efectos incluyen temblores y convulsiones y probablemente son causados por el metoxicloro mismo y no por sus metabolitos. Debido a que el metoxicloro es transformado a metabolitos por el hígado, es improbable que usted experimente efectos sobre el sistema nervioso, a menos que se exponga a niveles muy altos.



*Figura 31. Abuso de los plaguicidas*

Fuente: (Luis Gomero, 2023)

Algunos de los productos de degradación del metoxicloro producen efectos similares a los causados por el estrógeno. Los estrógenos son hormonas naturales importantes para el desarrollo de los órganos sexuales en mujeres, aunque también tienen un papel en el desarrollo del sistema reproductivo de los hombres. Los estudios en animales demuestran que la exposición al metoxicloro afecta adversamente a los ovarios, el

útero y el ciclo de apareamiento en hembras, y los testículos y la próstata en machos. La fertilidad decrece tanto en animales machos como en hembras. Estos efectos pueden ocurrir tanto en animales adultos como en animales en desarrollo expuestos antes o poco después de nacer. Los efectos del metoxicloro sobre la reproducción han sido estudiados principalmente en animales a los que se administró metoxicloro en los alimentos o el agua, sin embargo, se piensa que estos efectos también pueden ocurrir luego de exposición a través de inhalación o contacto del metoxicloro con la piel. Asimismo, es razonable suponer que los efectos sobre la reproducción que se observan en animales también podrían ocurrir en seres humanos expuestos al metoxicloro, pero esto no se ha descrito. (*Resumen de Salud Pública*, 2021b)

No hay suficiente información para determinar con certeza si el metoxicloro produce cáncer. Sin embargo, la mayoría de la información que tenemos parece indicar que el metoxicloro no produce cáncer. Un estudio de un número muy pequeño de personas describió una posible asociación entre exposición al metoxicloro e incidencia de leucemia. Sin embargo, con esta información tan limitada no es posible establecer una conexión definitiva entre la causa de la leucemia y la exposición al metoxicloro.

#### **2.7.3.4 Acciones para reducir riesgo de exposición.**

Lea cuidadosamente y siga las instrucciones en la etiqueta del plaguicida en cuanto al tiempo que debe transcurrir antes de volver a entrar al área tratada. Si usted o un miembro de su familia se siente enfermo luego de usar un plaguicida en su hogar, consulte a su doctor o al centro de control de envenenamientos de su localidad. Los plaguicidas y sustancias químicas para uso doméstico deben guardarse fuera del alcance de los niños para prevenir intoxicaciones accidentales. Siempre guarde los plaguicidas y sustancias químicas para uso doméstico en sus envases con las etiquetas originales.

Nunca guarde plaguicidas y sustancias químicas para uso doméstico en envases que los niños pueden encontrar atractivos, como por ejemplo botellas de soda. Sus niños pueden estar expuestos al metoxicloro si una persona no calificada aplica plaguicidas que contienen metoxicloro en su hogar. Asegúrese de que cualquier persona que usted

contrate tenga licencia, y si es apropiado, esté autorizada para aplicar plaguicidas. Su estado otorga una licencia a cada persona que está calificada para aplicar plaguicidas de acuerdo a las normas establecidas por la EPA. (*Resumen de Salud Pública*, 2021b)

## **2.7.4 Endrín o Endrina**

### **2.7.4.1 Definición**

La endrina es una sustancia sólida casi sin olor que se usó como plaguicida para controlar insectos, roedores y pájaros. Desde el año 1986 la endrina no se manufactura o se vende para uso general en los Estados Unidos.

La endrina es un sólido blanco, cristalino (similar al azúcar o la arena), e inodoro. Se usa como insecticida y para matar roedores

### **2.7.4.2 Origen.**

La endrina no es muy soluble en agua. Niveles muy bajos de endrina se han encontrado tanto en agua subterránea como en agua de superficie. Esto puede deberse a que se adhiere a los sedimentos del fondo de ríos, lagos y otros cuerpos de agua. Generalmente no se encuentra endrina en el aire excepto cuando se aplicó a sembrados durante uso agrícola.

La persistencia de la endrina en el ambiente depende en gran parte de las condiciones locales. Ciertos cálculos indican que la endrina puede permanecer en el suelo más de 10 años. La endrina también puede degradarse cuando se expone a temperaturas altas (230 °C) o a la luz para formar cetona de endrina y aldehído de endrina.

Usted puede exponerse a la endrina en el aire, el agua o el suelo si vive cerca de un sitio de desechos peligrosos. La endrina se ha detectado en 120 (8.4%) de estos sitios. Los niños que viven cerca de sitios de desechos peligrosos pueden exponerse a la endrina que se encuentra en suelos contaminados, si comen tierra. Es raro detectar endrina en agua subterránea o en agua potable

### **2.7.4.3 Efectos en la salud al tener exposición al endrín.**



La endrina y sus productos de degradación son eliminados del cuerpo rápidamente en la orina y las heces, generalmente en unos pocos días. Hay evidencia que indica que cuando usted se expone a niveles altos de endrina, cantidades pequeñas de endrina pueden permanecer en el tejido graso del cuerpo.

La exposición a la endrina puede producir una variedad de efectos perjudiciales entre los que se incluyen efectos graves del sistema nervioso central (el cerebro y la médula espinal) y la muerte. La ingestión de cantidades altas de endrina (más de 0.2 mg/kg de peso) puede producir convulsiones y la muerte en materia de minutos u horas. Los síntomas de envenenamiento con endrina consisten en dolor de cabeza, mareo, nerviosidad, confusión, náusea, vómitos y convulsiones. Algunos de estos síntomas pueden persistir durante semanas después de exposición a dosis altas de endrina. En trabajadores que se han expuesto a la endrina a través de inhalación o de contacto con la piel durante su manufactura o aplicación sobre terrenos agrícolas, no se han detectado efectos de largo plazo.

Los estudios en animales han confirmado que la endrina afecta principalmente al sistema nervioso, probablemente debido a que el cerebro y otras partes del sistema nervioso tienen un alto contenido de grasa y la endrina tiende a permanecer en tejido graso. En algunos estudios en animales se han observado defectos de nacimiento, especialmente defectos en la formación de los huesos. Aunque no hay datos acerca de defectos de nacimiento en seres humanos, la evidencia en roedores sugiere que la exposición a dosis altas de endrina durante la preñez puede afectar la salud del feto. (ATSDR Agencia para sustancias tóxicas y el registro de enfermedades, 1996)

#### **2.7.4.4 Acciones para reducir riesgo de exposición.**

La advertencia de por vida para niños y adultos es de 0.002 mg/L. Para proteger la salud de seres humanos, la EPA recomienda un nivel máximo de 0.001 mg/L para endrina en aguas ambientales. (ATSDR Agencia para sustancias tóxicas y el registro de enfermedades, 1996)

## **2.8 Eliminación de Plaguicidas en el agua.**

Existen diferentes métodos para la remoción de plaguicidas se presentan algunos a continuación.

### **2.8.1 Ultrafiltración.**

La ultra filtración se realiza por medio de membrana de tamaño de poro aproximado entre 0,002 y 0,1  $\mu\text{m}$  y ejercicio de presión para que el agua atraviese la membrana. Con este tamaño de poro pueden retenerse moléculas con pesos moleculares mayores a 10.000 daltons y se opera a presiones que oscilan entre 200 y 700 kPa. La ultra filtración impide el paso de bacterias y la mayoría de los virus, pero es permeable a algunos tipos de virus y de materia disuelta, como sustancias húmicas. Se recomienda la desinfección con cloro después de la ultra filtración. De las especies biológicas se retienen protozoarios, bacterias y la mayoría de los virus conocidos. En cuanto a especies metálicas como quelatos de hierro y manganeso requieren un proceso previo de separación para evitar la descomposición de la membrana. Las membranas para ultrafiltración se fabrican en forma tubular o de hojas planas con las que se elaboran los filtros. (Araque Arellano, 2022, p. 78)

#### **a) Ventajas**

Este tipo de procesos puede ser completamente automatizado, no requiere el uso de compuestos químicos, produce un agua de calidad buena y constante y es de manejo sencillo. La mayor parte del material coloidal, especies de alto peso molecular, material particulado, especies orgánicas e inorgánicas son retenidos en estas membranas. (Organización Panamericana de la salud (OPS), 2004)

#### **b) Desventajas**

El costo de inversión y operación no es bajo pues se renueva continuamente la membrana. La ultrafiltración está limitada por el proceso de descomposición de la membrana, ya mencionado en relación a la micro filtración, y por el costo relativamente elevado. Es permeable a algunos tipos de virus y de materia disuelta, como sustancias húmicas

### 2.8.2 Ósmosis inversa

Este proceso, también conocido como hiperfiltración, se basa en el uso de una membrana semipermeable que permite el paso de agua, mas no de iones disueltos. La membrana tiene poros menores a  $10 \text{ \AA}$  (1 nm). El agua es sujeta a una alta presión que la obliga a pasar a través de la membrana; todas las sales disueltas permanecen en una solución que se concentra de sales, motivo por el cual se le conoce como salmuera o agua de rechazo o retrolavado.

La proporción de volumen entre el agua de rechazo y el agua producida da una idea de la eficiencia del sistema.

#### a) Ventajas

Es un sistema automatizado, no requiere de muchos operadores, para su funcionamiento constante.

Presenta eficiencias remocionales de contaminantes elevadas, tanto para contaminantes orgánicos, como para contaminantes inorgánicos.

No requiere mantenimiento muy frecuente.

#### b) Desventajas

Si bien la ósmosis inversa puede remover prácticamente cualquier contaminante orgánico o inorgánico del agua, tiene como desventaja los altos costos de capital y de operación necesarios, el manejo del agua de rechazo puede convertirse en un problema pues los contaminantes se concentran en ésta, los pretratamientos son indispensables, las membranas tienen la tendencia a descomponerse y el agua de rechazo puede llegar a ser 25 a 50% del caudal de alimentación, lo que significa un gran desperdicio de agua. (Leal Ascencio, 2023, p. 85)

### 2.8.3 Ozonización.

El ozono es un gas inestable que se produce cuando moléculas de oxígeno se disocian en oxígeno atómico y posteriormente colisionan con otra molécula de oxígeno. La fuente de energía para disociar la molécula de oxígeno puede ser producida comercialmente y también puede ocurrir de forma natural. Algunas fuentes naturales

para la producción de ozono son la luz UV procedente del sol y los rayos durante una tormenta.

El ozono es una sustancia química conocida por su alto poder oxidante que se descompone en el agua formando radicales hidroxilos, los que resultan ser un oxidante aún más fuerte que el ozono en sí, induciéndose de esta forma lo que se denomina oxidación indirecta o ataque selectivo de ciertos grupos funcionales de moléculas orgánicas a través de un mecanismo electrofílico.

El uso del ozono evita la formación de trihalometanos compuestos cancerígenos y mutágenos que genera el cloro. El ozono actúa la mayoría de las veces como si fuera una molécula deficiente de electrones, por lo que es atraída por las moléculas que poseen exceso de electrones a las que oxida. Otra forma de actuar es rompiendo las otras moléculas (ozonólisis), rompiendo dobles enlaces y anillos aromáticos lo que lo hace muy eficaz para la eliminación de los olores en las plantas de tratamiento de aguas residuales.

El método más ampliamente utilizado para la generación de ozono de forma comercial para el tratamiento de aguas son las descargas en corona, o también conocido como “descargas eléctricas silenciosas”

Consiste en pasar oxígeno en forma gaseosa a través de dos electrodos separados por un dieléctrico y un hueco de descargas. 41 Se aplica un voltaje a los electrodos, causando que un electrón fluya a través del hueco de descargas. Esos electrones suministran la energía para disociar las moléculas de oxígeno, produciéndose así la formación de ozono.

La O<sub>3</sub> se puede efectuar de forma no catalítica o catalítica. En el primer caso, la O<sub>3</sub> se realiza en medio alcalino para aumentar la velocidad de descomposición del ozono, incrementando así la velocidad de generación de radicales hidroxilos. La generación de radicales hidroxilos puede ser aumentada con la adición de peróxido de hidrógeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), ampliando la concentración de los mismos en el agua. En el segundo caso, la actividad catalítica está directamente relacionada con la capacidad de descomposición de ozono disuelto y la consiguiente generación de radicales

hidroxilos, aunque el mecanismo implicado en la O<sub>3</sub> catalítica es aún motivo de discusión. (Araque Arellano, 2022, p. 104)

**c) Ventajas**

Las principales ventajas del ozono frente otros oxidantes, es que no persiste en el efluente tratado ningún compuesto químico que deba ser eliminado posteriormente, no produce sólidos en disolución y no se ve afectada por pequeñas oscilaciones en el pH y además la oxigenación del agua residual que resulta del uso del ozono en la desinfección constituye una ventaja adicional.

Tras la descomposición, el único residuo es el oxígeno disuelto.

La actividad biocida no está influenciada por el pH. (Araque Arellano, 2022, p. 104)

**d) Desventajas**

El coste inicial de los equipos de ozonización es elevado.

La generación de ozono requiere mucha energía y debe generarse in situ.

Altamente corrosivo y tóxico.

Se necesitan filtros biológicamente activados para eliminar el carbono orgánico asimilable y los DBP biodegradables.

Se descompone rápidamente en un pH y temperaturas altas.

No proporciona ningún residuo.

Requiere un mayor nivel de mantenimiento y habilidad del operador. (Araque Arellano, 2022, p. 104)

#### **2.8.4 Carbón activado**

Los filtros de carbón activado son utilizados cuando se desean remover malos olores, sabores o color desagradable del agua, compuestos orgánicos volátiles, plaguicidas e incluso radón. El carbón activado tiene una gran área superficial y por lo tanto alta capacidad de adsorción de compuestos, que quedan adheridos a la superficie del

mismo. Estos filtros son económicos, fáciles de mantener y operar, por lo que su uso es muy común.

El carbón activado es una sustancia que adsorbe sustancias químicas orgánicas. Esto significa que elimina las toxinas y otros contaminantes del agua uniéndose a ellos para que no entren en el organismo. Funciona por adsorción, que es cuando una molécula se une a otra molécula de una manera que aumenta la masa de las moléculas, pero no cambia su identidad química. (Araque Arellano, 2022, p. 88)

El carbón activado o carbón activo es un elemento poroso que atrapa compuestos, en primer lugar, orgánicos, presentes en un gas o en un líquido. Lo hace con tal efectividad, que es el purificante más utilizado por el ser humano.

Por otro lado, los compuestos orgánicos se derivan del metabolismo de los seres vivos, y su estructura básica consiste en cadenas de átomos de carbono e hidrógeno. Entre ellos se encuentran todos los derivados del mundo vegetal y animal, incluyendo el petróleo y los compuestos que se obtienen de él.

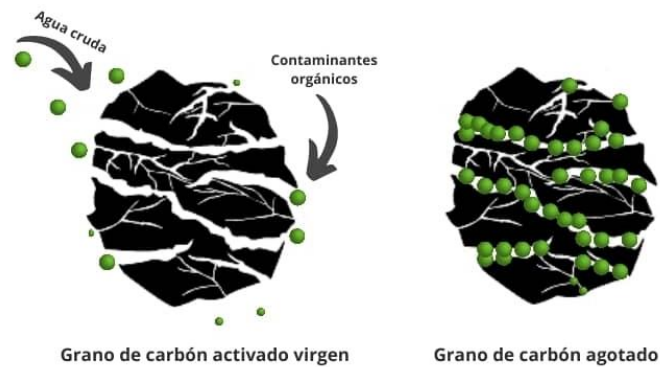
A la propiedad que tiene un sólido de adherir a sus paredes una molécula que fluye, se le llama “adsorción”. Al sólido se le llama “adsorbente” y a la molécula, “adsorbato”.(Carbotecnia, 2024)

Después de la filtración que tiene por objeto retener sólidos presentes en un fluido, no existe un sólo proceso de purificación con más aplicaciones que el carbón activado.

#### **2.8.4.1 Potabilización de agua con carbon activado**

El carbón retiene plaguicidas, grasas, aceites, detergentes, subproductos de la desinfección, toxinas, compuestos que producen color, compuestos originados por la descomposición de algas y vegetales o por el metabolismo de animales.

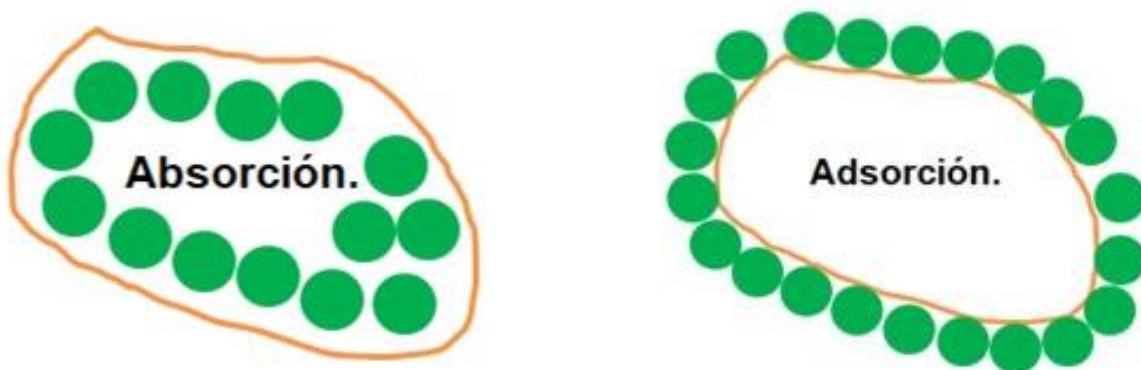
El carbón activado es un medio de adsorción, su función es adsorber moléculas orgánicas en sus micro poros. Se activa mediante procesos térmicos o químicos para ampliar su capacidad de adsorción (para lograr que se formen los poros).(Carbotecnia, 2024)



*Figura 32.* Explicación de cómo funciona el carbón activado.

Fuente: (Carbotecnia, 2024)

Por otro lado, el carbón activado es adsorbente no absorbente, como se muestra en la segunda imagen:



*Figura 33.* Diferencia de adsorción y absorción.

