

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1.1 Selección y definición del tema del proyecto:

**“EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE LA CIUDAD DE TARIJA (Tabladita), Y ANÁLISIS DE REÚSO DEL AGUA DE AUTOLAVADO DE FILTROS”**

### 1.1.2 Ubicación geográfica del proyecto.

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

### 1.1.3 Latitud y Longitud.

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

	<b>Latitud sur</b>	<b>Longitud oeste</b>
1. -	21°31'49.44"S	64°46'6.42"O
2. -	21°31'50.43"S	64°46'1.50"O
3. -	21°31'51.27"S	64°46'6.72"O
4. -	21°31'52.90"S	64°46'1.97"O

Tiene unos 1980 m.s.n.m. como altitud promedio.



**Figura 1.1** Instalación de la planta de tratamiento Tabladita

## **1.2 Problema de investigación:**

Baja eficiencia en el tratamiento de agua potable de la planta de tratamiento que está ubicada en el barrio “Tabladita” y alto volumen desperdiciado de agua tratada en el lavado de los filtros.

### **1.2.1 Planteamiento del problema:**

Debido a la gran demanda de agua existente en la población tarijeña, la planta de tratamiento de agua potable que está ubicada en el barrio Tabladita, tuvo que aumentar su caudal en más del doble a lo previsto en diseño inicial y esto genera incertidumbre en la población en cuanto al funcionamiento de la planta de tratamiento ya que la planta fue diseñada para un caudal de 160 l/s y en la actualidad el caudal con el cual está trabajando la planta de tratamiento es 342 l/s, y esto hace que algunas obras hidráulicas no estén trabajando eficientemente comprometiendo así a la calidad de agua que se entrega a la población tarijeña.

También se debe hacer notar que se adicionó una fuente de abastecimiento ubicada en la zona de “Las Tipas” sobre el río Guadalquivir, esta fuente sólo funciona en la época de estiaje cuando el caudal que viene de la Vitoria es menor a 180 l/s.

Por otra parte no se aprovecha el agua de auto-lavado de los filtros, teniendo que votarse un gran volumen de agua al día, puesto que los filtros se deben lavar una o dos veces al día dependiendo de la calidad de agua que ingresa a la planta de tratamiento.

El periodo de estiaje es prolongado en el departamento de Tarija puesto que en algunos barrios la gente tiene que esperar varios días para aprovisionarse de agua, es por esta razón que se quiere optimizar los recursos de agua del autolavado de filtros y darle un buen uso sabiendo que en el periodo de estiaje una gota de agua no desperdiciada hace la diferencia.

### **1.2.2 Formulación del problema:**

¿Cuál es la eficiencia en el tratamiento del agua potable en la planta potabilizadora de Tabladita y cómo optimizar al máximo el agua tratada procedente del lavado de filtros en la época de estiaje?

### **1.2.3 Sistematización del problema:**

- ✓ ¿Cuál es la eficiencia en el tratamiento del agua potable en la planta y qué medidas se podrían realizar para mejorar esta situación?
- ✓ ¿Cuál es el costo para la implementación de la propuesta planteada para reusar el agua del lavado de los filtros?
- ✓ ¿Cuál es el beneficio de reusar las aguas de lavado de filtros?

## **1.3 Objetivos del proyecto:**

### **1.3.1 Objetivo general:**

Evaluar la eficiencia en el tratamiento del agua potable en la planta de Tabladita, y analizar el reúso de las aguas de autolavado de filtros para optimizar el uso del recurso agua en la época de estiaje.

### **1.3.2 Objetivos específicos:**

- ✓ Realizar un diagnóstico de operación y mantenimiento de unidades y equipo de la planta de Tabladita
- ✓ Proponer la adición de una obra hidráulica que permita el aprovechamiento del agua que se desperdicia en el auto-lavado de los filtros.

- ✓ Determinar el costo de la propuesta para la producción del desinfectante.
- ✓ Determinar los costos para la implementación del reúso de agua de autolavado de filtros.
- ✓ Conocer los beneficios que traerá el reúso del agua.

#### **1.4 Justificación del proyecto:**

Las razones por las cuales se realiza el estudio de este proyecto son:

##### **1.4.1 Justificación académica:**

Profundizar conocimientos adquiridos en el área de la ingeniería sanitaria e hidráulica a flujo libre y aplicarlo en la evaluación de la planta de tratamiento, y mediante este proyecto optar la licenciatura en Ingeniería Civil.

##### **1.4.2 Justificación técnica:**

La metodología que se usará para el diseño de este proyecto estará basada en lo establecido en la Norma Boliviana 689 y se tomará algunas recomendaciones de libros o experiencia de profesionales expertos en diseño de plantas de tratamiento de agua potable.

##### **1.4.3 Justificación social:**

Con los ajustes y adiciones que se propongan en el diseño de la planta de tratamiento se pretende mejorar la eficiencia de funcionamiento de la misma, dando así un mejor servicio a la población y aumentar un determinado caudal tratado en época de estiaje mediante el reúso del agua de autolavado de filtros.

#### **1.5 Marco de referencia**

##### **1.5.1 Marco teórico:**

###### **1.5.1.1 Descripción general del sistema de tratamiento de la planta de Tabladita**

La planta que está ubicada en el barrio Tabladita es del tipo convencional con filtros rápidos, a continuación se detalla cada componente del sistema.