Fuente: (Carbotecnia, 2024)

Tipo de carbón activado más adecuado para purificar el agua

Para empezar, debemos tener en cuenta que el carbón activado se presenta como el mejor aliado para los tratamientos destinados a purificar gases o agua, en tratamientos de aguas residuales, etc. En definitiva, este elemento de extraordinarias capacidades filtrantes y de adsorción, consigue remover todo tipo de partículas orgánicas (y en algunos casos inorgánicas) del objeto de tratamiento.

Pero los hay de muchos tipos y no todos los carbones activos presentan el mismo grado de porosidad ni el mismo formato. Por tanto, el compuesto a tratar requerirá uno u otro en función de sus capacidades. (Carbotecnia, 2024)

**a) Ventajas**

Estos filtros son económicos, fáciles de mantener y operar, por lo que su uso es muy común. Entre las limitaciones que presentan es que deben recibir mantenimiento frecuente y periódico para evitar obstrucción de tuberías. Es difícil percibir cuándo un filtro ha dejado de funcionar adecuadamente, por lo que una de sus limitaciones es que pueden haber dejado de funcionar y que el usuario no se haya percatado de ello. (Leal Ascencio, 2023, p. 65)

**b) Desventajas**

Entre las limitaciones que presentan es que deben recibir mantenimiento frecuente y periódico para evitar obstrucción de tuberías. Es difícil percibir cuándo un filtro ha dejado de funcionar adecuadamente, por lo que una de sus limitaciones es que pueden haber dejado de funcionar y que el usuario no se haya percatado de ello. Otras limitaciones están relacionadas a que no remueven bacterias, metales, nitratos, pero principalmente que generan un residuo el carbón ya saturado- que no es de fácil disposición, especialmente si el agua contiene compuestos orgánicos tóxicos que son retenidos en el filtro de carbón activado. (Leal Ascencio, 2023, p. 66)

## **2.9 Comparación de tecnologías de tratamiento**

En la tabla siguiente se presenta una descripción de las capacidades y limitaciones de las tecnologías mencionadas. Como se observa, los métodos convencionales de filtración son de manejo sencillo, costos moderados y eficiencias medias. Por otro lado, los métodos de filtración por membranas son de manejo más complicado, con costos elevados y eficiencias altas. Las limitaciones se indican en cada rubro pero en general puede decirse que se agrupan en la generación de residuos que pueden llegar a considerarse residuos peligrosos, descomposición de las membranas por presencia de bacterias, desperdicio de agua por la generación de salmuera o agua de rechazo y recrecimiento de bacterias.



**Tabla 15. Comparación de tecnologías de tratamiento**

	<b>Tecnología</b>	<b>Aplicación</b>	<b>Manejo</b>	<b>Costo</b>	<b>Limitantes</b>
<b>Filtración convencional</b>	Filtros de arena	Sedimentos suspendidos. remoción media de bacterias y materia orgánica	Sencillo	Costo bajo de inversión en infraestructura y de manejo, costo elevado de terreno	Remoción de 80- 90% de bacterias y 60% de materia orgánica. requiere gran superficie
	Filtros de tierras diatomáceas	Remoción de turbiedad y bacterias	Sencillo	Costo bajo de inversión y de manejo	Útiles en caso de poca turbiedad y bajos conteos bacterianos, no retiene materia orgánica
	Filtros de carbón activado	Remoción de materia orgánica y bacterias	Sencillo	Costo bajo de inversión, costo medio de mantenimiento	Generación de residuos, continua renovación del filtro, no remueve bacterias nitrato
<b>Desinfección</b>	Cloro	Desinfección	Sencillo con medidas adicionales de seguridad	Costo bajo de inversión y medio de mantenimiento	Generación de subproductos

	Cloramina	Desinfección	Sencillo con medidas adicionales de seguridad	Costo medio de inversión y de mantenimiento	Poder desinfectante limitado
	Ozono	Desinfección	Manejo complejo	Costo elevado de operación	Escaso poder residual
	Luz ultravioleta	Desinfección	Operación y mantenimiento sencillo	Costo medio de inversión y de operación	No previene recrecimiento, no genera poderresidual
Filtros de membrana	Microfiltración	Remoción de sólidos disueltos algunas especies bacterianas	Operación sencilla	Costo moderado de inversión y operación	Desperdicio de agua, descomposición de la membrana
	Ultrafiltración	Remueve virus, bacterias y materia orgánica	Manejo sencillo, posible automatización	Costo elevado de inversión y operación	Desperdicio de agua, descomposición de la membrana
	Nanofiltración	Remueve virus, bacterias y materia orgánica	Manejo sencillo, automatización posible	Costo muy elevado de inversión y operación	Desperdicio de agua, descomposición de la membrana

	Ósmosis inversa	Remueve virus, bacterias, parásitos y materia orgánica e inorgánica	Automatizado	Costo muy elevado de inversión y operación	Desperdicio de agua, descomposición de la membrana requiere manejo de salmuera
--	-----------------	---	--------------	--	--

Fuente: (Leal Ascencio, 2023)

**Tabla 16. Efectividad general de los procesos de tratamiento de agua para remoción de contaminantes solubles .**

Características	Aireación	Coagulación o sedimentación	Ablandamiento con cal	Oxidación química y	Carbón granular activado	Carbón pulverizado	Alúmina activada
<b>Inorgánicos</b>							
Antimonio *							
Arsénico (+3)		<b>XO</b>	<b>XO</b>				<b>X</b>
Arsénico (+5)		<b>X</b>	<b>X</b>				<b>X</b>
Bario			<b>X</b>				
Cadmio		<b>X</b>	<b>X</b>				
Cromo (+3)		<b>X</b>	<b>X</b>				
Cromo (+6) *							
Cianuro				<b>X</b>			
Fluoruro			<b>X</b>				<b>X</b>
Plomo *							
Mercurio (inorgánico)			<b>X</b>				
Níquel			<b>X</b>				
Nitrato-nitrito *							

Selenio (+4)		<b>X</b>					<b>X</b>
Selenio (+6)							<b>X</b>
<b>Orgánicos</b>							
Volátiles orgánicos	<b>X</b>				<b>X</b>		
Orgánicos sintéticos					<b>X</b>	<b>X</b>	
Pesticidas / herbicidas					<b>X</b>	<b>X</b>	
Carbono orgánico Disuelto		<b>X</b>			<b>X</b>	<b>X</b>	
<b>Parámetros que causan problemas estéticos</b>							
Dureza			<b>X</b>				
Hierro		<b>XO</b>	<b>X</b>				
Manganeso		<b>XO</b>	<b>X</b>				
Sólidos Totales Disueltos *							
Cloruro *							
Sulfato *							
Zinc			<b>X</b>				
Color		<b>X</b>		<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	
Olor y Sabor	<b>X</b>			<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	

Fuente:(Ministerio de Servicio y obras públicas., 2004)

### **CAPÍTULO III INGENIERÍA DEL PROYECTO**

#### **3.1.1. Ubicación geográfica del proyecto.**

El proyecto se encuentra ubicado en el barrio Miraflores, perteneciendo a la zona urbana de la provincia Cercado del departamento de Tarija- Bolivia.

Mapa 1. Tarija, Bolivia.



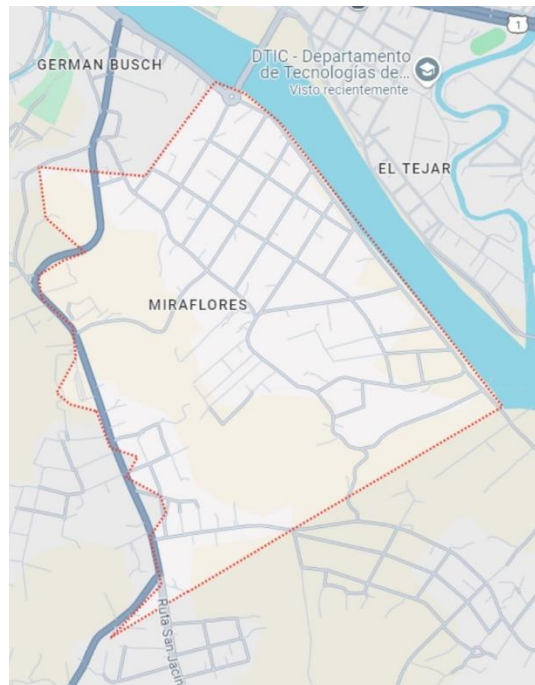
Fuente: (*Bolivia Tarija - Mapa Sof.net*, s. f.)

Mapa 2. Cercado, Tarija



Fuente: (Sistemas et al., 2020)

Mapa 3. Barrio Miraflores



Fuente: Google maps

### 3.1.2. Latitud y Longitud.

El presente proyecto se encuentra ubicado en la ciudad de Tarija, provincia Cercado. El barrio Tabladita entre las coordenadas geográficas:

Latitud Sur	Longitud Oeste
1. - 21°32'57,18"S	64°44'8.67"O
2. - 21°32'55.55"S	64°44'7,57"O
3. - 21°32'54.89"S	64°46'11.06"O
4. - 21°32'56.17"S	64°46'11.90"O

Tiene unos 1905 m.s.n.m. como altitud promedio.

### 3.1.3. Historización.

La planta de tratamiento de agua potable de San Jacinto que recibía agua desde el embalse San Jacinto y debido a problemas de contaminación con plaguicidas dejó de operar desde

febrero del año 2006, sin embargo, al ser una planta de tratamiento convencional y considerando el regular estado físico de la infraestructura, podría entrar en operación nuevamente al adecuarla implementando una tecnología apropiada para la remoción de plaguicidas.

### **3.2. Descripción de los componentes de la planta potabilizadora de agua de San Jacinto.**

La PTAP de San Jacinto es de tipo convencional, tiene dos líneas de tratamiento, para tratar parámetros de calidad que no necesitan de procesos avanzados, a continuación, se describe cada componente de la misma, y la función que cumple en el tratamiento.



*Figura 34.* Componentes de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de San Jacinto.

Fuente: Google Earth.



*Figura 35.* Plano esquemático de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de San Jacinto.

Fuente: Elaboración propia



### **3.1.1. Laboratorio.**

La planta cuenta con un laboratorio para realizar ensayos que determinen la cantidad óptima de químicos para realizar el tratamiento del agua, determinar parámetros de control de calidad de la misma a la entrada y salida de cada componente.

### **3.1.2. Mezcla Rápida.**

Se tienen 3 tanques para el primer proceso, donde en los tanques 2 y 3 se agrega mediante agitación sulfato de aluminio al agua, y en el 1 se agrega hidróxido de cal (Cal apagada), estos químicos se dosifican en los tanques de acuerdo a la turbiedad y pH con la que llega el agua.

El agua llega mediante bombeo del Lago San Jacinto, ingresando a la Planta a través de un canal de hormigón que tiene una rampa donde se realiza la mezcla rápida, es decir se añaden los químicos ya diluidos mediante una agitación rápida para producir una mezcla homogénea con el agua, el sulfato de aluminio desestabiliza la carga eléctrica de las partículas sólidas en suspensión, a este proceso lo llamamos coagulación.

Posteriormente el agua coagulada es dirigida a través de un canal hacia la unidad de floculación.

### **3.1.3. Floculación.**

El diseño del floculador es de flujo horizontal, se tienen dos unidades, cada una diseñada con tres tramos de ancho diferente, y el mismo largo, estos tienen pantallas de madera con un espesor de una pulgada, en este componente se proporciona una agitación lenta con la velocidad del flujo del agua que va decreciendo, en cada tramo con el fin de asegurar el crecimiento del flóculo y su conservación, hasta que la suspensión de agua y sus flóculos salgan del mismo.

### **3.1.4. Sedimentación.**

Los sedimentadores de alta tasa son de flujo ascendente, donde los coágulos son detenidos por las pantallas de PVC de 1cm de espesor dispuestas paralelamente a 60° de inclinación, decantando en el fondo falso, entonces al agua clarificada sube e ingresa por los orificios de las tuberías de fierro fundido que evacuan en un canal que conecta al siguiente componente,

filtros, mientras los sedimentos llegan al fondo falso, donde posteriormente, de manera periódica son evacuados.

#### **3.1.5. Filtración.**

Consta de un canal dividido por un tabique tipo vigueta.

En este se presenta una filtración rápida descendente, donde el flujo atraviesa las capas de los filtros; antracita con un espesor de capa de 50cm, arena con 25cm, y grava con 25cm.

Y llegue a un fondo falso para su posterior evacuación al siguiente componente.

#### **3.1.6. Desinfección.**

Se realiza la desinfección con cloro, misma que se da en una Cámara de Desinfección donde se debe ingresar con indumentaria de seguridad ya que el gas cloro, es muy tóxico para el ser humano. En este lugar se inyecta gas cloro en dosificaciones precisas al agua ya tratada con el fin de matar todas los patógenos.

#### **3.1.7. Almacenamiento.**

Consta de 2 tanques de almacenamiento con una capacidad de 900m<sup>3</sup> para su posterior distribución a la población beneficiaria.

Todas las fotografías mostradas son actuales, tomadas en una visita a la PTAP de San Jacinto, para ver sus condiciones.

Debido a que esta planta es de **tipo convencional**, trata parámetros básicos como:

- Color
- Olor
- Turbiedad
- pH
- Sólidos sedimentables

La Universidad Autónoma Nacional de México el año 2006 realizó un estudio a las aguas del lago San Jacinto, donde los resultados indican que la PTAP de San Jacinto descarga un efluente contaminado que sobrepasaba los límites permisibles en cuanto a presencia de residuos de plaguicidas y pesticidas que pueden ocasionar daños importantes en la

salud humana. Por este motivo la Planta de Tratamiento de agua potable de San Jacinto es suspendida de manera temporal.

### **3.2 Situación del estado actual de las instalaciones de la planta**

Se realizó una visita a la planta potabilizadora de San Jacinto para hacer un diagnóstico de sus condiciones estructurales

Se plantean posibles soluciones para cada situación que requiera mantenimiento correctivo en todas las unidades de tratamiento, para su posible puesta en marcha.

#### **3.2.1 Laboratorio y mezcla rápida.**

##### **Diagnóstico:**

El laboratorio de la planta de tratamiento de agua potable se encuentra en buenas condiciones estructurales, gracias a su diseño como un ambiente cerrado que ha permitido mantener la integridad de la estructura frente a factores ambientales. A diferencia de otras unidades, la humedad no ha generado problemas significativos en este espacio, lo que ha contribuido a la conservación de sus superficies y materiales. Sin embargo, a pesar de la solidez estructural, se ha observado la acumulación de suciedad y polvo en diversas áreas del laboratorio, lo que puede afectar tanto la operatividad como la calidad de los análisis que se realizan en este espacio. La limpieza y desinfección periódica de los equipos y superficies es fundamental para mantener un entorno de trabajo adecuado y prevenir la contaminación de muestras o materiales de análisis.

En cuanto al estado de los dosificadores y del canal de mezcla rápida, ambos componentes también se encuentran en condiciones estructurales favorables, lo que sugiere que no presentan daños significativos que puedan afectar su rendimiento o seguridad operativa. El canal de mezcla rápida, esencial para la homogeneización de los productos químicos en el proceso de tratamiento, mantiene su funcionalidad básica. No obstante, se ha detectado la presencia de suciedad y acumulación de polvo en estas áreas, lo cual puede interferir con la eficiencia de la mezcla y contribuir a la formación de depósitos en las superficies internas de los equipos. Para mitigar estos

problemas, se recomienda una limpieza exhaustiva de todos los elementos involucrados en el proceso de mezcla rápida, incluyendo los dosificadores, las tuberías y los conductos.

Adicionalmente, se observan manchas en las paredes externas del laboratorio y de la zona de mezcla rápida. Estas manchas pueden ser indicativas de filtraciones menores, condensación o derrames de productos químicos. Aunque no representan un riesgo estructural inmediato, la presencia de estas manchas puede generar un ambiente visualmente deteriorado y afectar la percepción de la limpieza y el orden dentro de la planta. Se sugiere investigar el origen de las manchas y realizar una limpieza detallada, seguida de una posible aplicación de recubrimientos impermeabilizantes en las superficies expuestas para evitar futuros problemas.

Por otro lado, los equipos y materiales del laboratorio de esta planta han sido trasladados o redistribuidos a otros laboratorios de COSAALT, debido a suspensión de la operatividad del laboratorio original. Se recomienda evaluar la necesidad de restablecer el equipo necesario para su funcionamiento completo, asegurando que se cuente con las herramientas adecuadas para continuar con el monitoreo y análisis de la calidad del agua de manera eficaz.

En conclusión, aunque la estructura del laboratorio y el canal de mezcla rápida se encuentran en buenas condiciones generales, es necesario realizar una limpieza a fondo en ambas áreas para eliminar el polvo y la suciedad acumulados, así como atender las manchas en las paredes externas. Además, sería recomendable revisar la disposición y operatividad de los equipos de laboratorio y asegurar que el espacio esté totalmente equipado para garantizar su función en el control de calidad del agua. Implementar estas acciones contribuirá a mantener altos estándares de calidad y eficiencia en el proceso de tratamiento de agua potable.



*Figura 36.* Unidad de laboratorio y mezcla rápida.

Fuente: Elaboración propia.

### **Medidas correctivas:**

Para poder poner en funcionamiento la planta, en estas unidades se sugiere:

#### **Limpieza profunda al laboratorio.**

Sacar todo el equipo y material que se tenga en laboratorio, para poder limpiar de manera eficiente el ambiente y los mesones de laboratorio, desinfectar todo los equipos así como el repintado de paredes y techo.

#### **Verificación de equipamiento y material.**

Se debe verificar que se cuenta con el equipamiento y material necesario para realizar los ensayos de calidad del agua de la planta, en caso de no contar con lo establecido para llevar a cabo estas actividades, realizar la implementación de los mismos.

#### **Limpieza de la unidad de mezcla rápida.**

Se debe realizar una limpieza profunda de los tanques de dosificación, el ambiente en el que se encuentran, también de los conductos dosificadores, y el canal de mezcla rápida de manera superficial.