### **1.5.1.2 Procesos y operaciones unitarias del tratamiento de agua:**

El proceso de tratamiento puede incluir todas o parte de las siguientes operaciones y procesos unitarios: cribado o cernido, pre-sedimentación, aireación, coagulación, floculación, sedimentación, flotación, filtración, desinfección, fluoración y procesos complementarios como la recarbonatación, corrección del pH, estabilización de solutos, desalinización, precipitación química, intercambio iónico y adsorción para cumplir el objetivo de la unidad de tratamiento.

### **1.5.1.3 Componentes del sistema de tratamiento de la planta:**

- ✓ **Fuentes de abastecimiento.-** La planta de Tabladita cuenta con dos fuentes de abastecimiento, la fuente principal es dotada por el río La Vitoria; durante todo el año este río abastece a la planta de Tabladita, pero cuando el caudal es bajo entra en acción la otra fuente que viene del río Guadalquivir (Las Tipas).
- ✓ **Pre-sedimentación.-** Dependiendo del tamaño de la planta, podría utilizarse también la unidad de tipo triangular considerada en los sistemas de filtración lenta. Podrá ser un estanque ubicado aprovechando una depresión del terreno e impermeabilizado interiormente, o bien una unidad de tipo convencional, o laminar, diseñadas para un tiempo de retención y/o tasa de sedimentación apropiada.
- ✓ **Sala de dosificación y almacenes.-** Almacén de sustancias químicas debe tener capacidad para almacenar todas las sustancias químicas que se requieren para el tratamiento del agua.
- ✓ **Mezcladores rápidos del tipo hidráulico.-** Las unidades de mezcla rápida más utilizadas son las del tipo de resalto hidráulico, como la canaleta Parshall, el canal con cambio de pendiente o "rampa" y vertederos rectangulares o triangulares.
- ✓ **Floculadores.-** Pueden ser de flujo horizontal o vertical, se eligen de acuerdo a las dimensiones de la planta.

- ✓ **Sedimentadores de placas paralelas.-** La zona de ingreso a la zona de decantación, está compuesta por tubos de PVC con orificios en las unidades pequeñas, o canales centrales o laterales que distribuyen el flujo mediante orificios a lo largo del módulo de placas en las unidades grandes.
  
- ✓ **Filtración.-** Se debe llevar a cabo en unidades que promuevan la remoción de sólidos en suspensión por medio del paso del agua a través de un medio poroso, normalmente grava y arena, en el que actúan mecanismos de remoción según las características del proceso.
  
- ✓ **Desinfección.-** La desinfección del agua para uso humano tiene por finalidad la eliminación de los [microorganismos patógenos](#) contenidos en el [agua](#) que no han sido eliminados en las fases iniciales del tratamiento del agua.  
 La desinfección del agua es necesaria como uno de los últimos pasos en la [planta de tratamiento de agua potable](#), para prevenir que ésta sea dañina para nuestra salud. Muchas veces, tratándose de agua de [manantiales](#) naturales o de [pozo](#), la [desinfección](#) es el único tratamiento que se le da al agua para obtener [agua potable](#). La desinfección puede hacerse por medios químicos o físicos.

### 1.5.2 Marco conceptual:

- ✓ **Planta potabilizadora.-** Las plantas potabilizadoras de agua son un conjunto de obras civiles, instalaciones y equipos convenientemente dispuestos para llevar a cabo operaciones y procesos unitarios que permitan obtener aguas con calidad aptas para el consumo humano.
  
- ✓ **Agua potable.-** Aquélla que por sus características organolépticas, físico-químicas, radioactivas y microbiológicas, se considera apta para el consumo humano y que cumple con lo establecido en la norma NB 512 y el reglamento nacional para el control de la calidad de agua para Consumo Humano.
  
- ✓ **Sólidos en el agua.-** Cantidad de materia sólida presente en el agua.  
 Flóculo.- Grumo de materia orgánica formado por agregación de sólidos en suspensión.

- ✓ **Filtro.-** Dispositivo destinado a remover las impurezas del agua por distintos medios y para diferentes propósitos, como riego, consumo humano, acuarios o piscinas.
- ✓ **Floculante.-** Agente químico capaz de acelerar la unión y sedimentación de partículas en suspensión y coloidales. También se conoce con el nombre de coagulante.
- ✓ **Turbiedad.-** Propiedad óptica de una muestra de agua, que hace que los rayos luminosos se dispersen y absorban, en lugar de transmitir en línea recta.

### **1.5.3 Marco espacial:**

El espacio donde se desarrollará el proyecto de aplicación será en el barrio Tabladita.

### **1.5.4 Marco temporal:**

Todos los datos de información recogidos son del año 2015-2016.