#### **Revisión de la funcionalidad de los dosificadores**

Se debe verificar que los dosificadores funcionen de manera óptima para garantizar que el proceso de coagulación se lleve a cabo como se requiere, a su vez verificar que los difusores se encuentren en buenas condiciones.

### **3.2.1 Floculadores.**

#### **Diagnóstico:**

La estructura de hormigón que conforma la unidad de floculación de esta planta de tratamiento se encuentra en un estado de conservación general adecuado. Los elementos de hormigón, que constituyen el núcleo de la resistencia estructural de los floculadores, no presentan fisuras visibles ni signos evidentes de desgaste crítico, lo que sugiere que la capacidad de carga de la unidad permanece intacta. No obstante, el estado de abandono de la planta ha propiciado la aparición de manchas en las paredes internas, debido al agua estacada que dieron lugar al crecimiento de moho, polvo, y acumulación de residuos de procesos previos. Estas manchas, si bien son de carácter superficial, indican la necesidad de implementar un programa de limpieza y mantenimiento preventivo para evitar un mayor deterioro que pudiera afectar la integridad de la superficie de hormigón a largo plazo.

En cuanto a los soportes de hierro, que juegan un rol esencial en la estructura y en el sostenimiento de ciertos elementos mecánicos de la unidad de floculación, se observa que han comenzado a corroerse, con una capa visible de óxido que ha afectado su apariencia y potencialmente su resistencia. Algunos soportes presentan deformaciones y dobleces, lo que podría haber sido causado por la expansión de la corrosión o por cargas externas imprevistas durante el tiempo en desuso. Este nivel de oxidación y deformación sugiere que la estructura de los soportes de hierro requiere intervención urgente, tanto en términos de limpieza y eliminación del óxido como en la aplicación de tratamientos anticorrosivos para frenar el avance de la corrosión. Además, aquellos soportes que se encuentran doblados deberían ser reemplazados o reparados para restaurar su funcionalidad y resistencia, asegurando así la estabilidad y durabilidad de la unidad.

Los tabiques de madera, previamente integrados a la estructura como divisores o elementos de control, fueron desmontados y guardados con el objetivo de protegerlos del deterioro que el abandono de la planta pudo haberles ocasionado. Esta medida de precaución ha sido adecuada, ya que evita la exposición de la madera a factores que podrían acelerar su desgaste, como la humedad y la acumulación de polvo. No obstante, se recomienda revisar los tabiques almacenados para verificar que su estado no haya sufrido deterioro significativo durante el almacenamiento, y considerar la aplicación de tratamientos protectores antes de su reinstalación, de manera que se preserve su vida útil.

En conclusión, aunque la estructura de hormigón de los floculadores se mantiene en condiciones estables, el estado de oxidación de los soportes de hierro y las manchas en las paredes internas requieren una intervención para evitar que estos problemas superficiales se conviertan en factores de degradación estructural. Se sugiere realizar una limpieza profunda, aplicar tratamientos anticorrosivos a los soportes de hierro, y revisar los tabiques de madera antes de proceder a la reactivación de la planta. Estas acciones contribuirán a prolongar la vida útil de los floculadores y asegurar la operatividad y eficiencia de la planta de tratamiento de agua potable en su conjunto.



*Figura 37.* Unidad de Floculación con placas de madera.

Fuente: Elaboración propia

Para su puesta en funcionamiento se necesita realizar las siguientes acciones:

### **Limpieza y pintado de las paredes interiores y fondo**

Para esto se debe prepararla, lijando la superficie de la pared para eliminar cualquier suciedad o manchas.

Después, aplicar un sellador, para sellar los poros abiertos en la pared. Esto ayudará a evitar que la pintura se filtre a través de los poros y mejorará el acabado final.

Posteriormente aplicar una capa de imprimación para asegurar que la pintura se adhiera correctamente a la superficie. Utilice una imprimación acrílica para mejores resultados.

Siguiendo estos pasos, se puede preparar una pared con humedad para pintar correctamente.

Esto ayudará a asegurar que el acabado final sea estable y duradero.

Elegir una pintura especialmente diseñada para superficies húmedas, como una pintura impermeabilizante.

Aplicar la pintura con una brocha o un rodillo para una terminación uniforme.

Si la humedad persiste, aplique un recubrimiento de pintura selladora para asegurar que la humedad no dañe la pintura.



*Figura 38.* Toma de mediciones de los floculadores

Nota: Elaboración propia



### - **Limpieza y extracción de oxidación.**

Existen soportes metálicos a los que se asegura el extremo interno de la pantalla, que se encuentran oxidados.

Desmontar por piezas para empezar.

Luego, limpiar de forma individualizada y profunda cada pieza.

Seca perfectamente antes de pasar a la siguiente fase.

Dependiendo de la afectación de óxido que tenga la pieza a restaurar y el tamaño se debe elegir un producto decapante que se aplicará y se dejará actuar un tiempo antes de poder limpiar y eliminar el óxido con facilidad.

Con un enérgico y profundo cepillado/lijado se eliminará el óxido, dependiendo del estado que presente la pieza que vas a restaurar y poner a punto.

### - **Colocado de las pantallas de madera**

Incluir en los costos de reposición un ítem para la adquisición de las pantallas de madera de los floculadores, se deben tomar en cuenta las medidas establecidas en los planos.



#### **3.2.1 Sedimentadores.**

##### **Diagnóstico:**

La estructura de hormigón que constituye los sedimentadores de esta planta de tratamiento de agua potable se encuentra en un estado favorable en cuanto a su integridad estructural. Las superficies de hormigón aparentan mantener su resistencia y estabilidad, lo que es positivo para el funcionamiento del proceso de sedimentación. Sin embargo, las condiciones actuales de mantenimiento de estos sedimentadores presentan una serie de problemas que deben atenderse para asegurar la eficacia de esta etapa del tratamiento y la durabilidad de los componentes.

En el análisis de las unidades, se observa una situación heterogénea: algunas contienen placas de sedimentación instaladas, pero actualmente no tienen agua, lo cual puede exponer las placas a condiciones de sequedad que aceleren el deterioro de los materiales. En contraste, otras unidades que contienen agua carecen de las placas de sedimentación y cuentan con placas están cubiertas de moho, lo que comprometería el funcionamiento de estos sedimentadores para realizar el proceso de clarificación del agua. Este escenario sugiere la necesidad de una revisión exhaustiva de la operatividad de cada unidad para asegurar que estén equipadas y en condiciones óptimas.

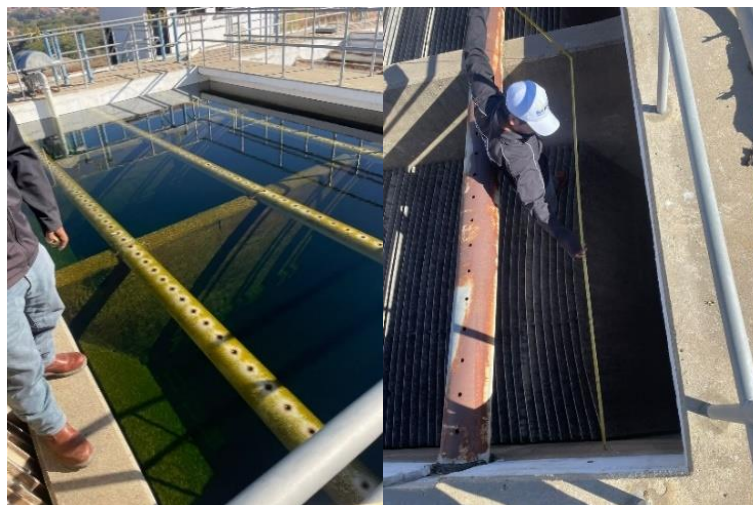
Las paredes internas de los sedimentadores presentan manchas y una notable presencia de moho, resultado probable del contacto continuo con la humedad y la falta de un mantenimiento adecuado. El crecimiento de moho no solo afecta la apariencia de los sedimentadores, sino que también representa un riesgo potencial de contaminación en el proceso de tratamiento de agua. Este problema puede abordarse mediante una limpieza profunda y la aplicación de tratamientos antifúngicos y antimicrobianos en las superficies de hormigón.

Respecto a las placas laminares de asbesto-cemento, se ha observado que una parte significativa de ellas se encuentra almacenada en el exterior, expuesta a las inclemencias del clima. Esta exposición directa a la intemperie ha ocasionado daños visibles, con algunas placas rotas, pandeadas, y otras que presentan acumulación de suciedad. La exposición prolongada de estas placas al sol, la lluvia, y cambios de temperatura ha comprometido su integridad, lo que podría reducir la eficiencia del

proceso de sedimentación si se reinstalaran en este estado. Las placas restantes, que aún están en su lugar en las unidades, también presentan suciedad acumulada, lo cual podría obstruir su correcto funcionamiento y reducir la calidad del agua tratada. Se recomienda que las placas almacenadas se guarden en un lugar cubierto, libre de humedad, y que todas las placas instaladas y almacenadas se limpien o, en caso de estar muy dañadas, se reemplacen por nuevas unidades fabricadas con materiales alternativos que sean más duraderos y seguros.

Por último, se ha detectado que algunas de las tuberías de hierro galvanizado que integran el sistema de los sedimentadores presentan oxidación. Este tipo de corrosión puede comprometer la funcionalidad de las tuberías, reducir la vida útil de los componentes y, en algunos casos, introducir partículas de óxido en el flujo de agua, afectando la calidad del proceso de tratamiento. Para mitigar estos riesgos, se recomienda realizar una limpieza de las áreas oxidadas y aplicar un recubrimiento anticorrosivo o evaluar la sustitución de las tuberías más deterioradas para asegurar una mayor durabilidad y resistencia.

En conclusión, aunque la estructura de hormigón de los sedimentadores se encuentra en buenas condiciones, es necesario llevar a cabo un plan integral de mantenimiento y reparación. Este plan debería incluir la limpieza y tratamiento antifúngico de las paredes, la protección adecuada y posible sustitución de las placas laminares de asbesto-cemento, así como la intervención en las tuberías de hierro galvanizado. Estas acciones son esenciales para restaurar y mantener la operatividad óptima de los sedimentadores, prolongando así su vida útil y asegurando la calidad del agua tratada.

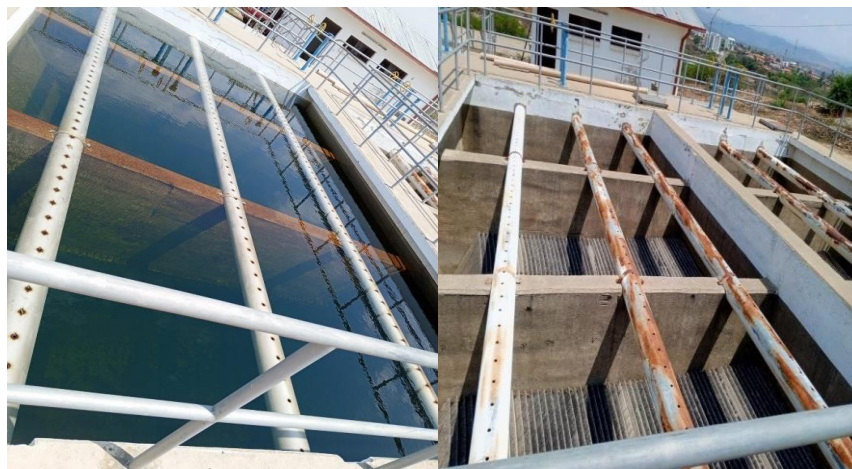


*Figura 39.* Toma de mediciones en los sedimentadores

Fuente: Elaboración propia

### **Medidas correctivas:**

Se sugieren las siguientes acciones para su puesta en funcionamiento:



*Figura 40. Unidad de Filtración con placas y sin placas*

Fuente: Elaboración propia.

#### - **Cambio de placas de asbesto cemento**

Se sugiere un cambio de placas, debido a que el material asbesto cemento, ya no se usa para el tratamiento de agua potable, debido a que son cancerígenas.

Para esto se deben sacar las piezas que se encuentran en las unidades de sedimentación, y colocar unas nuevas de un material económico, duradero y confiable, estas placas laminares deben cumplir con las medidas del plano de construcción de la planta.

Las placas de los sedimentadores de alta tasa en plantas potabilizadoras de agua suelen estar hechas de varios materiales, dependiendo de las necesidades específicas del tratamiento y las condiciones operativas. Algunos de los materiales más comunes incluyen:

- **Acero inoxidable:** Es resistente a la corrosión y tiene una larga vida útil, lo que lo hace ideal para ambientes húmedos y con productos químicos.
- **Plástico (PVC o polipropileno):** Estos materiales son ligeros, fáciles de instalar y resistentes a la corrosión. Además, son económicos y tienen buena durabilidad.
- **Fibra de vidrio:** Ofrece alta resistencia a la corrosión y a los productos químicos, además de ser ligero y fácil de manejar.

Estos materiales se eligen por su durabilidad, resistencia a la corrosión y facilidad de mantenimiento, lo que asegura una operación eficiente y prolongada de los sedimentadores.

El material que se utiliza en la planta de Tabladita, implementó las placas de PVC, se sugiere utilizar el mismo material para la puesta en funcionamiento de la planta potabilizadora de San Jacinto, ya que se observa que cumplen de manera eficiente su función.

- **Limpieza de las paredes internas y fondo de la unidad:**

Una vez retiradas las placas de sedimentación, se requiere hacer una limpieza profunda del fondo de las unidades y sus paredes internas.

Lijar las paredes para mejor adherencia de la pintura especial.

Posterior a esto se procede a pintar con el producto pre seleccionado.

Aunque no pudimos observar el fondo falso de los sedimentadores, se sugiere realizar una limpieza profunda, para la correcta remoción de los lodos acumulados en el mismo.



*Figura 41.* Situación actual de la unidad de sedimentación.

Fuente: Elaboración propia.

- **Limpieza y extracción de oxidación de las tuberías de hierro galvanizado.**

Limpiar de forma individualizada y profunda cada pieza.

Seca perfectamente antes de pasar a la siguiente fase.



Dependiendo de la afectación de óxido que tenga la pieza a restaurar y el tamaño se debe elegir un producto decapante que se aplicará y se dejará actuar un tiempo antes de poder limpiar y eliminar el óxido con facilidad.

Con un enérgico y profundo cepillado/lijado se eliminará el óxido, dependiendo del estado que presente la tubería que se desea restaurar y poner a punto.

Recubrir el hierro con una capa de zinc que lo protege de la corrosión atmosférica.

### **3.2.3 Filtros**

#### **Diagnóstico:**

La estructura de los filtros de la planta presenta una construcción que, en general, se encuentra en buenas condiciones. No se observan daños estructurales evidentes que comprometan la estabilidad o funcionalidad de la unidad, lo cual es positivo para la continuidad del proceso de filtración. Sin embargo, se han detectado diversos problemas de mantenimiento y condiciones operativas que requieren atención para optimizar el rendimiento de estos filtros y prolongar su vida útil.

Las paredes internas de los filtros muestran manchas de moho, causadas por la exposición constante al agua y la falta de un programa de limpieza y mantenimiento regular. Estas manchas, aunque superficiales, podrían acumular residuos y promover la proliferación de microorganismos si no se atienden. Esto sugiere la necesidad de una limpieza profunda de las superficies internas, acompañada de un tratamiento antimicrobiano para reducir cualquier riesgo de contaminación microbiológica que pudiera afectar la calidad del agua tratada.

Durante la inspección, se ha observado que algunas unidades de filtrado contienen agua retenida, mientras que otras se encuentran cubiertas de vegetación. El estancamiento de agua en los filtros puede facilitar el desarrollo de bacterias y algas, además de crear condiciones que favorecen la acumulación de sedimentos. Las unidades con plantas secas se dieron por la falta de uso prolongado, lo cual podría

haberse evitado mediante un mantenimiento regular que permita drenar el agua y evitar la acumulación de materiales orgánicos.

En cuanto a los componentes mecánicos, se ha identificado que la válvula de ingreso presenta un grado significativo de oxidación. Este desgaste en la válvula compromete su operatividad y puede provocar dificultades en el control del flujo de agua hacia el filtro. La oxidación también aumenta el riesgo de fugas y obstrucciones, lo que podría afectar la presión y el flujo de agua requerido para un proceso de filtración efectivo. Para corregir este problema, es necesario realizar un mantenimiento preventivo en la válvula, eliminando el óxido y aplicando un recubrimiento anticorrosivo. Si la válvula se encuentra muy deteriorada, se recomienda su reemplazo para garantizar la continuidad y confiabilidad del sistema de filtrado.

En conclusión, aunque la estructura general de los filtros es adecuada y sin deterioro significativo, el estado de las paredes internas, el agua retenida y la vegetación seca en algunas unidades, así como la oxidación de la válvula de ingreso, requieren intervención. Un programa de limpieza y desinfección, junto con el mantenimiento de las válvulas y sistemas de drenaje, será fundamental para asegurar el rendimiento óptimo de los filtros y la calidad del agua tratada. Estas acciones contribuirán no solo a restaurar la funcionalidad del sistema, sino también a mantener altos estándares de salubridad y eficiencia en la planta de tratamiento.





*Figura 42. Unidad de Filtración.*

Fuente: Elaboración propia.

**Medidas correctivas:**

En esta unidad se sugieren las siguientes acciones para ponerla en funcionamiento.



*Figura 43. Situación actual de la unidad de Filtración.*

Fuente: Elaboración propia.

**- Extracción de plantas**

De manera manual o con la ayuda de maquinaria adecuada, retirar todas las plantas secas que se encuentran en los filtros.

Extraer también el material filtrante que se desgastó y no podrá cumplir con su función en el componente.

**- Limpieza y pintado de paredes internas**

Una vez habiendo retirado las plantas de las unidades que así lo requieran, procedemos a evacuar el agua detenida en las unidades restantes.

Posteriormente se procede a extraer el material filtrante de manera manual o con maquinaria adecuada, después limpiamos toda la unidad.

Para finalmente pintar las paredes con pintura especial blanca.