### **1.6 Alcance:**

El presente proyecto de grado abarcará lo siguiente:

- ✓ Recolección de información necesaria por parte del proyectista.
- ✓ Realizar un diagnóstico de operación y mantenimiento de la planta de Tabladita
- ✓ Análisis de la NB 689 (Especificaciones y recomendaciones respecto a plantas de tratamiento tipo filtros rápidos) y otras normas.
- ✓ Proponer mejoras a la estructura actual de la planta de tratamiento.
- ✓ Propuesta de solución al agua que se vota en el autolavado de los filtros.
- ✓ Analizar el reúso del agua de autolavado de filtros en época de estiaje.
- ✓ Plano a detalle de la planta de tratamiento y sus posibles ampliaciones para un mejor funcionamiento.
- ✓ Precio unitario de la propuesta planteada.
- ✓ Especificaciones técnicas

## **CAPÍTULO II**

### **2 DIAGNÓSTICO DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE UNIDADES Y EQUIPO DE LA PLANTA DE TABLADITA**

**Fotografía N<sup>ro</sup>. 2.1 Planta de tratamiento Tabladita**



#### **2.1 Fuentes de abastecimiento a la planta**

La planta de tratamiento de Tabladita inicialmente tenía una sola fuente abastecimiento que se está ubicado sobre el río La Vitoria, pero con el pasar de los años se tuvo que añadir una fuente más debido a los bajos caudales que aporta el río La Vitoria en la época de estiaje.

##### **2.1.1 Río La Vitoria**

Actualmente, la principal fuente de abastecimiento de agua potable para la ciudad de Tarija es el río La Vitoria, en la cual existen en total tres obras de toma. Las obras de captaciones directas son dos: una de ellas mediante un vertedero lateral que conduce a un canal gravitacional (presa de derivación), y la otra una toma directa ubicada a 800 m aguas abajo de la presa. Una tercera toma de tipo sub superficial, consiste en una galería filtrante ubicada a 800 m aguas abajo de la toma directa. Todas las obras de toma se encuentran sobre el mismo río La Vitoria y están ubicados aproximadamente a 12 Km al oeste de la ciudad.

En la Tabla 2.1 se detallan las características principales del sistema de abastecimiento de agua potable, cuya fuente es el río La Vitoria.



**Tabla 2.1 Componentes de la planta de “Tabladita”**

Componente	Sistema de Agua Potable
Fuente	<p><b>1) Caudales:</b>            -- Caudal medio época de lluvia de 326 l/s, mínimo 90 l/s, promedio 230 l/s            -- Caudal medio época de estiaje 142 l/s            -- Caudal medio anual 249 l/s</p> <p><b>2) Obras de captación:</b> a 12km al oeste de la ciudad, a una altura de 2200 msnm            Toma 1: Presa de derivación Rincón de la Vitoria del año 1989            Toma 2: Toma directa, a 800 m aguas abajo de la presa de derivación            Toma 3: Galería Filtrante del año 1939, a 1.600m aguas abajo de la presa de derivación</p> <p><b>3) Aducción:</b> Desde la presa de derivación en el río La Vitoria hasta el desarenador, y luego a la planta de tratamiento de Tabladita, con una longitud total de aproximadamente 13 km., mediante un canal de mampostería de piedra con tramos de tubería de fierro fundido.</p>
Tratamiento	<p>El agua es tratada en la Planta de Tratamiento de La Tabladita construida el año 1990, con los siguientes procesos:</p> <p><b>a) Floculación</b>  <b>b) Sedimentación</b>  <b>c) Filtración</b>  <b>d) Cloración</b></p>
Almacenamiento	<p>En tanques de almacenamiento ubicados en los predios de la planta potabilizadora, para su posterior distribución directa a la red.</p>
Distribución	<p>Red de agua domiciliaria Tarija a través de medidores de consumo administrado por COSAALT.</p>

Fuente: Elaboración en base a información de COSAALT

### 2.1.1.1 Obras de toma sobre el río La Vitoria

a) **Presa de derivación:** La presa derivadora se ubica en el sitio denominado Rincón de la Vitoria, sobre el río del mismo nombre. Dicha obra fue construida en 1989, y está constituida por un vertedero frontal tipo Creager que se dispone prácticamente perpendicular al lecho del río, con una altura aproximada de 2,0 m y una longitud de 20 m. La mencionada estructura de hormigón ciclópeo se halla provista de una toma lateral directa en el margen izquierdo, que capta las aguas a través de una cámara lateral. Este dispositivo es la obra de captación propiamente dicha, tiene en la entrada una rejilla metálica para evitar en la época de crecidas el acceso de material grueso de arrastre o de sólidos flotantes. La cámara de entrada cuenta con una compuerta vertical maniobrable desde la parte superior, cuya acción es la de facilitar la limpieza y permitir regular los caudales de entrada, cuando es necesario. Actualmente, la presa de derivación se encuentra en general en buenas condiciones, sin embargo, cumple su función solamente durante la época seca, captando prácticamente la totalidad del caudal de estiaje.

Durante la época húmeda, el material de arrastre del río pasa por la cresta del vertedero y obstruye la entrada del agua para la toma lateral, por lo que esta toma sólo opera durante la época seca.

b) **Toma directa:** Esta toma consiste en un ingreso directo de las aguas que escurren por el río hacia el canal que baja desde la presa de derivación, aproximadamente a 800 m aguas debajo de esta última. La misma presenta una reja metálica para evitar el ingreso de material de arrastre mayor a 2.5 cm.

c) **Galería filtrante:** Aproximadamente a 1.600 m aguas abajo de la presa de derivación, se ubica una galería filtrante, la cual está construida de mampostería de piedra y provista de barbacanas laterales, con una longitud de 30 m, ancho de 0,60 m, y altura de 0,80 m. La galería se halla situada a una profundidad promedio de 6,70 m. La operación de la galería filtrante se limita solamente a la época húmeda, debido a que en estiaje la totalidad del caudal es captado aguas arriba mediante la presa de derivación.

Las aguas captadas en las tres tomas del río La Vitoria se unen en un solo curso aguas abajo, para ser conducidas al desarenador y posteriormente a la planta de tratamiento de La

Tabladita. Los aforos realizados en el canal aductor permitieron obtener caudales del orden de 342 l/s.

### 2.1.2 Río Guadalquivir-Las Tipas

Una segunda fuente de agua es la denominada Las Tipas, la cual está ubicada en el Angosto de Aranjuez sobre el río Guadalquivir en las coordenadas 317267 E y 7619510 S, y desde ahí se bombean las aguas a la planta de tratamiento Tabladita. La captación de las aguas del río Guadalquivir es directa. Se tiene un pequeño canal de aproximación, un depósito desarenador, un sedimentador y un cárcamo de bombeo. Esta obra de toma entra en funcionamiento únicamente en época de estiaje, a fin de compensar el descenso de los niveles de agua en La Vitoria.

**Tabla 2.2 Resumen de fuentes de abastecimiento a la planta de tratamiento “Tabladita”**

<b>Fuente</b>	<b>Tipo de capacitación</b>	<b>Tipo de conducción</b>	<b>Lugar del tratamiento</b>	<b>Lugares de abastecimiento</b>	<b>Capacidad instalada</b>
<b>Río de la Vitoria</b>	Presa de derivación, toma directa y galería filtrante	Gravedad	Planta tabladita	Centro de la ciudad y zona sur de la ciudad	342 l/s
<b>Río Gualquivir (Las tipas)</b>	Toma directa	Bombeo	Planta tabladita	Centro de la ciudad y zona sur de ciudad	80 l/s
<b>Total de Recurso Disponible</b>					<b>422 l/s</b>

Fuente: Elaboración propia

## 2.2 Producción de las fuentes de abastecimiento a la planta de Tabladita en (l/s)

La producción de caudal que llega a la planta de tratamiento para que luego se proceda con la potabilización se detalla en la siguiente tabla, tomando el registro de 5 años.

**Tabla 2.32 Caudales que ingresan a la planta potabilizadora**

AÑO	ENE (l/s)	FEB (l/s)	MAR (l/s)	ABR (l/s)	MAY (l/s)	JUN (l/s)	JUL (l/s)	AGO (l/s)	SEP (l/s)	OCT (l/s)	NOV (l/s)	DIC (l/s)	PROMEDIO ANUAL (l/s)
2013	332	330	342	326	299	264	242	206	186	185	195	309	268
2014	323	336	332	342	342	327	232	234	220	209	213	226	278
2015	324	317	326	342	342	328	232	231	220	226	213	221	277
2016	325	330	326	337	299								323
Prom.	326	328	332	337	321	307	236	224	209	207	207	252	274

Fuente: Elaboración en base a información de COSAALT

### 2.2.1 Aducción La Vitoria - Planta de tratamiento Tabladita

La conducción del agua desde las tomas de La Vitoria comienza con la presa derivadora que se encuentra a una mayor altura en la cuenca. Desde la presa derivadora sale un canal aductor, que también capta las aguas de la toma directa, y aproximadamente 1.9 km aguas abajo se une con un canal que transporta el agua de la galería filtrante; es en este punto donde el agua de la presa derivadora, de la toma directa y la galería filtrante se unen para posteriormente ser transportadas a la planta potabilizadora.

El agua captada fluye por gravedad mediante un canal cubierto con un desnivel aproximado de 284 m hasta la planta de La Tabladita. La sección del canal es semicircular en la base, compuesto de mampostería de piedra, con paredes laterales verticales, revestidas con mortero de cemento con espesor que varía de 5 cm a 3 cm. El ancho de la sección del canal es de 0.50 m hasta 0.75 m, y la pendiente de fondo es muy variable en toda su longitud existiendo valores que van desde 0.10% hasta

0.26% en algunos tramos cortos.

Este canal de aducción cuenta con ecuaciones de calibración en la cámara de medición de La Vitoria a pocos metros de la galería filtrante, donde un consorcio a través de mini molinete y métodos volumétricos determinó la siguiente expresión  $Q = 621.9h^{3.407}$  en esa cámara. De

igual manera existe una ecuación de calibración a la llegada al desarenador con la siguiente expresión  $Q = 689h^{2.67}$ .

A lo largo de la aducción existen tramos intercalados con tubería de hierro fundido, especialmente en los pasos de quebradas. También se cuenta con puentes acueductos por los que pasa el canal aductor, cruzando quebradas y tramos irregulares.

**Fotografía 2.2 canal de aducción**



**fotografía 2.3 Desarenador**



Antes de llegar a la planta potabilizadora, aproximadamente a 1 km de longitud existe un Desarenador, el cual fue reacondicionado en 1988 y financiado por el BID, es de forma rectangular con dimensiones de 14 m de largo y 5 m de ancho. El mismo está compuesto de mampostería de piedra con revoque de mortero sus paredes, y cuenta con un bypass para poder llevar a cabo trabajos de operación y mantenimiento. Se encuentra en óptimo estado y se llevan a cabo trabajos de mantenimiento.

Del desarenador el agua es transportada hacia la Planta de Tratamiento Tabladita mediante una tubería de FFD (16"). Al mismo tiempo, se conduce el agua desde el desarenador hacia el barrio Alto Senac.