*Figura 44.* Toma de mediciones de la unidad de filtración.

Fuente: Elaboración propia.

### **3.2.4 Caseta de Cloración.**

#### **Diagnóstico:**

La caseta de cloración, cuya estructura de hormigón es fundamental en el proceso de desinfección y tratamiento del agua potable, se encuentra en general en buenas condiciones estructurales. La solidez de la construcción garantiza que esta unidad pueda soportar las exigencias operativas de la planta, brindando una base segura para el almacenamiento y manejo de los agentes de cloración. Sin embargo, se han identificado varias áreas que requieren atención para asegurar una operatividad óptima y prevenir problemas futuros.

En primer lugar, se observan manchas en las paredes de los tanques dosificadores de hipoclorito de sodio. Estas manchas, visibles tanto en las paredes internas como externas de la caseta, probablemente se deben a salpicaduras y derrames durante el manejo de la solución de hipoclorito, un compuesto químico corrosivo. La exposición prolongada a este tipo de químico puede acelerar el deterioro de los materiales de construcción si no se controla, además de representar un riesgo potencial de contaminación en el ambiente de trabajo. Para abordar este problema, se recomienda

una limpieza profunda de las áreas afectadas, junto con la aplicación de un revestimiento protector resistente a químicos en las paredes de la caseta y de los tanques, a fin de evitar futuras manchas y preservar la integridad del hormigón.

En cuanto a los componentes metálicos, se ha detectado que la tapa de la cámara de salida del agua muestra signos avanzados de oxidación. La corrosión en esta tapa puede debilitar su estructura, dificultar el acceso y mantenimiento adecuado de la cámara, y en casos extremos, afectar la seguridad del proceso de cloración al facilitar la entrada de partículas oxidadas en el sistema de agua. Para corregir este problema, se sugiere realizar un tratamiento anticorrosivo en la tapa o, si la oxidación está demasiado avanzada, considerar su reemplazo por una nueva tapa fabricada con materiales más resistentes a la corrosión, como acero inoxidable o materiales poliméricos.

Además, se observan despostillamientos en el concreto de algunas esquinas y bordes de las superficies, lo que evidencia desgaste por factores ambientales o golpes accidentales. Estos daños superficiales, aunque menores en apariencia, pueden representar puntos de entrada para la humedad y otros agentes degradantes que podrían acelerar la erosión del concreto y comprometer su durabilidad a largo plazo. Se recomienda reparar los despostillamientos mediante la aplicación de un mortero de reparación específico para hormigón, seguido de un sellado para garantizar la protección contra futuros daños.

En conclusión, aunque la estructura de la caseta de cloración es sólida y funcional, existen áreas que requieren atención para asegurar la longevidad y efectividad de la unidad en el proceso de desinfección del agua. Es necesario implementar un programa de mantenimiento preventivo que incluya la limpieza y protección de las paredes internas y externas contra el hipoclorito, la restauración y protección de los elementos metálicos contra la oxidación, y la reparación de los despostillamientos en el concreto. Estas medidas no solo optimizarán el rendimiento de la caseta, sino que también protegerán la calidad y seguridad del agua tratada, manteniendo altos estándares de operación en la planta de tratamiento de agua potable.



*Figura 45. Unidad de Cloración.*

Fuente: Elaboración propia.

#### **Medidas correctivas:**

En esta unidad se sugieren las siguientes acciones para ponerla en funcionamiento.

##### **-Reparación de despostillamientos en concreto.**

Primero se debe pasar el cepillo de alambre en toda el área a recuperar esto nos va ayudar a eliminar el polvo y partes sueltas.

Si se detecta que empieza desprenderse mucho concreto se recomienda usar mazo y cincel.

Humedecer el área. Para lograr un mejor anclaje del material reparado es necesario humectar perfectamente el concreto viejo.

Mezclado del producto.

Una vez terminada la aplicación del producto se debe dejar secar por 30 minutos.





*Figura 46.* Fallas en el concreto.

Fuente: Elaboración propia.

#### **-Limpieza de tapa metálica oxidada.**

Pasar el cepillo de alambre, con fuerza, para extraer todo el óxido.

En caso de que la tapa se encuentre muy deteriorada cambiarla por una nueva.



*Figura 47.* Levantamiento de datos para el diagnóstico de la unidad de cloración.

Fuente: Elaboración propia.

### **3.2.5 Tanques de almacenamiento.**

#### **Diagnóstico:**

La estructura de hormigón de los tanques de almacenamiento en esta planta de tratamiento de agua potable se encuentra en condiciones generales adecuadas, manteniendo su estabilidad y capacidad de contención. La solidez de la construcción sugiere que los tanques están en capacidad de cumplir con su función de almacenamiento de agua tratada sin riesgos estructurales inmediatos. Sin embargo, se han identificado varias áreas que requieren intervenciones específicas de mantenimiento y reparación para asegurar una operatividad óptima y la protección de la calidad del agua almacenada.

Un aspecto crítico observado es la oxidación en las tapas de las entradas a las escaleras internas del tanque. La oxidación de estas tapas no solo afecta su durabilidad, sino que también puede representar un riesgo de contaminación si partículas oxidadas entran en contacto con el agua. Además, la corrosión de estas tapas puede debilitarlas, dificultando el acceso seguro al tanque para labores de mantenimiento e inspección. Se recomienda realizar un tratamiento anticorrosivo en todas las tapas de acceso, retirando el óxido y aplicando un recubrimiento protector para prevenir una mayor corrosión. En casos de daño avanzado, podría ser necesario reemplazar las tapas con versiones fabricadas en materiales resistentes a la corrosión, como acero inoxidable o materiales plásticos especializados.

El interior de los tanques muestra una necesidad de limpieza profunda. Con el tiempo, la acumulación de sedimentos, lodos y posibles microorganismos en las superficies internas puede comprometer la calidad del agua almacenada y reducir la capacidad efectiva del tanque. La limpieza regular es fundamental en tanques de almacenamiento de agua potable para asegurar un entorno libre de contaminantes y evitar cualquier tipo de depósito o biofilm que pueda albergar bacterias. Para abordar esta situación, se recomienda realizar una limpieza exhaustiva del interior del tanque, con métodos que garanticen la eliminación de sedimentos y residuos, como el uso de agentes desinfectantes y cepillado mecánico de las superficies.

Además, se han identificado despostillamientos en el concreto, localizados en las entradas y en los bordes de los tanques. Estos daños, aunque superficiales, pueden ser puntos de vulnerabilidad para el hormigón, permitiendo la entrada de humedad y agentes externos que podrían acelerar la degradación estructural. Los

despostillamientos son una preocupación particular en un ambiente húmedo, ya que pueden evolucionar hacia problemas mayores si no se reparan adecuadamente. Para corregir este problema, es recomendable realizar una reparación específica en las áreas dañadas mediante la aplicación de morteros de reparación para hormigón, seguidos de un sellado que proteja las superficies de futuros daños y preserve la integridad estructural de los tanques.

Finalmente, se ha detectado un deterioro significativo en los aireadores del sistema, los cuales son responsables de permitir el ingreso de oxígeno al interior de los tanques. Los aireadores juegan un papel crucial en la oxigenación y ventilación, evitando el desarrollo de ambientes anaeróbicos que pueden promover la proliferación de bacterias indeseadas y la formación de olores o sabores indeseables en el agua almacenada. El deterioro en los aireadores puede reducir su capacidad funcional, comprometiendo la calidad del agua. Es fundamental realizar una evaluación detallada del estado de cada aireador y llevar a cabo su reparación o, de ser necesario, su sustitución por nuevos aireadores que ofrezcan una ventilación efectiva y duradera.

En conclusión, si bien la estructura de hormigón de los tanques de almacenamiento se mantiene en buenas condiciones generales, la oxidación en las tapas de acceso, la necesidad de limpieza profunda en el interior, los despostillamientos en el concreto, y el deterioro de los aireadores son aspectos que requieren intervención inmediata. Implementar un programa de mantenimiento integral abordará estos problemas y garantizará la eficiencia y calidad en el almacenamiento de agua potable, asegurando así que los tanques cumplan con los estándares operativos y sanitarios de la planta de tratamiento. tratada.



*Figura 48.* Tanques de almacenamiento.

Fuente: Elaboración propia.



*Figura 49.* Levantamiento de datos para elaborar el diagnóstico de este componente.

Fuente: Elaboración propia.

**Medidas correctivas:**



En esta unidad se sugieren las siguientes acciones para ponerla en funcionamiento.

### **Reparación de despostillamientos en concreto.**

Primero se debe pasar el cepillo de alambre en toda el área a recuperar esto nos va ayudar a eliminar el polvo y partes sueltas.

Si se detecta que empieza desprenderse mucho concreto se recomienda usar mazo y cincel.

Humedecer el área. Para lograr un mejor anclaje del material reparado es necesario humectar perfectamente el concreto viejo.

Mezclado del producto.

Una vez terminada la aplicación del producto se debe dejar secar por 30 minutos.

### **3.2.6 Accesorios**

#### **Diagnóstico:**

Dado que la planta potabilizadora actualmente se encuentra fuera de funcionamiento, no fue posible realizar una verificación exhaustiva del desempeño operativo de las válvulas. Sin embargo, se realizaron observaciones sobre el estado físico de diversos componentes esenciales para la funcionalidad de la planta, incluyendo compuertas, tapas de canales y bombas, que son fundamentales para el adecuado control y flujo del agua a través de las diferentes etapas del proceso de tratamiento.

En primer lugar, se observó que las compuertas y las tapas de los canales presentan signos evidentes de oxidación. Esta corrosión en los componentes metálicos, resultado de una prolongada exposición a la humedad y al ambiente, afecta la resistencia y funcionalidad de estas piezas. La oxidación puede dificultar el cierre y apertura de las compuertas, impactando negativamente en el control de los caudales de agua y en la eficiencia del tratamiento. Además, el deterioro en las tapas de los canales compromete la seguridad de las instalaciones y la protección contra la entrada de contaminantes. Para solucionar esta problemática, se recomienda realizar un tratamiento de remoción de óxido y aplicar un recubrimiento anticorrosivo en todas las compuertas y tapas de canales. Adicionalmente, el estado de la pintura, que se encuentra decolorada y desgastada por la constante exposición al sol, sugiere la

necesidad de una nueva capa de pintura resistente a los rayos UV, que no solo mejore la estética, sino que también brinde una capa adicional de protección contra la corrosión y el desgaste por intemperie.

En cuanto a las bombas, se pudo observar que en varios casos requieren lubricación y alineación de ejes. La falta de lubricación adecuada en las bombas puede llevar a un aumento en la fricción interna, reduciendo la eficiencia de operación y provocando un desgaste prematuro en los componentes internos. Asimismo, la desalineación de los ejes es un problema crítico, ya que puede causar vibraciones excesivas, desgaste desigual y posibles fallos mecánicos si no se corrige. La alineación precisa de los ejes es esencial para mantener la estabilidad de las bombas y evitar paradas inesperadas en el sistema. Se recomienda, por tanto, implementar un programa de mantenimiento que incluya la lubricación regular de todos los componentes móviles y una revisión periódica de la alineación de los ejes para garantizar el funcionamiento óptimo de las bombas y extender su vida útil.

En conclusión, aunque la planta se encuentra fuera de funcionamiento, el estado actual de los accesorios revela la necesidad de un mantenimiento preventivo y correctivo en las compuertas, tapas de canales y bombas. Realizar una intervención que incluya la remoción de óxido, aplicación de recubrimientos protectores, lubricación de componentes móviles y alineación de ejes no solo permitirá que estos accesorios operen eficientemente cuando la planta retome sus actividades, sino que también contribuirá a prolongar la durabilidad y confiabilidad de los mismos, asegurando un tratamiento de agua eficaz y seguro para la población.



*Figura 50. Accesorios de la planta en mal estado.*

Fuente: Elaboración propia.



*Figura 51. Despostillamientos en áreas de protección de accesorios.*

Fuente: Elaboración propia.

Se pudo observar el estado de las bombas, que en algunos casos requieren lubricación, y alineación de ejes.

**Conclusión** Actualmente la planta potabilizadora se encuentra estructuralmente en condiciones favorables.

Se presentan sugerencias de mejoras a la infraestructura que se requieren para hacer viable su puesta en funcionamiento, mismas que no generarían gastos representativos, para poder gestionarse.

Ya que la planta no se encuentra en servicio, no pudimos verificar el funcionamiento óptimo de las máquinas que se utilizan en la misma.

Se debe hacer una revisión de todos los puntos eléctricos de la planta, esto implica, tomacorrientes, interruptores, ventiladores, puntos de iluminación, etc.

Se recomienda acondicionar la Caseta de Desinfección para cambiar el compuesto que se usa como desinfectante, ya que en la actualidad se utiliza el Gas Cloro en lugar del hipoclorito de Sodio para la desinfección. Tal como se hizo en la Planta Potabilizador de Tabladita.

Se cuenta con el espacio suficiente para poder implementar un proceso para el tratamiento de plaguicidas, y así poder poner nuevamente en funcionamiento la Planta.

### 3.2. Datos históricos de la calidad de agua tratada con la planta de tratamiento de agua potable convencional de San Jacinto existente.

A través de COSAALT.S.R.L. se pudo obtener una copia del “Informe técnico del muestreo en campo, trabajo de laboratorio, para obtener el diagnóstico de la calidad del agua, sedimentos, jacintos y peces del lago "San Jacinto", agua de los ríos que lo abastecen y plantas potabilizadores San Jacinto y Tabladita. Tarija, Bolivia”; donde se muestran los datos que influyeron en la decisión de suspender el funcionamiento de la planta, y se presentan a continuación.

**Tabla 17. Parámetros convencionales tomados al ingreso de la PTAP.**

Entrada a la planta

Parámetro	Unidades	Norma	Resultado	Valores máximos admisibles
Color	UC	NMX-AA-017	300	<50
Olor	----	----	Desagradable	N.E.
Turbiedad	UNT		50	<50
Temperatura	°C	NMX-AA-007	25,2	$\pm 3^{\circ}\text{C}$ de C.receptor
Conductividad eléctrica	$\mu\text{mhos cm}^{-1}$	NOM-AA-93	483	NE

pH		NMX-AA-008	7,16	6 a 9
Sólidos sedimentables	$mg\ L^{-1}$	NMX-AA-004	0,2	0,1
Sólidos disueltos totales	$mg\ L^{-1}$	NMX-AA-034	94,205	1000
Materia flotante	$mg\ L^{-1}$	NMX-AA-006	Ausente	Ausente

Fuente: (Universidad Autónoma Nacional De México, 2006).

\*Nota: Las tablas completas dotadas por COSAALT se encuentran en Anexos.

**Tabla 18. Parámetros convencionales tomados a la salida de la PTAP.**

Salida de la planta

Parámetro	Unidades	Norma	Resultado	Valores máximos admisibles
Color	UC	NMX-AA-017	15	15
Olor	----	----	Aceptable	Aceptable
Turbiedad	UNT		4	5
pH			7,94	9
Sólidos disueltos totales	$mg\ L^{-1}$	NMX-AA-017	16,088	1000

Fuente:(Universidad Autónoma Nacional De México, 2006).

\*Nota: Las tablas completas dotadas por COSAALT se encuentran en Anexos.

**Tabla 19. Parámetros de plaguicidas organoclorados que ingresan a la PTAP.**

Parámetro	Unidades	Norma	Resultado	Valores máximos admisibles
Endrín	$\mu g\ L^{-1}$	NOM-AA-71	0,0228	N.E.
Heptacloro	$\mu g\ L^{-1}$	NOM-AA-71	0,1963	0,1
Lindano (y-BHC)	$\mu g\ L^{-1}$	NOM-AA-71	0,0043	3
Metoxicloro	$\mu g\ L^{-1}$	NOM-AA-71	0,256	30

Fuente:(Universidad Autónoma Nacional De México, 2006).

\*Nota: Las tablas completas dotadas por COSAALT se encuentran en Anexos.

**Tabla 20. Parámetros de plaguicidas organoclorados que salen de la PTAP.**

Parámetro	Unidades	Norma	Resultado	Valores máximos admisibles
Aldrín	$\mu g L^{-1}$	NOM-AA-71	N.D.	
Dieldrin	$\mu g L^{-1}$	NOM-AA-72	N.D.	
Clordano	$\mu g L^{-1}$	NOM-AA-73	N.D.	
DDT	$\mu g L^{-1}$	NOM-AA-74	N.D.	
Endrín	$\mu g L^{-1}$	NOM-AA-75	N.D.	
Endosulfan	$\mu g L^{-1}$	NOM-AA-76	N.D.	
Heptacloro	$\mu g L^{-1}$	NOM-AA-71	0,109	
Heptacloroepóxido	$\mu g L^{-1}$	NOM-AA-72	1,109	
Lindano (y-BHC)	$\mu g L^{-1}$	NOM-AA-71	0,0016	
Metoxicloro	$\mu g L^{-1}$	NOM-AA-71	0,1217	
Toxafeno	$\mu g L^{-1}$	NOM-AA-71	N.D.	
Bifenios policlorados	$\mu g L^{-1}$	NOM-AA-71	0,2323	
<b>Plaguicidas Totales</b>	$\mu g L^{-1}$	<b>NOM-AA-71</b>	<b>0,2323</b>	<b>0,5</b>

Fuente:(Universidad Autónoma Nacional De México, 2006).

\*Nota: Las tablas completas dotadas por COSAALT se encuentran en Anexos.

### 3.3. Análisis de los datos de calidad de agua sobre su cumplimiento con lo establecido por la norma vigente NB-512 y su influencia sobre la salud humana.

Las tablas que se muestran, se encuentran en la Norma Boliviana de Calidad de Agua Potable NB-512, misma que sirve para controlar la calidad de agua destinada para consumo humano.

Se verificará si los datos que se tienen cumplen o no con lo establecido por la norma.