### 2.1.1.1 Diagnóstico

El canal presenta pérdidas en algunos puntos de su trayectoria, esto se debe a conexiones erradas y también pérdidas por infiltración debido a fisuras en las paredes y la base del canal, en la cuantificación de la pérdida que se hizo se pudo ver que hay una pérdida del 13% en total, no se pudo realizar un estudio más minucioso debido a la dificultad para determinar las pérdidas por conexiones erradas, pero se vio que el porcentaje mayor se debe a las conexiones que la gente hace del canal.

### 2.1.1.2 Recomendaciones

- ✓ Se debe hacer un recorrido más frecuente del canal para identificar los puntos donde existe pérdida y solucionar de manera inmediata.
- ✓ Realizar una limpieza general del canal de aducción, debido a la existencia de algas y lama en el interior del mismo
- ✓ Para optimizar el recurso agua y evitar pérdidas en el trayecto se debe cambiar de hormigón ciclópeo a tubería.

### 2.2.2 Impulsión Las Tipas - Planta de tratamiento Tabladita

El agua de este sistema es transportada mediante bombeo desde la obra de toma directa Las Tipas, por una tubería de aducción de FFD de 300 mm, hasta la Planta de Tratamiento de La Tabladita, con un desnivel de 98 m. Las características técnicas del sistema de bombeo Las Tipas son las detalladas en la tabla

**Tabla 2.4 Características del bombeo Las Tipas**

Característica	Dato
Altura de bombeo (manométrico)	98 m
Diámetro de la tubería de impulsión	300 mm
Tipo de Tubería	FFD
Numero de bombas	1.650 m
Potencia de las Bombas	100 HP c/u
caudal de Bombeo	80 l/s
Caudal por Bomba	40 l/S

Fuente: Elaboración en base a información de COSAALT

## **2.3 Componentes de la planta de tratamiento**

Está ubicada en la zona de Tabladita, construida en los años 1989 – 1990, es de tipo convencional, con una capacidad nominal de 160 l/s. El proceso de tratamiento se inicia en el desarenador que está localizado 1.095 m antes de llegar a la planta de tratamiento. Este desarenador es un depósito rectangular de  $L=14$  m,  $A=5.0$  m y  $H= 3.0$  m, construido con mampostería de piedra y revoque de cemento. A la entrada tiene un dissipador de energía que permite re-direccionar el flujo y disminuir su velocidad. La diferencia de nivel desde el desarenador hasta la planta es de 97 metros.

A la fecha está en buenas condiciones de funcionamiento en sus estructuras principales, siendo la gran limitación la poca capacidad de tratamiento ya que en periodos de diciembre a mayo ingresa agua en mayor cantidad por existir en la fuente. Las unidades de la planta se describen a continuación.

### **2.3.1 Unidad de mezcla de químicos**

En esta unidad se realiza el preparado de los químicos para facilitar la eliminación de los sólidos en suspensión que contiene el agua y los elementos químicos utilizados son sulfato de aluminio y cal de acuerdo a la turbiedad se dosifica los mismos y se prepara en esta unidad y es adicionado al agua en el canal Parshall para la mezcla rápida.

**Fotografía 2.4 Tanques de mezcla de sulfato de aluminio**



## 2.3.2 Unidad de mezcla rápida

Fotografía 2.5 Mezcla rápida



Caída de agua ahoga el resalto en la rampa de mezcla rápida

### 2.3.2.1 Función

Medir el caudal de agua que se va a tratar, para registrar el volumen potabilizado diariamente y para adicionar la cantidad necesaria de sulfato de aluminio y aprovechando el resalto hidráulico tener una mezcla homogénea del coagulante

### 2.3.2.2 Diagnóstico

El agua que viene del rincón de La Vitoria al ser de buena calidad no requiere pasar los procesos de floculación ni sedimentación, sólo cuando existe turbiedad debido a lluvias se realizan estos procesos, pero el agua que proviene del río Guadalquivir (las Tipas) si requiere pasar todos los procesos unitarios para su potabilización, y se tiene un problema en la mezcla rápida debido a que la tubería que llega de dicha aducción no cumple las condiciones para que la mezcla sea homogénea.

Como se puede ver en la imagen siguiente el agua llega por una tubería y cae en forma de chorro en la base de la rampa y como la caída contiene agua que viene del rincón de La Vitoria no se mezcla eficientemente debido a que la caída es ahogada y no produce la agitación que se necesita para tener una mezcla homogénea.



### **2.3.2.3 Recomendaciones**

- ✓ Se debe cambiar o adicionar una obra hidráulica que permita una mezcla homogénea para que la floculación sea eficiente.

### **2.3.3 Unidad de floculación**

Existen 2 floculadores hidráulicos de 3 compartimientos cada uno. Un floculador tiene dimensiones de 12,3 m de largo, 3,5 m de ancho y 1,5 m de profundidad, y el otro de 12,3 m de largo, 3,0 m de ancho y 1,5 m de profundidad, para tratar los 160 l/s.

Desde la unidad de mezcla rápida el agua es conducida por canal a la unidad de floculación, donde se dispone en su interior en total 102 pantallas de madera espaciadas entre 0.50 hasta 0.70 m.

El objetivo de esta unidad es permitir la formación de los flocs a ser precipitados en el sedimentador.