**Tabla 21. Análisis de cumplimiento de parámetros de control mínimo**

#### Parámetros control mínimo

Nº	Parámetro	Entrada	Cumple/ No cumple	Valor admisible	Salida	Cumple/ No cumple
1	pH.	7,16	Cumple	6,5 - 9	7,94	Cumple
2	Conductividad	483	Cumple	1500 $\mu$ S/cm	80	Cumple

3	Turbiedad	50	No cumple	5 UNT	4	Cumple
4	Cloro libre residual	N.D.		0,2mg/l - 1,5mg/l	N.D.	~
5	Coliformes termotolerantes	30	No cumple	<2NMP/100ml	Ausente	Cumple
6	Escherichia coli	N.D.		<2NMP/100ml	N.D.	

Fuente: Elaboración propia tomando datos de (Ministerio de Servicio y obras públicas., 2005)

Según los datos de parámetros de control mínimo, dotados por COSAALT concluimos que:

A la salida de la planta los siguientes parámetros, pH, conductividad, turbiedad, coliformes termotolerantes, cumplen con lo establecido por la norma NB 512.

No se tienen datos de cloro libre residual y escherichia coli para verificar si cumplen con lo establecido con la norma.

La cantidad de cloro libre residual en el efluente dependerá de la concentración del desinfectante (cloro), que se utilice para eliminar los patógenos en el último proceso de tratamiento.

**Tabla 22. Análisis de cumplimiento de parámetros de control básico**

**Parámetros control básico**

Nº	Parámetro	Entrada	Cumple/ No cumple	Valor admisible	Salida	Cumple/ No cumple
<b>Físicos</b>						
1	Color	300	No cumple	15UCV	15	Cumple
2	Sabor y olor	Desagradables	No cumple	Aceptables	Aceptables	Cumple
<b>Químicos</b>						
3	Sólidos disueltos totales	94,205	Cumple	1000mg/l	16,008	Cumple

Químicos inorgánicos						
4	Alcalinidad total	N.D.	~	370mg/l CaCO <sub>3</sub>	N.D.	~
5	Calcio Ca	108,62	Cumple	200mg/l	N.D.	~
6	Cloruros Cl	152,9	Cumple	250mg/l	N.D.	~
7	Dureza total	N.D.	~	500mg/l CaCO <sub>3</sub>	N.D.	~
8	Hierro total Fe	0,01	Cumple	0,3 mg/l	N.D.	~
9	Magnesio Mg	3,999	Cumple	150 mg/l	N.D.	~
10	Manganeso Mn	0,277	No cumple	0,1 mg/l	N.D.	~
11	Nitritos	0,141	No cumple	0,1 mg/l	N.D.	~
12	Nitratos	0,181	Cumple	45 mg/l	N.D.	~
13	Sulfatos	86	Cumple	400 mg/l	N.D.	~
Microbiológicas						
14	Heterotróficas	N.D.	~	5x10 <sup>2</sup> UFC/ml	N.D.	~

Fuente: Elaboración propia tomando datos de (Ministerio de Servicio y obras públicas., 2005)

Según los datos de parámetros de control básico, dotados por COSAALT concluimos que:

El efluente de la planta potabilizadora de San Jacinto si cumple con lo establecido en la norma NB 512 en los siguientes parámetros de control básico; color, sabor, olor y los sólidos disueltos totales.

En los restantes; Alcalinidad total, Calcio, Cloruros, Dureza total, Hierro total, Magnesio, Manganeso, Nitritos, Nitratos, Sulfatos y Heterotróficas, el efluente de la Planta Potabilizadora no cumplen con lo establecido con la norma NB 512.

Pero se cuenta con los datos los siguientes parámetros de entrada; Manganeso, Nitritos para verificar la eficiencia de remoción de los mismos.

**Tabla 23. Análisis de cumplimiento de parámetros de control complementario**

**Parámetros control complementario**



Nº	Parámetro	Entrada	Cumple/ No cumple	Valor admisible	Salida	Cumple/No cumple
<b>Químicos inorgánicos</b>						
1	Aluminio Al	N.D.	~	0,1 mg/L	N.D.	~
2	Amonio NH <sub>4</sub>	N.D.	~	0,5 mg/L	N.D.	~
3	Arsénico As	N.D.	~	0,01 mg/L	N.D.	~
4	Boro B	0,375	No cumple	0,3 mg/L	N.D.	~
5	Cadmio Cd	N.D.	~	0,003 mg/L	N.D.	~
6	Cobre Cu	0,074	Cumple	1,0 mg/L	N.D.	~
7	Fluoruro F	0,012	Cumple	1,5 mg/L	N.D.	~
8	Índice de Langelier	N.D.	~	°-0,5 a 0,5	N.D.	~
9	Plomo Pb	0,142	No cumple	0,01 mg/L	N.D.	~
10	Sodio Na	114,443	Cumple	200 mg/L	N.D.	~
11	Zinc Zn	0,021	Cumple	5 mg/L	N.D.	~

Fuente: Elaboración propia tomando datos de (Ministerio de Servicio y obras públicas., 2005)

Según los datos de parámetros de control básico, dotados por COSAALT concluimos que:

El afluente de la planta potabilizadora de San Jacinto si cumple con lo establecido en la norma NB 512 en los siguientes parámetros de control complementario; cobre, fluoruro, sodio, y zinc.

No contamos con datos del efluente de la planta de estos parámetros.

Por esto se

**Tabla 24. Análisis de cumplimiento de parámetros de control especial**

**Parámetros control especial**

Nº	Parámetro	Entrada	Cumple/No cumple	Valor admisible	Salida	Cumple/No cumple
<b>Químicos inorgánicos</b>						
1	Antimonio Sb	N.D.	~	0,02 mg/L	N.D.	~

2	Bario Ba	N.D.	~	0,7 mg/L	N.D.	~
3	Cianuro libre CN	N.D.	~	0,07 mg/L	N.D.	~
4	Cromo Total Cr	0,327	No cumple	0,05 mg/L	N.D.	~
5	Mercurio Hg	N.D.	~	0,001mg/L	N.D.	~
6	Niquel Ni	N.D.	~	0,05 mg/L	N.D.	~
7	Selenio Se	N.D.	~	0,01mg/L	N.D.	~
<b>Plaguicidas organoclorados</b>						
8	Aldrín	N.D.	~	0,03µg/L	N.D.	~
9	DDT	N.D.	~	1µg/L	N.D.	~
10	Dieldrín	N.D.	~	0,03µg/L	N.D.	~
11	Endosulfan	N.D.	~	20µg/L	N.D.	~
12	Endrín	0,0228	Cumple	0,6µg/L	N.D.	~
13	Heptacloro	0,1963	No cumple	0,03µg/L	0,109	No cumple
14	Heptacloroepóxido	N.D.	~	0,03µg/L	N.D.	~
15	Lindano	0,0043	Cumple	2µg/L	0,0016	Cumple
16	Metoxicloro	0,256	Cumple	20µg/L	0,1217	Cumple
17	Clordano	N.D.	~	0,2µg/L	N.D.	~
18	Plaguicidas totales	N.D.	~	0,5µg/L	0,2323	Cumple
19	Otros plaguicidas individuales	N.D.	~	<0,1µg/L	N.D.	~

Fuente: Elaboración propia tomando datos de (Ministerio de Servicio y obras públicas., 2005)

Según los datos de parámetros de control básico, dotados por COSAALT concluimos que:

El efluente de la planta potabilizadora de San Jacinto cumple con lo establecido en la norma NB 512 en los siguientes parámetros de control especial; Lindano, Metoxicloro, y Plaguicidas totales.

El parámetro registrado de heptacloro del efluente de la planta, no cumple con lo establecido con la normativa de calidad de agua potable, y debido a esta conclusión se suspendió el funcionamiento de la misma.

No se cuentan con muchos datos de parámetros de control especial de entrada y salida de la planta.

El parámetro registrado de Cromo Total del afluente de la planta no cumple, con lo establecido con la normativa de calidad de agua potable.

### **3.4. Rediseño hidráulico de las unidades de tratamiento de la Planta Potabilizadora de San Jacinto.**

El caudal, con el que se diseñó y construyó la Planta Potabilizadora de San Jacinto, es proporcionado por COSAALT.

$$Q = 160 \text{ l/s}$$

Se realiza el presente rediseño hidráulico de las unidades de tratamiento de la planta, con el fin de verificar las medidas especificadas en los planos de construcción de la misma.

A su vez, se realiza la verificación teórica de los parámetros fundamentales de diseño de cada unidad de tratamiento y la eficiencia de remoción de los contaminantes que trataba la planta convencional antes de suspenderla.

Finalmente proponemos el tratamiento de los plaguicidas mediante el proceso de Carbón Activado, debido a que el tren de tratamiento de la planta no tiene ningún módulo para tratar estos contaminantes.

#### **3.4.1. Rampa con difusores.**

Resalto hidráulico calculado con HCANALES

**Cálculo del Resalto Hidráulico Sección Rectangular**

Lugar: **TARIJA** Proyecto: **PROY. SAN JACINTO**

Tramo: **1-2**

**Datos:**

Caudal (Q): **0.16** m<sup>3</sup>/s

Ancho de solera (b): **1** m

Tirante (y): **0.35** m

**tirante subcrítico**

**Resultados:**

Tirante conjugado (y): **0.0384** m

Número de Froude conjugado (F): **6.7904**

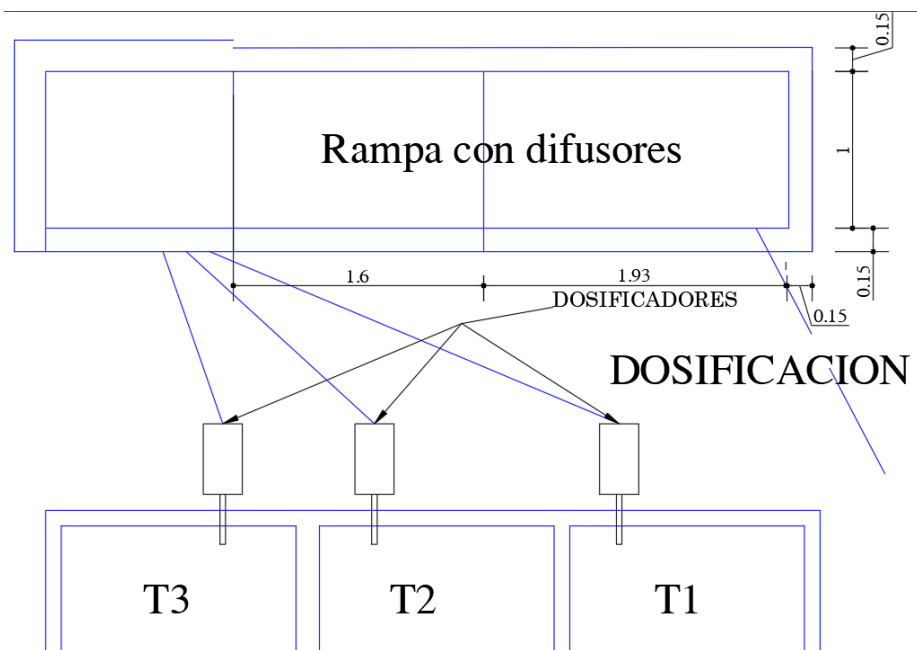
Altura del resalto: **0.3116** m

Longitud del resalto (L): **1.56** m

Pérdida de energía en el resalto: **0.5629** m

Botones: Calcular, Limpiar Pantalla, Imprimir, Menú Principal, Calculadora

**Figura 12.** Cálculo del Resalto Hidráulico de la primera unidad de tratamiento



**Figura 12.** Cálculo del Resalto Hidráulico de la primera unidad de tratamiento

Las dimensiones constructivas de la rampa de mezcla rápida de coagulantes, si cumplen con el caudal de diseño  $Q = 160$  l/s.

La dosificación variará de acuerdo a la calidad del agua que ingresa a la planta, para definir la cantidad de coagulante, que servirá para llegar a la concentración adecuada que garantice la formación de los coágulos que se formen en la siguiente unidad.

Estos cálculos de concentración de coagulantes, se realizan en laboratorio, haciendo uso del test de jarras, para simular la floculación a escala, y replicarla en la planta.

### 3.4.2. Floculadores.

Se presenta la memoria de cálculo del diseño de una unidad de floculadores.

#### **Floculador hidráulico de flujo horizontal N°1**

Caudal a tratar 160 l/s

Se adoptan 2 unidades

- Caudal para cada unidad:

$$Q_1 = \frac{160L/s}{2} = 80 \frac{L}{s} = 0.080m^3/s$$

Para el diseño del siguiente floculador se toma como parámetro de diseño el caudal y consideramos los siguientes datos recomendados en la literatura de referencia (CEPIS).

- Tiempo de residencia en los tramos del floculador

Tiempo de residencia para el tramo 1= 8 min

Tiempo de residencia para el tramo 2= 8.5 min

Tiempo de residencia para el tramo 3= 9 min

- Velocidad en los tramos del floculador

La velocidad promedio en los canales se limita entre 0.10m/s – 0.60m/s

Asumimos velocidades decrecientes.

Velocidad en primer tramo  $V_1= 0,20$  m/s

Velocidad en segundo tramo  $V_2=0,15$  m/s

Velocidad en segundo tramo  $V_3=0,10 \text{ m/s}$

- Área de flujo en los canales

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

$$A_1 = \frac{Q}{V_1} = \frac{0.080 \text{ m}^3/\text{s}}{0.20 \text{ m/s}} = 0.400 \text{ m}^2$$

$$A_2 = \frac{Q}{V_2} = \frac{0.080 \text{ m}^3/\text{s}}{0.15 \text{ m/s}} = 0.533 \text{ m}^2$$

$$A_3 = \frac{Q}{V_3} = \frac{0.080 \text{ m}^3/\text{s}}{0.10 \text{ m/s}} = 0.80 \text{ m}^2$$

- Separación mínima entre pantallas

Altura de agua en la unidad

Proponemos alturas que nos permitan cumplir con las dimensiones constructivas:

$$H_1 = 1 \text{ m}$$

$$H_2 = 1.06 \text{ m}$$

$$H_3 = 1.14 \text{ m}$$

$$a_1 = \frac{A_1}{H_1} = \frac{0.400 \text{ m}^2}{1 \text{ m}} = 0.40 \text{ m}$$

$$a_2 = \frac{A_2}{H_2} = \frac{0.533 \text{ m}^2}{1.06 \text{ m}} = 0.50 \text{ m}$$

$$a_3 = \frac{A_3}{H_3} = \frac{0.800 \text{ m}^2}{1.14 \text{ m}} = 0.70 \text{ m}$$

- Recalculando velocidad

$$V_1 = \frac{Q}{H_1 * a_1} = \frac{0.080 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{1 \text{ m} * 0.40 \text{ m}} = 0.20 \text{ m/s}$$

$$V_2 = \frac{Q}{H_2 * a_2} = \frac{0.080 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{1.06 \text{ m} * 0.50 \text{ m}} = 0.15 \text{ m/s}$$

$$V_3 = \frac{Q}{H_3 * a_3} = \frac{0.080 \frac{m^3}{s}}{1.14m * 0.70m} = 0.10m/s$$

- Longitud de canales

Proponemos alturas que nos permitan cumplir con las dimensiones constructivas:

$$t_1 = 8 \text{ min} = 480 \text{ s}$$

$$t_2 = 8.50 \text{ min} = 510 \text{ s}$$

$$t_3 = 9 \text{ min} = 540 \text{ s}$$

$$Lc_1 = V_1 * t_1 * 60 = 0.20 \frac{m}{s} * 480s * 60 = 96 \text{ m}$$

$$Lc_2 = V_2 * t_2 * 60 = 0.15 \frac{m}{s} * 510s * 60 = 77 \text{ m}$$

$$Lc_3 = V_3 * t_3 * 60 = 0.15 \frac{m}{s} * 510s * 60 = 54 \text{ m}$$

- Número de canales en cada tramo

Adoptamos ancho de canal de acuerdo al espacio que contamos para construcción.

$$B_1 = 3.60 \text{ m}$$

$$B_2 = 3.50 \text{ m}$$

$$B_3 = 3.50 \text{ m}$$

$$N_1 = \frac{Lc_1}{B_1} = \frac{96m}{3.60m} = 26.67 \text{ pzas}$$

Redondeando tenemos:

$$N_1 = 28 \text{ pzas}$$

$$N_2 = \frac{Lc_2}{B_2} = \frac{77m}{3.50m} = 21.99 \text{ pzas}$$

Redondeando tenemos:

$$N_2 = 22 \text{ pzas}$$

$$N_3 = \frac{Lc_3}{B_3} = \frac{54m}{3.50m} = 16 \text{ pzas}$$

Redondeando tenemos:

$$N_3 = 16 \text{ pzas}$$

- Comprobación de ancho de canal propuesto

n= Número de láminas de madera de longitud (b)

d= Ancho de las vueltas (recomendable d=1.5a)

Asumimos  $n_1 = n_2 = n_3 = 1$

Calculamos d

$$d_1 = 1.5 * a_1 = 1.5 * 0.40m = 0.60m$$

$$d_2 = 1.5 * a_2 = 1.5 * 0.50m = 0.75m$$

$$d_3 = 1.5 * a_3 = 1.5 * 0.70m = 1.05m$$

$$B_1 = n_1 * b_1 + d_1 = 1 * 3m + 0.6m = 3.60m$$

$$B_2 = n_2 * b_2 + d_2 = 1 * 2.75m + 0.75m = 3.50m$$

$$B_3 = n_3 * b_3 + d_3 = 1 * 2.45m + 1.05m = 3.50m$$

- Longitud de cada tramo

e= Espesor de las láminas de madera (tabique)

e=0.025m

$$L_1 = N_1(a_1 + e) = 28 * (0.40m + 0.025m) = 11.9 + 0.40m = 12.30m$$

$$L_2 = N_2(a_2 + e) = 22 * (0.50m + 0.025m) = 11.55 + 0.75m = 12.30m$$

$$L_3 = N_3(a_3 + e) = 16 * (0.70m + 0.025m) = 11.60 + 0.70m = 12.30m$$

- Pérdida de carga en vueltas ( $h_1$ )

K= Coeficiente de pérdida de carga

K= 2

N= Número de láminas usadas en los tramos

$$h_{1-1} = K * \frac{V_1^2}{2g} = 2 * \frac{\left(0.20 \frac{m}{s}\right)^2}{2 * 9.81 \frac{m}{s^2}} = 0.004m * N = 0.004m * 14 = 0.057m$$



$$h_{1-2} = K * \frac{V_2^2}{2g} = 2 * \frac{\left(0.15 \frac{m}{s}\right)^2}{2 * 9.81 \frac{m}{s^2}} = 0.002m * N = 0.002m * 11 = 0.026m$$

$$h_{1-3} = K * \frac{V_3^2}{2g} = 2 * \frac{\left(0.10 \frac{m}{s}\right)^2}{2 * 9.81 \frac{m}{s^2}} = 0.001m * N = 0.001m * 8 = 0.008m$$

- Pérdida de carga en los canales (h<sub>2</sub>)

n= Coeficiente de fricción de Manning. (n=0.012)

R= Radio hidráulico del canal

$$R_1 = \frac{A_1}{P_1} = \frac{0.40m^2}{2.40m} = 0.167m$$

$$R_2 = \frac{A_2}{P_2} = \frac{0.53m^2}{2.62m} = 0.202m$$

$$R_3 = \frac{A_3}{P_3} = \frac{0.798m^2}{2.98m} = 0.268m$$

$$h_{2-1} = \left(\frac{n * V_1}{R_1^{2/3}}\right)^2 * Lc_1 = \left(\frac{0.012 * \frac{0.20m}{s}}{(0.167m)^{2/3}}\right)^2 * 96m = 0.006m$$

$$h_{2-2} = \left(\frac{n * V_2}{R_2^{2/3}}\right)^2 * Lc_2 = \left(\frac{0.012 * \frac{0.15m}{s}}{(0.202m)^{2/3}}\right)^2 * 77m = 0.002m$$

$$h_{2-3} = \left(\frac{n * V_3}{R_3^{2/3}}\right)^2 * Lc_3 = \left(\frac{0.012 * \frac{0.20m}{s}}{(0.268m)^{2/3}}\right)^2 * 54m = 0.0005m$$

- Pérdida de carga en cada tramo (h)

$$h = h_1 + h_2$$

$$H_1 = 0.004m + 0.057m = 0.06m$$

$$H_2 = 0.026m + 0.002m = 0.03m$$

$$H_3 = 0.008m + 0.0005m = 0.01m$$

- Pérdida de carga total (Ht)

$$Ht = H_1 + H_2 + H_3 = 0.06m + 0.03m + 0.01m = 0.10m$$

Se adjuntan las planillas de cálculo de las 4 unidades de sedimentadores de alta tasa, en los anexos.