#### **2.3.3.1 Función**

Permitir que los pequeños flocs formados por la desestabilización eléctrica de los coloides, colisionen y se agrupen mediante el movimiento del agua en los baffles de tal manera que aumenten su tamaño y sea más fácil su sedimentación.

**Fotografía 2.6 Unidad de floculación**



### 2.3.3.2 Diagnóstico

En la época de lluvias cuando el caudal pasa los 340 l/s los floculadores colapsan en su totalidad, el agua sobrepasa los baffles de madera que son parte del floculador y sirven como guía para el recorrido del agua, pero como es agua de buena calidad no afecta en la eficiencia de tratamiento.

En la época de estiaje, es decir cuando se bombea agua del río Guadalquivir el floculador trabaja con un caudal que oscila entre 180 a 250 y especialmente cuando el río Guadalquivir hace una llegada trae agua muy turbia y esto hace colapsar el floculador.

También se pudo evidenciar que existen pérdidas por infiltración en el interior del floculador y algunos baffles no están en buenas condiciones al igual que algunas compuertas del canal que une el floculador con el sedimentador.



### Recomendaciones

- ✓ Se debe cambiar algunos baffles de madera que estén dañados y algunas compuertas metálicas del floculador
- ✓ El lavado debe ser más frecuente debido a que se deposita gran cantidad de sedimentos en el floculador.
- ✓ Realizar un control del agua floculada para mejorar la dosificación de sulfato de aluminio de tal manera se tenga un eficiente funcionamiento de este proceso.

### **2.3.4 Unidad de sedimentación**

**Fotografía 2.7 Unidad de sedimentación**



A la salida de la unidad de floculación, el agua es conducida por un canal a la unidad de sedimentación que contiene placas de PVC inclinadas para precipitar los flocs. El flujo es ascendente, donde varias tuberías perforadas conducen el agua clarificada en esta unidad y se transporta a la unidad de filtración.

#### **2.3.4.1 Función**

Remover las partículas con mayor densidad que el agua, que se formaron mediante el aglutinamiento de partículas en la floculación.

#### **2.3.4.2 Diagnóstico**

El funcionamiento en época de lluvias el sedimentador prácticamente no cumple la función para la cual fue diseñado debido a las condiciones del agua que ingresa debido a que ésta no ha pasado los procesos unitarios que anteceden a la sedimentación.

En la época de estiaje el sedimentador se ve afectado porque el caudal de ingreso es mayor en un 40 % más del previsto en su diseño inicial.

Las válvulas se cierran correctamente a pesar del deterioro, principalmente por la corrosión y la maniobrabilidad.

Las paredes de hormigón presentan desgaste normal producido por el trabajo continuo de más de 20 años desde su concepción, en una de ellas se puede apreciar una fisura entre la unión de la pared del sedimentador con la de los filtros, dicha fisura está produciendo pérdidas leves pero que dañan sin duda la estructura.

#### **2.3.4.3 Recomendaciones**

- ✓ Hacer limpieza de la suciedad de las partes muertas en el canal de entrada a la unidad
- ✓ Cambiar las compuertas que estén deterioradas y en mal estado
- ✓ Impermeabilizar las paredes y el fondo del sedimentador
- ✓ Aplicar frecuencias de mantenimiento preventivo para conservar los equipos
- ✓ Disminuir el caudal de entrada a la unidad con el fin de tener una mayor eficiencia en la decantación
- ✓ En la operación diaria se debe tomar y registrar la turbiedad a la entrada y salida de este proceso para optimizar y tener una dosificación mejor en los procesos anteriores (mezcla rápida y floculador).

#### **2.3.5 Unidad de filtración**

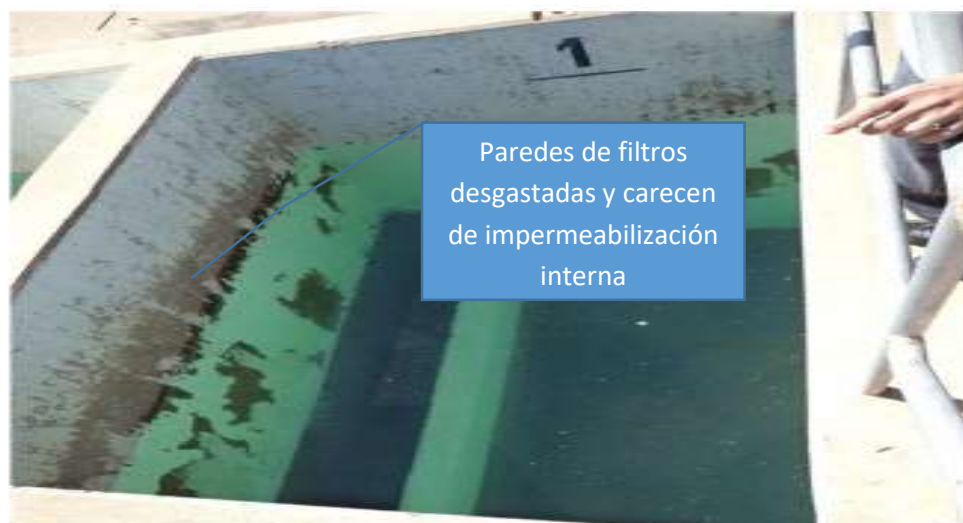
La unidad de filtración es de flujo descendente, donde el agua sedimentada atraviesa una capa de antracita en un espesor de 50 cm, luego una capa de arena de 25 cm de espesor, seguido de una capa de grava de 25 cm, y finalmente el agua es captada con un fondo tipo Wheler para posteriormente pasar a la unidad de cloración o desinfección.