Conclusión: Las dimensiones constructivas de las 2 unidades de floculadores, si cumplen con el caudal de diseño  $Q_d = 160 \text{ l/s}$ .

Los tiempos de retención de los floculadores presentan diferencias entre si, muy pequeñas.

### 3.4.3. Sedimentador de flujo ascendente.

Se presenta la memoria de cálculo del diseño de una unidad de sedimentación.

#### Diseño de sedimentador de alta tasa N°1

Caudal a tratar  $160 \text{ l/s}$

Se adoptan 4 unidades

Para el diseño del siguiente sedimentador se toma como parámetro de diseño el caudal y consideramos los siguientes datos recomendados en la literatura de referencia (Ministerio de Servicio y Obras Públicas, 2005)

- Caudal para cada unidad:

$$Q_1 = \frac{160L/s}{4} = 40 \frac{L}{s} = \frac{3456m^3}{d} = 0.040m^3/s$$

- Carga superficial

Asumimos la tasa de sedimentación de:  $84m^3/m^2*d$

$$A = \frac{Q}{CS} = \frac{0.040m^3/s}{84m^3m^2 * d} = 41.14m^2$$

Adoptamos:

Largo  $L = 5.30m$  ;  $B = 7.85m$

Obteniendo así:  $A = 41,61 \text{ m}^2$

- Velocidad promedio de flujo entre las placas inclinadas:

La inclinación de las placas será de  $55^\circ$  respecto a la horizontal.

$$V_o = \frac{Q}{A * \sin \theta} = \frac{0.040 \text{ m}^3/\text{s}}{41.61 \text{ m}^2 * \sin 55^\circ} = 0.0012 \text{ m/s}$$

$$V_o = 0.0012 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 0.12 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$$

$$0.12 \frac{\text{cm}}{\text{s}} < 1 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$$

Se fija como valor máximo de velocidad promedio de flujo entre placas  $1 \text{ cm/s}$ ; por tanto, el valor determinado es aceptable.

- Viscosidad cinemática

$T$  = Temperatura del agua en  $^\circ\text{C}$  ( $15^\circ\text{C}$ )

$$\nu = \frac{497 * 10^{-6}}{(T + 42.5)^{1.5}} = \frac{497 * 10^{-6}}{(15 + 42.5)^{1.5}} = 1.70^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

- Número de Reynolds

$V_o$  = Velocidad promedio del fluido en el sedimentador en  $\text{m/d}$

$d$  = Ancho del conducto o espaciamiento entre placas en  $\text{m}$ .

$$Re = \frac{V_o * d}{\nu} = \frac{101.41 \text{ m/d} * 0.06 \text{ m}}{1.70^{-6} \text{ m}^2/\text{s}} = 37.93$$

$$Re = 37.93 < 500 \quad \text{Flujo laminar}$$

Se fija como valor máximo de Reynolds 500, para garantizar el flujo en laminar; por tanto, el valor determinado es aceptable.

- Tiempo de retención

$$V_o = 0.012 \frac{\text{cm}}{\text{s}} = 101.41 \frac{\text{m}}{\text{d}}$$

$$V_o = 101.41 \frac{\text{m}}{\text{d}} = 0.0704 \text{ m/min}$$

Asumimos:

$l$  = Altura de placas

$$l = 1.20 \text{ m}$$

$$t = \frac{l}{V_o} = \frac{1.20m}{0.0704m/min} = 17.04 \text{ min}$$

Los valores máximos de tiempo de retención estarán entre 15 a 25 minutos, con el valor determinado cumplimos con el rango.

- Velocidad crítica de sedimentación

$L$  = Longitud relativa del sedimentador (adimensional)

$$L = \frac{l}{d} = \frac{1.20m}{0.06m} = 21.8m$$

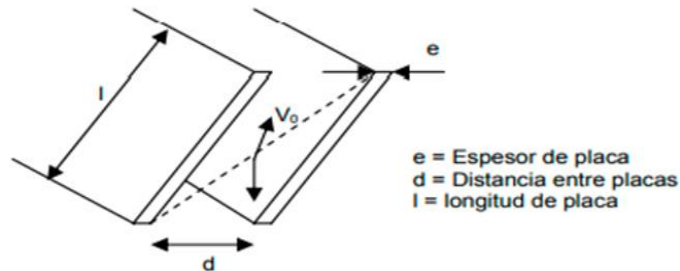
$$L' = 0.013 * Re = 0.013 * 37.93 = 0.49m$$

$L_c$  = Longitud relativa del sedimentador de alta tasa en flujo laminar, corregida en la longitud de transición  $L'$  (adimensional)

$$L_c = L - L' = 21.8m - 0.49m = 21.3m$$

$Sc$  = Parámetro característico; igual a 1,0 para sedimentadores de placas paralelas

$$V_{sc} = \frac{S_c V_o}{\sin \theta + L_c \cos \theta} = \frac{1 * 0.0704m/s}{\sin 55^\circ + 21.33m * \cos 55^\circ} = 0.0054m/s$$
$$V_{sc} = 0.0054 \frac{m}{s} = 466.21 \frac{m}{d}$$



- Longitud de sedimentación

$b$  = Ancho del sedimentador en m; asumido en función al ancho de placas.

$$L_s = \frac{A}{b} = \frac{41.61m^2}{7.85m} = 5.30m$$

- Número de placas por módulo

e= Espesor de las placas (10mm)

$$N = \frac{L_s \sin \theta + d}{d + e} = \frac{5.30m * \sin 55^\circ + 0.055m}{0.055m + 0.01m} = 68 \text{ pzas}$$

- Tiempo de retención hidráulica total

Asumimos altura total del sedimentador H= 5m

$$V = A * H = 41.61m^2 * 5m = 208.03m^3$$

$$t = \frac{V}{Q} = \frac{208.03m^3}{0.04m^3/s} = 5200.63 \text{ s}$$

$$t = 5200.63 \text{ s} = 1.44hr$$

Los valores de tiempo de retención hidráulica total deben estar entre 2 a 4 hr, con el valor determinado no cumplimos con el rango.

Se adjuntan las planillas de cálculo de las 4 unidades de sedimentadores de alta tasa, en los anexos.

El tiempo de retención hidráulica total es menor a 2 horas.

Es decir, las medidas constructivas de esta unidad no cumplirán con la eficiencia de remoción máxima, pero al no tener altos valores elevados de los parámetros de calidad que se requieren controlar en esta componente, la eficiencia de remoción si puede darnos resultados aceptables.

#### 3.4.4. Filtración rápida en arena (FRA) (Tasa constante)

Se presenta la memoria de cálculo del diseño de una unidad de sedimentación.

##### Diseño de filtros de tasa constante

Caudal a tratar 160 l/s

Para el diseño del siguiente filtro se toma como parámetro de diseño el caudal y consideramos los siguientes datos recomendados en la literatura de referencia (Ministerio de Servicio y obras públicas., 2004)

- Tasa de filtración

Debe obtenerse de laboratorio mediante ensayos en columna de filtración que permitan verificar las eficiencias remocionales de los parámetros que se desean tratar a partir de la variación de alturas de lecho, combinación de material granular, granulometrías y alturas de sobrenadante.

De no ser posible acceder a ensayos de columna de filtración o filtros piloto, las tasas máximas de filtración serán:

Para filtro con medio simple (arena):  $180\text{m}^3/\text{m}^2\text{d}$

Para filtro con medio dual (arena y antracita):  $360\text{m}^3/\text{m}^2\text{d}$

- Área total de filtración requerida

$Q$ = Caudal de diseño

$$Q = 0.160 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 13824 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}$$

$V_f$ = Tasa de filtración

Adoptamos  $V_f = 285 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$

$$A_T = \frac{Q}{V_f} = \frac{13824 \text{ m}^3/\text{d}}{285 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}} = 48.5 \text{ m}^2$$

- Número de unidades

$$N = \sqrt{\frac{A_T}{3}} = \sqrt{\frac{48.5 \text{ m}^2}{3}} = 4.02$$

$$N = 4.02 \text{ unidades} = 8 \text{ unidades}$$

Adoptamos  $N=8$  unidades para el mantenimiento de las unidades, y garantizar que las capas de filtros cumplan con su función de manera eficiente.

- Área de cada de unidad

$$A_u = \frac{A_T}{N} = \frac{48.5m^2}{8} = 6.1m^2$$

Buscamos las medidas que cumplan con el área de cada unidad

Adoptamos:

$$B=1.85m$$

$$L=3.3m$$

- Alturas de la unidad

Tomando en cuenta la siguiente tabla de alturas, se adoptan las medidas de la unidad.

**Tabla 25. Altura del filtro de tasa declinante**

Descripción	Altura (m)
Altura de fondo falso	0,50 - 0,50
Altura capa soporte (incluyendo viguetas)	0,50 - 0,50
Altura de arena	0,30 - 0,35
Altura de antracita	0,45 - 0,50
Altura mínima de agua (sobre el nivel de arena)	1,25 - 1,35
Altura máxima de agua (sobre el nivel mínimo)	1,60 - 1,70
Altura de seguridad	0,40 - 0,40
<b>Altura total</b>	<b>5,0 - 5,30</b>

Fuente:(Ministerio de Servicio y obras públicas., 2004, p. 106)

Seguridad		1,5m
Agua		1,6m
Arena - antracita		0,75m

Grava		0,25m
Sistema de drenaje		0,15m

Para evitar la colmatación de los filtros, garantizar su buen funcionamiento, se diseña 8 unidades para tener 4 en mantenimiento preventivo, mientras las 4 restantes, operan un determinado periodo para garantizar que las capas de filtros cumplan con su función de manera eficiente.

Se adjunta la planilla de cálculo en anexos.

### 3.4.5. Cámara de desinfección.

- Caudal

Se parte con el caudal de diseño

$$Q=160\text{l/s}$$

Pero con fines de garantizar el mantenimiento y el funcionamiento continuo, de este componente de tratamiento dividiremos el caudal en dos.

Entonces tenemos:

$$Q_d= 80 \text{ l/s}$$

Se realiza el cálculo para utilizar gas cloro, para esto se debe readecuar la caseta de desinfección, ya que la misma está diseñada para el uso de hipoclorito de sodio, que se dosificaba en tanques y luego se introducía como solución en el agua previamente filtrada.

Existen tamaños comerciales de cloradores, que se pueden utilizar en el medio, se presenta una tabla en base a la capacidad requerida que se tenga, y se muestra la temperatura que se debe cumplir

**Tabla 26. Tamaños comerciales de cloradores.**

Capacidad del clorador (a)		Temperatura ambiente mínima (b)	
g/h	lb/día	°C	°F
	100	24	75



1400	75	13,3	56
750	40	2	36
280	15	-3	26
120	6	-5	23
50	2	-5,6	22

N°	Datos	Criterios	Resultados
1	Caudal de diseño Q = 80 L/s	$q = Q D_M / C$	Caudal mínimo de agua requerido para la operación del inyector q = 6,86E-05 m³/s
	Dosis maxima Dmax 3 mg/L		q = 0,069 L/s
	Concentración de la solución C = 3500 mg/L		
2	Capacidad requerida del equipo	$W = Q D_M$	Capacidad requerida del equipo W = 864 g/h
3	Seleccionamos el equipo que nos pueda dar la capacidad requerida Wmax = 1400 g/hr		Capacidad mínima del clorador Wmin = 70 g/hr
4	Velocidad en la tubería de alimentación de agua v = 0,9 m/s	$A = q / V$	Área de la tubería A = 0,000076 m²
5	Longitud de la tubería de alimentación de agua L = 3 m	$\phi = \sqrt{4 A / \pi}$	D = 0,0098 m D = 0,4 pulg D = 0,5 pulg
6	Coefficiente de fricción f = 0,03	$H_o = f L / \phi \cdot V / 2g$	Pérdidas de carga por fricción hf = 0,29 m
7	Pérdida de carga total por accesorios k = 4,45	$H_m = K V^2 / 2g$	Pérdidas de carga menores hl = 0,18 m
8	Presión requerida por el inyector h = 30 m	$H = h + H_o + H_m$	Carga dinámica total H = 30,48 m
9	Peso específico del agua PE = 1000 kg/m³ Efic = 0,85	$P = \delta q H / 75 E$	Potencia requerida de la bomba P = 0,03 HP
10	Tiempo de contacto T = 25 min	$Vol. R = Q T$	Vol = 120,00 m³
11		dimensiones de la cámara de contacto:	b = 3,2 m L = 15 m H = 2,5 m V = 120 m³

Actualmente se cuenta con la infraestructura de esta unidad para utilizar hipoclorito de sodio como producto desinfectante, pero debido a su grado de toxicidad, COSAALT, dejó de usarlo hace años, es por esto que se sugiere readecuar esta infraestructura para utilizar gas cloro

como desinfectante, se sugieren las dimensiones calculadas para el componente de desinfección cumpliendo así con el caudal de diseño 160l/s.

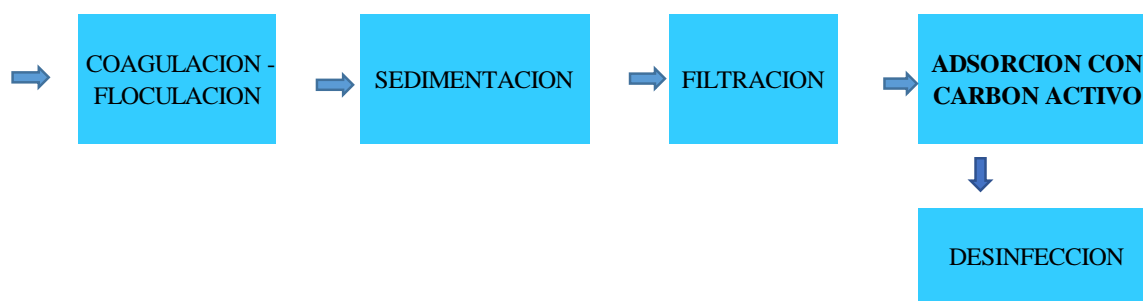
Definición de los parámetros de diseño para la nueva propuesta de mejoramiento de la planta potabilizadora.

### 3.4.6 Propuesta de diseño para remoción de plaguicidas

#### 3.4.6.1 Justificación

La actual planta de tratamiento de agua potable de San Jacinto es de tipo Convencional, no tiene un proceso para tratar los plaguicidas en el agua, sabiendo que al utilizarse para el consumo humano puede afectar de manera nociva la salud de la población beneficiaria, con el fin de poder tratar dichos plaguicidas y ponerla en funcionamiento, se presenta esta alternativa de diseño del proceso de Adsorción con carbón activo, que removerá de manera eficiente no solo los plaguicidas presentes en el agua sino también, otros contaminantes que pasaron los anteriores procesos.

Este proceso se ubicará después de la filtración para no alterar los procesos de tratamiento anteriores, y posterior al mismo se ubica el proceso de desinfección con el fin de eliminar los patógenos y bacterias presentes en el agua.



*Figura 52.* Tren de tratamiento para la puesta en marcha de la planta potabilizadora de San Jacinto.

Se readecua el tren de tratamiento para poder llegar a cumplir con los límites establecidos por la norma NB 512, obteniendo agua apta para el consumo humano.

#### Beneficios del Uso de GAC para Remoción de Plaguicidas

- **Alta Eficiencia en la Adsorción de Plaguicidas:**

Los plaguicidas, como atrazina, lindano, y clorpirifós, son compuestos orgánicos de baja degradabilidad que tienden a adsorberse eficazmente en la superficie del GAC gracias a su alta área superficial y capacidad hidrofóbica.