##### **2.3.5.1 Función**

Remover las partículas y microorganismos objetables, presentes en el agua que no han quedado retenidos en el proceso de coagulación y sedimentación.

Consiste en hacer pasar el agua con una determinada rata de filtración a través de un medio poroso de material granular

### Fotografía 2.8 filtros rápidos



#### 2.3.5.2 Diagnóstico

Las paredes de los filtros se encuentran en buenas condiciones debido al mantenimiento reciente que le dieron, algunas válvulas están desgastadas y lo mismo dos compuertas del canal de recolección están produciendo pérdidas considerables de agua tratada, el material de filtración es de buena calidad pero necesita ser cambiada la antracita porque en el proceso de impermeabilización no se tuvo cuidado y se dejó partes con pintura y demás material arruinando gran parte del material filtrante.

El lavado es más por criterio de los operadores y algunas veces no se lavan los filtros adecuadamente produciendo pérdidas de agua de manera considerable, en los registros de partes diarios se ve que algunas veces por falta de agua no se lava todos los filtros y esto ocasiona obstrucciones en el proceso de filtración.

#### 2.3.5.3 Recomendaciones

- ✓ Cambiar el material filtrante que se arruino por la pintura impermeabilizante y aumentar la altura de la antracita o el material fino que se usa para la filtración para mejorar la eficiencia en este proceso.
- ✓ Colocar nuevas compuertas y válvulas que estén dañadas de tal manera que se reduzcan las pérdidas por accesorios

- ✓ Realizar los lavados de manera correcta, teniendo un ciclo de lavado en función al agua que ingrese a la planta, es evidente que en la época de estiaje se tendrá que lavar los filtros de manera más frecuente para optimizar los recursos agua especialmente en la época de estiaje.
- ✓ Tener especial cuidado con el lavado de los filtros a fin de obtener una limpieza efectiva en el lecho filtrante.
- ✓ Tomar muestra de la turbiedad del agua filtrada justo a la llegada a los tanques para hacer más preciso un diagnóstico de la calidad del agua producida.

### **2.3.6 Unidad de desinfección**

El agua filtrada es conducida a una cámara de desinfección mediante cloro líquido (hipoclorito de sodio al 8.5%, también se usa gas cloro).

#### **2.3.6.1 Función**

La desinfección de las aguas para consumo humano, con la misión específica de matar en forma selectiva, a aquellos microorganismos vivientes, que pueden difundir o transmitir infecciones a través del agua, la desinfección química (Cloro ) ofrece mayores éxitos en la eliminación de microorganismos patógenos hídricos.

**Fotografía 2.9 Casa de desinfección**



### **2.3.6.2 Diagnóstico**

La desinfección se hace con hipoclorito de sodio y también con gas cloro, teniendo mejores resultados con este último, el cual se encuentra en buenas condiciones, en la operación se vio que algunos operadores no conocen bien la dosificación pudiendo poner en riesgo su salud.

Cuando se agota el gas cloro se procede a desinfectar con hipoclorito de sodio, sustancia líquida en concentración al 8% que reemplaza mientras se aprovisiona de gas cloro, la desinfección con este desinfectante no es tan eficiente pero es mucho más económico.

Los cilindros se encuentran en el depósito de la caseta de cloración obstruyendo el libre tránsito allí y poniendo en riesgo la salud de los operadores por alguna fuga que existiese en el área.

### **2.3.6.3 Recomendaciones**

- ✓ Se debe tener un depósito para guardar los cilindros de gas cloro en una parte más segura y que cumplan con los requisitos mínimos que requiere el manejo de gas cloro de manera segura.
- ✓ Capacitar a los operadores de la planta para que puedan manejar el gas cloro de manera segura.
- ✓ Tener cuidado en la operación del gas cloro especialmente cuando se está cambiando de cilindro.
- ✓ El personal debe contar con el equipo necesario para seguridad en la operación de cambio del gas cloro.
- ✓ Verificar cualquier funcionamiento anormal en el equipo dosificador.
- ✓ Tener en cuenta que la desinfección del agua, tiene mejores resultados en rango de pH ácido. Hay que analizar si se justifica realizar esta operación, en caso de que se requiera mejor eficiencia en la desinfección.

### **2.3.7 Unidad de almacenamiento de agua tratada**

Luego de salir de las unidades de filtración, y agregarle la solución de hipoclorito en línea, el agua tratada es conducida mediante tubería de FFD en diámetro 400 mm, a dos tanques de

almacenamiento de 900 m<sup>3</sup> cada uno, localizados en el mismo predio de la planta La Tabladita.

### 2.3.7.1 Función

Atender las variaciones del consumo de agua, almacenando ésta en los periodos en los cuales el suministro de agua al tanque es mayor que el consumo, y suministrar parte del caudal almacenado para suplir así la deficiencia.

**Fotografía 2.10 Tanques de almacenamiento**



A partir de aquí, el agua es conducida a los tanques de regulación en la Loma de San Juan mediante una tubería de 400 mm, y a una distancia de 1.840 m de la planta, así como también a la red de distribución.