- **Flexibilidad Operativa:**

El proceso de adsorción con CAG puede integrarse fácilmente como etapa avanzada en plantas potabilizadoras convencionales, complementando procesos de coagulación, sedimentación y filtración.

- **Eficiencia Ambiental:**

La remoción de plaguicidas reduce el riesgo de efectos tóxicos para las comunidades consumidoras de agua tratada y protege la vida acuática en fuentes de descarga.

- **Justificación Económica**

Costo-Beneficio:

Aunque la inversión inicial en CAG puede ser alta, su capacidad regenerativa permite reducir costos a largo plazo. Adicionalmente, los beneficios de asegurar el acceso a agua segura y el cumplimiento de normativas justifican plenamente la inversión.

- **Protección de Salud Pública:**

Los costos asociados con problemas de salud derivados del consumo de agua contaminada por plaguicidas (como enfermedades gastrointestinales o cáncer) son significativamente mayores que los costos de implementación del sistema.

- **Regeneración y Reutilización del Carbón Activado:**

La regeneración térmica del CAG permite extender su vida útil y disminuir los costos recurrentes.

La implementación del proceso de adsorción con carbón activado granular (CAG) en plantas potabilizadoras de América Latina se justifica ampliamente debido a su alta eficiencia en la remoción de plaguicidas y su capacidad para mejorar la calidad del agua

en contextos de contaminación agrícola. A continuación, se presentan ejemplos concretos que destacan datos de eficiencia:

### **Plantas de tratamiento de agua potable eficientes en Latinoamérica.**

- **Planta de Tratamiento en la Cuenca del Río Lerma, México**

Eficiencia de Remoción: En esta planta, se emplea CAG para tratar aguas contaminadas con atrazina y simazina, plaguicidas comunes en áreas agrícolas. Estudios demostraron una eficiencia de remoción superior al 95% para atrazina y otros compuestos organoclorados persistentes.

La adsorción complementa otros procesos de tratamiento y permite alcanzar estándares de potabilidad, incluso en periodos de alta carga contaminante debido a lluvias y escorrentía agrícola.

Referencia: Estudio realizado en la Universidad Autónoma de Querétaro.

- **Planta de La Atarjea, Lima, Perú**

Eficiencia de Remoción: El CAG reduce significativamente los niveles de pesticidas y herbicidas utilizados en la cuenca del río Rímac, con eficiencias que alcanzan el 90%-98%, dependiendo del compuesto tratado.

Este sistema es crítico para tratar agua proveniente de fuentes sujetas a contaminación agrícola intensiva y asegurar agua potable a más de 10 millones de habitantes.

Referencia: Investigación sobre procesos avanzados en la potabilización de Lima

- **Planta Experimental en Nicaragua**

Eficiencia de Remoción: En la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (UNAN-Managua), se desarrolló un sistema piloto de adsorción con CAG, logrando eficiencias de remoción del 85%-97% para plaguicidas como aldrina y lindano, ampliamente usados en cultivos locales.

El diseño de columnas de adsorción permite la operación continua y el monitoreo de contaminantes específicos en fuentes rurales afectadas por prácticas agrícolas.

Referencia: Estudio del Departamento de Química de la UNAN-Managua

Repositorio Institucional UNAN-Managua

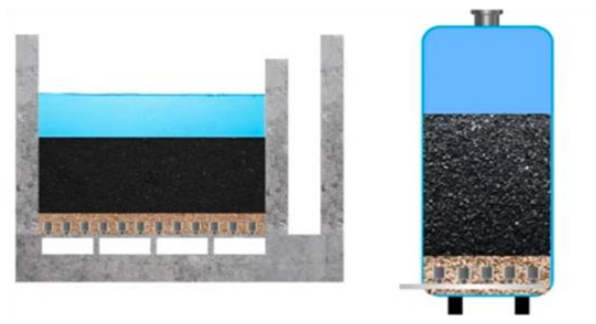
## **Conclusión**

El carbón activado granular es una tecnología esencial para la remoción de plaguicidas en América Latina, donde la contaminación agrícola es un desafío recurrente. La alta eficiencia en la adsorción de contaminantes específicos, como atrazina, heptacloro, simazina y lindano, permite garantizar el acceso a agua potable segura y cumplir con las normativas internacionales. La combinación de datos de remoción superiores al 90% y la adaptabilidad a diferentes condiciones locales hacen del CAG una solución sostenible y efectiva.

### 3.4.6.2 Diseño de la unidad de Adsorción con Carbón activo

Caida de presión máxima

Pmax = 5 psi 3,52 m.c.a. (15 psi max.)



Dimensionamiento de adsorbentes (de líquidos a gravedad) y a presión

Datos:

1.- Características del líquido que se va a tratar y especificaciones que requiere cumplir el líquido tratado.

Fuente de agua = Lago San Jacinto



#### Características del equipo de adsorción con carbón activado

CONDICIONES DE OPERACIÓN	COMPONENTES DE LOS FILTROS
Presión mínima de 20 PSI	Tanque de fibra de vidrio, certificado NSF/ANSI 61
Temperatura: 10 a 30°C	Válvula de control digital de CLACK
Suministro eléctrico: 120 VAC, 60 Hz	Grava sílica de soporte
	Carbón activado según sus necesidades

CAG = CARBÓN ACTIVADO GRANULAR

Modelo	Tanque	E/S	D	Carga Carbón Pies <sup>3</sup>	Flujo GPM				Dimensiones	
					Lento <sup>(1)</sup>	Normal <sup>(2)</sup>	Pico <sup>(3)</sup>	Retrolavado	Diámetro (cm)	Altura (cm)
FGAC0948	9"x48"	1"	0.75"	1	1.7	3.3	5	4.2	23	142
FGAC1054	10"x54"	1"	0.75"	1.5	2.5	5	7.5	5.3	26	157
FGAC1252	12"x52"	1"	0.75"	2	3.3	6.7	10	7.5	31	153
FGAC1354	13"x54"	1"	0.75"	2.5	4.2	8.3	12.5	9	34	159
FGAC1465	14"x65"	1.25"	1"	3	5	10	15	11	36	186
FGAC1665	16"x65"	1.25"	1"	4	7	13	20	13	41	186
FGAC1865	18"x65"	1.25"	1"	5	8	17	25	17	49	191
FGAC2162	21"x62"	1.25"	1"	7	12	23	35	25	55	191
FGAC2472	24"x72"	1.5"	1.5"	10	17	33	50	31	63	216
FGAC3072	30"x72"	2"	2"	15	25	50	75	50	78	219
FGAC3672	36"x72"	2"	2.5"	20	33	67	100	70	93	219
FGAC4272	42"x72"	2"	3"	30	50	100	150	95	109	265
FGAC4872	48"x72"	3"	3"	40	67	133	200	125	123	268
FGAC6094	60"x94"	3"	4"	50	83	166	249	195	152	264
FGAC6386	63"x86"	3"	4"	60	100	200	250*	215	163	236
FGAC60110	60"x110"	3"	4"	70	116	209	250*	194	152	305

1 Para agua con alto contenido de compuestos orgánicos, TCCV de 4.5 min      \* Flujo máximo de la válvula CLACK WS3  
2 Para agua de buena calidad, pre-tratamiento de ósmosis y potabilización, TCCV de 2.25 min  
3 Para aguas de excelente calidad, picos intermitentes de flujo durante el día, TCCV de 1.5 min

### Criterios para el diseño del adsorbedor de CAG

Tipo de carbon activado = mineral bituminoso      Distribuidora FESKAL

Cuando se emplean columnas de adsorción a continuación de un filtro, es práctica común utilizar carbones con tamaño de partícula del orden de 1,68 mm x 0,42 mm (12 x 40 U.S. standard mesh) o similares, ya que generalmente no es necesario realizar contralavados periódicos por la acumulación de sólidos

Granulometría del carbón = 12 x 40 GRANULAR  
Area superficial minima = 800 mg/g (disponible comercialmente a un precio competitivo)

### 2.- Flujo máximo instantaneo de servicio

Q = 2536 GPM      160,00 L/s      9600 L/min  
Numero de unidades:       $Q_u = Q/N$   
N = 14  
Q = 181 GPM      11,43 L/s      685,7 L/min

### Tiempo de contacto en cama vacía

$$TCCV = \frac{V_c}{F}$$

Donde:

TCCV = 5,32 min

Vc= Volumen de la cama de CAG

F= Flujo instantáneo de servicio o caudal individual

Valores típicos de 10 a 30 minutos para tratamiento de líquidos

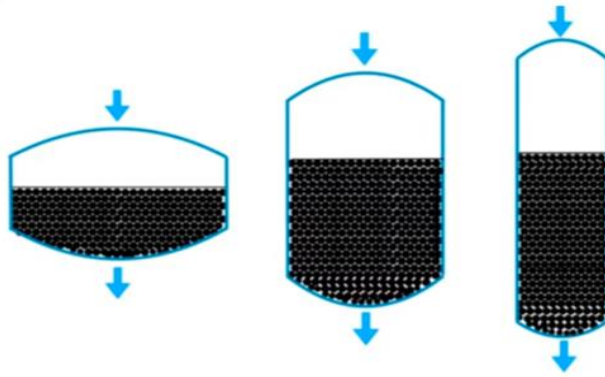
En este caso, el agua ya viene del proceso de coagulación, floculación, sedimentación y filtración. Por recomendación del fabricante tomamos 5 min

$$F = \boxed{685,7} \text{ L/min} \quad \boxed{11,4} \text{ L/s}$$

Volumen:

$$V_c = \boxed{3648,08} \text{ L}$$

**Formas comerciales**



**Carga hidráulica o velocidad de flujo**

$$C_H = \frac{F}{A}$$

Donde:

F= Flujo instantáneo de servicio

A= Area de sección de la cama de CAG

**Valores de  $C_H$  para el tratamiento de líquidos**

Se toman en cuenta las siguientes recomendaciones:

No menos de 1 gpm/ft<sup>2</sup> (para evitar flujo laminar)

No más de 10 gpm/ft<sup>2</sup> en carbones bituminosos (para evitar demasiada erosión en el CAG)

El ingeniero de proceso elige la CH que no genere una caída de presión excesiva.

$$C_H = \boxed{8,06} \text{ gpm/ft}^2 \text{ (para evitar flujo laminar)}$$

$$F = \boxed{685,71} \text{ L/min}$$

$$\boxed{328,59} \text{ Lpm/m}^2$$

$$A = \frac{F}{C_H}$$

$$A = \boxed{2,09} \text{ m}^2$$

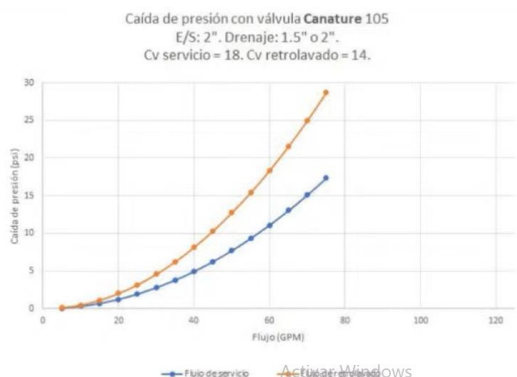
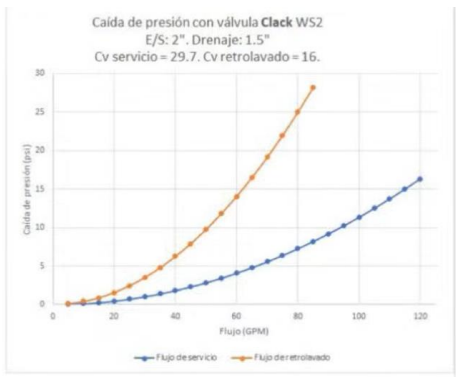
**Diámetro del recipiente**

$$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$$

$$D = \boxed{1,63} \text{ m} \quad 163 \text{ cm}$$



Caida de presión en válvulas de instalacion superior



$$\Delta P \text{ (psi)} = \left( \frac{F(gpm)}{Cv} \right)^2$$

**CLACK**  
Servicio 3,2 psi  
Retrolava 10,9 psi

**CANATURE**  
8,6 psi  
14,2 psi

Pserv=	3,2	psi	2,3	m.c.a.
Pserv =	18,6	psi	13,1	m.c.a.
Pretrolav	10,9	psi	7,7	m.c.a.
Pretrolav	14,2	psi	10,0	m.c.a.

Caida de presión en una cama de CAG tipo Gama B 12 x 40 (Carbotecnia)

## Diseño de bombeo para el ingreso del agua de los filtros al proceso de adsorción

### Caudal de bombeo

a) Bombeo a un tanque de almacenamiento

El equipo de bombeo y tubería de impulsión deben ser calculadas con base en el caudal máximo diario y el número de horas de bombeo.

$$Q_b = Q_{\max.d} * \frac{24}{N}$$

Donde:

Q<sub>b</sub>: Caudal de bombeo en l/s

Q de diseño en l/s

N: Número de horas de bombeo

160,0
12,0

**Q<sub>b</sub> = 320,0 l/s**

### CALCULO DE LA PERDIDA DE CARGA

Nº de bombas:

Caudal de diseño:

Caudal de diseño:

7,0
45,7 l/s
0,0 m3/sg

**Diámetro de la tubería de bombeo:**

Tubo:	PVC		
Dcomercial =	6,0	pulg	C-6
Dcomercial =	152,4	mm	

### Verificación por Darcy - Weisbach

Qc	Gasto de Conducción	0,0457	m3/sg
L	Longitud del tramo	10,0	m
Dº	Diámetro Nominal de la tubería	0,152	m
e	Espesor	0,003	m
Dc	Diámetro de Cálculo	0,149	m
k	Rugosidad absoluta PVC	1,50E-06	m
k/D	Rugosidad Relativa	0,0000	Turb. Rugoso
Sc	Sección o área de Cálculo	0,0175	m2
v	Velocidad	2,61	m/sg
n	Viscosidad Cinemática	1,40E-06	m2/sg
Re	Número de Reynolds	278.281	
f	Factor de Fricción de Darcy - Weisbach	0,0147	

### Resulta:

j	Pérdida Unitaria	0,034	m/m
Jc2	Pérdida Total por Fricción	0,34	m

**Pérdidas Localizadas:**

Accesorio	Ku	Cantidad	Kt
Entrada	1,00	1	1,00
Salida	1,00	1	1,00
Codo 90°	0,30	8	2,40
Codo 45°	0,20	0	0,00
Codo 30°	0,15	0	0,00
Te Normal	0,35	0	0,00
Te de Lado	0,85	0	0,00
Reducción	0,15	0	0,00
Ampliación	0,65	0	0,00
V.E.	0,18	1	0,18
V.M.	0,35	0	0,00
V.R.	1,25	1	1,25
<b>TOTAL SUMA DE Kt</b>			<b>5,83</b>

<b>Jl = 2,02 m</b>
--------------------

**La perdida total es:**

<b>Jtot = 2,36 m</b>
----------------------

**HB = Desnivel + Perdida de carga total**

Cota entrada a cilindro de carbon activo

3,00	m
------	---

Cota ubicación de la bomba =

0,00	
------	--

Desnivel = Desde N.D. al tanque elevado:

3,00	m
------	---

Perdida de carga total =

2,36	m
------	---

Altura (presion) minima de llegada al tanque en m

15	m
----	---

$h \geq 15 \text{ m}$

<b>HB = 20,36 m</b>
---------------------

Peso específico del agua $\gamma$ =	1000	kg/m <sup>3</sup>
Caudal Q =	0,04571	m <sup>3</sup> /s
Altura de bomba HB =	20,36	m
Eficiencia =	0,85	

**Potencia = 14,41 HP**

**Se adopta una bomba de 15 HP**

#### Tiempo y volúmen

Q =	45,71	l/s		
V =	2,00	m <sup>3</sup>	2000	lt Volumen Tanque Elevado

$$Q = V/t$$

$$t = V / Q$$

t=	44	sg
t=	0,01	hrs de bombeo para llenar el tanque elevado

#### 3.4.6.3 Conclusión

Se propone la implementación de 14 unidades de tanques de adsorción con carbón activo granular, que tendrán un TCCV de 5.32 min ya que se requiere la remoción de alto contenido de compuestos orgánicos, entre estos plaguicidas en el agua.

El tiempo de retención en los tanques será de: 5.32min

Las dimensiones de los tanques serán:

Diámetro D= 1.63m

Altura de cama de carbón activado (a)

a= 1.75m

El diámetro de las tuberías será de d= 4 pulg donde la velocidad del flujo será de 1.52m/s

Se adjunta la ficha técnica de los tanques GESKAL a implementar en anexos.

### 3.5 Manual de operación y mantenimiento de la nueva planta integrada.

Para la operación y mantenimiento que puedan permitir el funcionamiento óptimo de la planta de tratamiento de agua potable integrada, se realizó un manual que se encuentra adjuntado en los anexos, MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE SAN JACINTO.

#### 3.5.1 Costos estimativos de operación y mantenimiento de la planta de tratamiento de agua potable de San Jacinto

Se presenta un cuadro con los costos anuales de operación y mantenimiento de la planta de tratamiento de agua potable de San Jacinto. Además, se realiza el cálculo de la tarifa requerida para los usuarios, detallando todos los pasos.

##### Datos Generales

- **Caudal tratado:** 160 L/s.
- **Volumen anual tratado:** 1,500,000 m<sup>3</sup>/año.
- **Demanda diaria:** 200 L/persona/día (0.2 m<sup>3</sup>/persona/día).
- **Usuarios atendidos:**

Usuarios atendidos =  $1,500,000 \text{ m}^3 \times 0.2 \text{ m}^3/\text{persona/día} \times 365 = 20,548$  personas.

- **Tipo de cambio:** 1 USD = 6.96 BOB.

**Tabla 27. Costos estimativos de operación y mantenimiento de la planta potabilizadora de San Jacinto.**

Categoría	Detalle	Costo Aproximado (USD/año)	Costo Aproximado (BOB/año)	Observaciones
Personal Operativo	Operadores y técnicos para supervisión y mantenimiento.	29,150 – 33,847	201,500-234,000	3 operadores en turnos rotativos y 1 técnico especializado.

<b>Energía Eléctrica</b>	Bombas para retrolavado y operación de sistemas hidráulicos.	90404 -	625000-700000		Basado en un costo energético de Bs0,909/kWh
<b>Reemplazo de CAG</b>	Cambio de carbón activo granular saturado (anual).	120,000-140,000	835,200 974,400	-	34,440 kg de CAG a un precio de \$2.5 - \$3.0 USD/kg.
<b>Químicos</b>	Coagulantes, floculantes, y cloro gas para desinfección.	20,000 - 30,000	139,200 208,800	-	Incluye sulfato de aluminio y cloro gas para 13,824 m³/día.
<b>Mantenimiento Preventivo</b>	Limpieza de placas laminares, filtros y sistemas mecánicos.	15,000 - 25,000	104,400 174,000	-	Inspección y limpieza periódica.
<b>Materiales de Reposición</b>	Repuestos (válvulas, empaques, tuberías).	5,000 - 10,000	34,800 - 69,600		Para reparaciones menores e imprevistos.
<b>Monitoreo y Laboratorio</b>	Análisis de calidad del agua tratada y de procesos.	5,000 - 7,000	34,800 - 48,720		Incluye análisis fisicoquímicos y microbiológicos.
<b>Costos Administrativos</b>	Permisos, seguros, y gestión administrativa.	7,000 - 12,000	48,720 - 83,520		Incluye regulaciones locales.
<b>Otros Gastos</b>	Emergencias y reparaciones mayores.	10,000 - 15,000	69,600 104,400	-	Cobertura de eventualidades.

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 28. Total Aproximado de Costos Anuales**

<b>Rango de Costos (USD/año)</b>	<b>Rango de Costos (BOB/año)</b>
252,000 – 37,5712 USD	2,093,220 - 2,597,440 BOB

**Notas Importantes**

1. **Variaciones Regionales:** Los costos pueden variar ligeramente según los precios locales de insumos como energía, carbón activo y mano de obra.
2. **Optimización de Costos:** La regeneración del carbón activo granular podría reducir el costo anual asociado a su reemplazo completo.
3. **Durabilidad del Sistema:** El mantenimiento preventivo adecuado garantizará la eficiencia del tratamiento y evitará costos correctivos elevados.

### **Datos Iniciales**

1. **Demanda diaria por persona:** 200 litros/persona/día =  $0.2 \text{ m}^3/\text{persona/día}$ .
2. **Volumen anual tratado:** 1,500,000  $\text{m}^3/\text{año}$ .
3. **Caudal de ingreso a la planta:** 160 L/s.
4. **Costo anual total (rango):**
  - **Costo mínimo:** 2,093,220 BOB/año.
  - **Costo máximo:** 2,597,440 BOB/año.

### **Cálculo de Usuarios**

El volumen anual total tratado es de 1,500,000  $\text{m}^3$ . Con una demanda diaria de 0.2  $\text{m}^3/\text{persona}$ :

Usuarios atendidos =  $V \text{ anual tratado} / \text{Demanda diaria por persona} \times 365 = 20.548 \text{ personas}$

### **Tarifa Anual por Usuario**

Para cubrir el costo total, la tarifa anual por usuario se calcula dividiendo el costo total entre los usuarios:

#### **Costo mínimo:**

Tarifa anual mínima por usuario =  $2,093,220 \text{ BOB} / 20,548 \approx 101.87 \text{ BOB/persona/año}$

#### **Costo máximo:**

Tarifa anual máxima por usuario=2,597,440 BOB/20,548≈126.41 BOB/persona/año

### Tarifa Mensual por Usuario

Dividiendo entre 12 meses:

#### Costo mínimo:

Tarifa mensual mínima por usuario=101.87/12≈8.49 BOB/persona/mes

#### Costo máximo:

Tarifa mensual máxima por usuario=126.41≈10.53 BOB/persona/mes

### Resumen de tarifas

Tabla 29. Resumen de tarifas

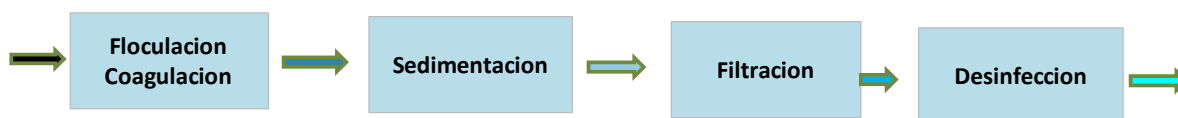
Concepto	Tarifa (mínima)	Tarifa (máxima)
Tarifa anual por usuario	101.87BOB	126.41BOB
Tarifa mensual por usuario	8.49 BOB	10.53 BOB

Fuente: Elaboración propia

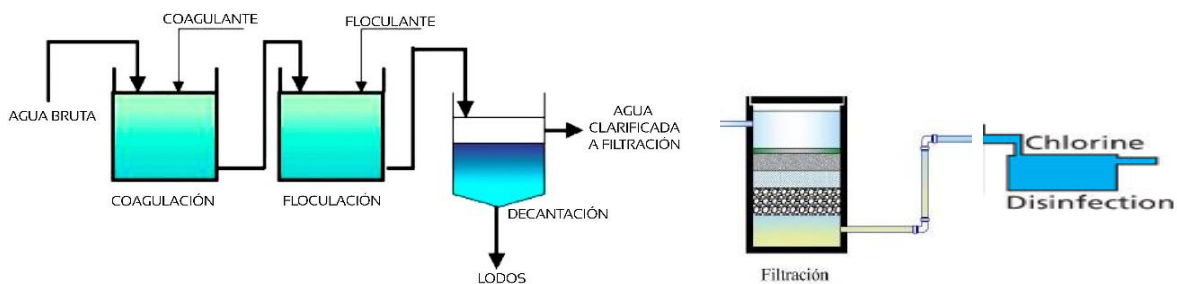
### Conclusión

La tarifa mensual por usuario necesaria para cubrir los costos operativos y de mantenimiento de la planta oscila entre **8.49 BOB/mes** y **10.53 BOB/mes**, dependiendo del rango de costos estimados. Esta tarifa asegura la sostenibilidad económica del sistema.

### 3.6 Eficiencias de remoción de contaminantes en el agua.







$$\text{Eficiencia (\%)} = \frac{\text{Media entrada} - \text{Media salida}}{\text{Media entrada}}$$

### TURBIEDAD

Valor para diseño	50,0 NTU
-------------------	----------

Ubicación	NTU	Eficiencia	Condiciones para reduccion típica
Coagulación - floculación - sedimentación (SEDIMENTADOR LAMINAR)	50,00	82,0%	Puede alcanzar hasta valores superiores al 90 %
Filtración (antracita y arena)	9,00	55,0%	Valor según la PTAP Tabladita
Salida de la planta de tratamiento	4,05		Según NB512 < 5 NTU

<b>Eficiencia total en remoción de turbiedad:</b>	<b>91,9%</b>
---	--------------

### SOLIDOS DISUELTOS

Valor para diseño	94,21 mg/L
-------------------	------------

Ubicación	mg/L	Eficiencia	Condiciones para reduccion típica
Coagulación - floculación - sedimentación (SEDIMENTADOR LAMINAR)	<b>94,21</b>	62,0%	Según laboratorio de PTAP de Tabladita
Filtración (antracita y arena)	35,80	55,0%	<a href="https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/5547/5928">https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/5547/5928</a>
Salida de la planta de tratamiento	16,11		Según NB512: No indica.

<b>Eficiencia total en remoción de SS:</b>	<b>82,9%</b>
--	--------------

**COLOR REAL**

Valor para diseño	300	Unid. APHA
-------------------	-----	------------

Ubicación	Unid. APHA	Eficiencia	Condiciones para reduccion típica
Coagulación - floculación - sedimentación (SEDIMENTADOR LAMINAR)	300,00	90,0%	Valor: Según Laboratorio de PTAP Tabladita
Filtración (antracita y arena)	30,00	50,0%	<a href="https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_mar_cha/article/view/5547/5928">https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_mar_cha/article/view/5547/5928</a>
Salida de la planta de tratamiento	15,00		Según NB512 < 15 Unid. APHA

<b>Eficiencia total en remosion de color:</b>	<b>95,0%</b>
---	--------------

**COLIFORMES TERMORRESISTENTES O E. COLI**

Valor para diseño	30	NMP/100ml
-------------------	----	-----------

Ubicación	NMP/100ml	Eficiencia	Condiciones para reduccion típica
Coagulación - floculación - sedimentación (SEDIMENTADOR LAMINAR)	30,00		Valor según: Remoción de materia orgánica natural por tratamiento convencional de agua en un río tropical
Filtración (antracita y arena)	30,00	80,0%	Entre 50 y 80 %, para niveles de Coliformes Termorresistentes en el agua cruda en el rango 2 000 a 100 000 UFC/100 ml y sólidos suspendidos entre 10 y 50 mg/l
Desinfección	6,00	99,9%	Valor según CONAGUA
Salida de la planta de tratamiento	0,01		Según NB512 < 3

<b>Eficiencia total en remosion de coliformes:</b>	<b>100,0%</b>
--	---------------

**PLOMO**

Valor para diseño	0,1420 µg/L
-------------------	-------------

Ubicación	NTU	Eficiencia	Condiciones para reduccion típica
Coagulación - floculación - sedimentación (SEDIMENTADOR LAMINAR)	0,14	50,0%	Según PTAP San Josema México
Filtración (antracita y arena)	0,07	65,0%	Entre 40 y 70 % como plaguicida organoclorado
Adsorción con CAG	0,025	70,0%	Proporcionado por el fabricante
Salida de la planta de tratamiento	0,007		Según NB512 < 0.01 µg/L

<b>Eficiencia total en remosion de plomo:</b>	<b>94,8%</b>
---	--------------

**HEPTACLORO**

Valor para diseño	0,1963 µg/L
-------------------	-------------

Ubicación	NTU	Eficiencia	Condiciones para reduccion típica
Coagulación - floculación - sedimentación (SEDIMENTADOR LAMINAR)	0,20	0,0%	
Filtración (antracita y arena)	0,20	44,0%	Entre 40 y 70 % como plaguicida organoclorado
Adsorción con CAG	0,110	95,0%	Proporcionado por el fabricante
Salida de la planta de tratamiento	0,005		Según NB512 < 0.03 µg/L

<b>Eficiencia total en remosion de heptacloro:</b>	<b>97,2%</b>
--	--------------

La filtración tiene como eficiencia remocional, 44% según los datos recolectados (informe UNAM), la adsorción con la eficiencia de 95% que es un dato proporcionado por el fabricante, con estas eficiencias se llega a reducir el heptacloro de 0.1963 µg/l hasta 0.005 µg/l.

## HEPTACLORO

Valor para diseño	1,0500 µg/L
-------------------	-------------

Ubicación	NTU	Eficiencia	Condiciones para reduccion típica
Coagulación - floculación - sedimentación (SEDIMENTADOR LAMINAR)	1,05	0,0%	
Filtración (antracita y arena)	1,05	44,0%	Entre 40 y 70 % como plaguicida organoclorado
Adsorción con CAG	0,588	95,0%	Proporcionado por el fabricante
Salida de la planta de tratamiento	0,029		Según NB512 < 0.03 µg/L

<b>Eficiencia total en remosion de heptacloro:</b>	<b>97,2%</b>
--	--------------

### 3.7 Análisis de Resultados

#### 3.7.1 Diagnóstico técnico de la planta

Los resultados obtenidos en la parte del diagnóstico de la planta potabilizadora de San Jacinto, demuestran que las deficiencias actuales de la misma pueden ser corregidas mediante acciones correctivas, preventivas y de reposición para su puesta en funcionamiento; los elementos estructurales de hormigón están en buenas condiciones, haciendo viable una operación eficiente y sostenible para el abastecimiento de agua potable en la región.

Existen placas de asbesto-cemento que se utilizaban en la planta, mismas que son cancerígenas y ahora su uso está prohibido.

#### 3.7.2 Análisis de calidad del agua

- Cumplimiento normativo

Entrada de la planta: Los parámetros de calidad del agua cruda, especialmente en términos de plaguicidas como el heptacloro, superan los límites permisibles establecidos por la NB-512.

Salida de la planta: El agua tratada presenta una reducción parcial de contaminantes, pero los niveles de plaguicidas (heptacloro= 0,1090µg/L-1) no cumplen con los estándares mínimos.

- Procesos con deficiencias identificadas

Floculación y sedimentación: Los parámetros de turbidez y sólidos en suspensión se reducen a niveles aceptables a pesar de tener tiempos de retención bajos

### **3.7.3 Propuesta de rediseño e implementación del nuevo proceso de tratamiento**

Floculación y sedimentación: Los parámetros de turbidez y sólidos en suspensión se reducen a niveles aceptables a pesar de tener tiempos de retención bajos

Filtración: La capacidad de remoción de partículas finas y contaminantes químicos nos da la eficiencia óptima por el uso de materiales filtrantes no uniformes y filtros de tasa constante con baja profundidad.

Adsorción con carbón activado: Se diseñó un sistema de adsorción que permite la eliminación efectiva de plaguicidas organoclorados, adaptado a los volúmenes de agua tratados.

Desinfección con gas cloro: Propuesta como método que llegará a reemplazar el uso de hipoclorito de sodio para la desinfección y degradación de contaminantes químicos persistentes.

### **3.7.4 Evaluación de resultados teóricos**

Plaguicidas organoclorados: La adsorción con carbón activado asegura una eliminación superior al 97%, cumpliendo con los valores normativos.

Sólidos en suspensión y turbiedad: El rediseño de los floculadores y sedimentadores nos permite llegar a reducir estos parámetros a niveles inferiores a los límites establecidos.

Desinfección: La incorporación de gas cloro y ajustes en la cloración garantiza la eliminación de patógenos y la estabilidad del cloro residual.

### **3.7.5 Manual y costos de operación y mantenimiento.**

Se elaboró un manual de operación y mantenimiento de manera breve, de la planta potabilizadora de San Jacinto modificada, con los procesos de floculación, sedimentación, filtración, adsorción, y cloración, para su puesta en funcionamiento de manera óptima.

### **3.7.6 Eficiencias de remoción de contaminantes del agua**

En base a los datos proporcionados por COSAALT R.L. acerca de los parámetros de calidad de agua estudiados por la UNAM en el año 2006, se obtuvieron eficiencias remocionales, aceptables, llegando a cumplir con los límites establecidos por la norma boliviana NB 512.

Con una eficiencia de 95% en remoción de plaguicidas el proceso de carbón activado, reduciría la cantidad de heptacloro de 0.109  $\mu\text{g/l}$  a 0.005  $\mu\text{g/l}$ , cumpliendo en demasía con el límite permisible (0.03  $\mu\text{g/l}$ ).

Este proceso con una eficiencia de 95% podría tratar hasta 0.588  $\mu\text{g/l}$  de heptacloro en el agua, dando como producto un valor de 0.029  $\mu\text{g/l}$ .

## **CAPÍTULO IV CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **4.1 CONCLUSIONES**

- La planta de San Jacinto presenta deficiencias técnicas, problemas en sus componentes y accesorios a causa de la puesta fuera de servicio de la misma. Estas deficiencias se identificaron aplicando la metodología de diagnóstico para edificaciones, reflejando la limitación de la capacidad para cumplir con los estándares de calidad establecidos por la normativa boliviana NB-512, por eso se proponen acciones preventivas, correctivas y de reposición para su posible puesta en marcha.
- El análisis de cumplimiento de los parámetros de control de calidad del agua muestra que el sistema actual, si remueve los contaminantes básicos, mínimos, y complementarios, pero no garantiza la eliminación completa de contaminantes persistentes, tal como los plaguicidas organoclorados (heptacloro) que pone en riesgo la salud pública y la sostenibilidad del recurso hídrico.

- Es posible implementar tecnologías adicionales, como la adsorción con carbón activado, para mejorar la capacidad de remoción de contaminantes y así poner en marcha la planta potabilizadora, se presenta el diseño del proceso mencionado, alcanzando una remoción del 97% en plaguicidas, ingresando a este proceso con un valor de  $0.109\mu\text{g/l}$ , y reduciéndose hasta llegar al valor de  $0.003\mu\text{g/l}$ , llegando así a cumplir con lo establecido en la norma de calidad NB 512.
- El carbón activo también tiene la capacidad de adsorber partículas que influyen en el color, olor y sabor del agua, dándonos como resultado, agua potable agradable para el gusto del consumidor.
- Este proyecto se realizó con datos proporcionados por COSAALT R.L, Informe técnico de la UNAM del año 2006, se deben actualizar los datos para poder ajustar los parámetros de diseño del proceso propuesto para la remoción de plaguicidas, proyectando la cantidad de plaguicidas en el agua, este proceso con una eficiencia de 95% podría tratar hasta  $0.588\mu\text{g/l}$  de heptacloro en el agua, dando como producto un valor de  $0.029\mu\text{g/l}$ .
- La puesta en marcha de la planta resolvería problemas críticos de abastecimiento en la región, mejorando la calidad de vida de los habitantes y garantizando un uso eficiente de los recursos existentes.

## 4.2 RECOMENDACIONES

- Establecer un plan de mantenimiento preventivo para todos los componentes de la planta.
- Realizar monitoreos periódicos de calidad del agua según la norma NB-512, con énfasis en contaminantes químicos y microbiológicos.
- Entrenar a los operadores en el manejo de nuevas tecnologías y protocolos de operación de la planta.
- Buscar financiamiento externo o asociaciones público-privadas para cubrir los costos de implementación y operación del rediseño.
- Involucrar a la comunidad en la conservación de la fuente de agua y en el uso responsable del recurso tratado.

- Debido a que los sistemas del proceso de carbón activado son patentados por las empresas que los fabrican, distribuyen e implementan, se recomienda realizar su contratación bajo la modalidad llave en mano para que así el proveedor se encargué de todo el proceso de la obra, desde la planificación hasta la entrega final (Diseño, construcción de la obra civil, y puesta en marcha).