### 2.3.7.2 Diagnóstico





Los dos tanques de abastecimiento se encuentran en buenas condiciones, el uno de ellos presenta algunos problemas en el acceso debido a que la escalera se arruinó por el desgaste de los años y la corrosión, la cámara de válvulas que está a la salida de los tanques presenta problemas estructurales, debido a pequeños asentamientos estructurales que se presentaron en el sitio pero no comprometen la estabilidad de la estructura.

Las válvulas de salida están desgastadas debido al uso y a la corrosión, en las uniones presentan pequeñas filtraciones en especial en las uniones y cambios de dirección de la tubería que conduce el agua al taque que está ubicado en la zona de la Loma.

No se tiene el dato de caudal que sale de los tanques de almacenamiento al no contar con un macro-medidor en la tubería o algún dispositivo que pueda permitir un registro diario de la producción de la planta.

Se hace los controles básicos en el tanque por parte del departamento de calidad que es dependiente de COSAALT. Y también los operadores de la planta controlan especialmente el pH y registran en el parte diario cada dos horas.

### **2.3.7.3 Recomendaciones**

- ✓ Instalar macro-medidores a la salida de los tanques, porque es necesario tener un control preciso del volumen de agua entregado a la red de distribución. Estos elementos permitirán a los operadores entregar un análisis diario del volumen de agua potabilizada, con la total producida y con ese dato se podrá hacer un balance hidráulico más preciso de las pérdidas de agua en los diferentes procesos unitarios
- ✓ Cambiar la válvula del tanque 1 por el mal estado en el que se encuentra
- ✓ Analizar si se requiere ampliación del almacenamiento debido al reúso del agua de lavado de filtros
- ✓ Reparar alguno de los peldaños que se encuentran dañados en la escalera del tanque uno

### **2.4 Parámetros de control de calidad del agua**

En atención a la Norma Boliviana NB 512, los parámetros de control de calidad del agua para consumo humano que deben realizar las EPSA, se agrupan de acuerdo a su factibilidad

técnica y económica en los siguientes grupos: Control Mínimo, Control Básico, Control Complementario y Control Especial.

#### **2.4.1 Parámetros de control mínimo.**

Los parámetros de Control Mínimo de la calidad del agua para consumo humano que deben realizar las EPSA, se presentan en la Tabla 2.6

**Tabla 2.6 Parámetros de Control Mínimo a realizar**

<b>Parámetro</b>	<b>Valor máximo</b>
<b>pH</b>	<b>6,5 –9,0</b>
<b>Conductividad</b>	<b>1.500 <math>\mu</math>S/cm*</b>
<b>d</b>	
<b>Turbiedad</b>	<b>5UNT</b>

**Fuente:** NB 512 Reglamento Nacional Ctrol. Calidad de agua para el consumo Humano

\* El valor máximo aceptable de la conductividad, se puede expresar también como 1.000 mg STD/l.

#### **2.4.2 Parámetros de control básico.**

Los parámetros de Control básico de la calidad del agua para consumo humano que deben realizar las EPSA, se presentan en la Tabla 2.7

**Tabla 2.7 Parámetros de control básico**

<b>Parámetro</b>	<b>Valor máximo aceptable</b>
<i><b>Físicos</b></i>	
Color	15 UCV
<i><b>Químicos</b></i>	
Sólidos totales disueltos	1.000 mg/l 370,0 mg/l de CaCO <sub>3</sub>
<i><b>Químicos Inorgánicos</b></i>	
Alcalinidad total	
Calcio	
Cloruros	
Dureza	200,0 mg/l
Hierro total	250,0 mg/l
Magnesio	500,0 mg/l
Manganeso	de CaCO <sub>3</sub>
Sodio	0,3 mg/l
Sulfatos	150,0 mg/l 0,1 mg/l 200,0 mg/l 400,0 mg/l

**Fuente:** NB 512 Reglamento Nacional Ctról. Calidad de agua para el consumo humano.

#### **2.4.3 Parámetros de control complementario.**

Los parámetros de Control Complementario de la calidad del agua para consumo humano que deben realizar las EPSA, se presentan en la Tabla 2.8

**Tabla 2.8 parámetros de control complementario**

<b>Parámetro</b>	<b>Valor máximo aceptable</b>
<b>a) Químicos Inorgánicos</b>	
Aluminio	0,1 mg/l
Amoníaco	0,5 mg/l
Arsénico	0,01 mg/l
Boro	0,3 mg/l
Cobre	1,0 mg/l
Fluoruro	1,5 mg/l
Nitritos	0,1 mg/l
Nitratos	45,0 mg/l
Plomo	0,01 mg/l
Zinc	5,0 mg/l
<b>b) Subproductos de la</b>	
<b>Desinfección</b>	
Trihalometanos totales (THM)	100 µg/l

(\*) Existen plaguicidas cuyos valores individuales pueden superar el valor máximo aceptable individual o la suma de sus valores individuales superar el valor máximo total

#### **2.4.4 Parámetros de control especial.**

Los parámetros de Control Especial de la calidad del agua para consumo humano que deben realizar las EPSA, se presentan en la Tabla 2.9 estos parámetros serán realizados en

situaciones de desastre o en casos especiales de acuerdo con el historial de la fuente y/o región, o cuando así lo vean por conveniente las EPSA y/o la SISAB.

Tabla 2.9 Parámetros de control especial

<b>Químicos Inorgánicos</b>	
Antimonio	0,005 mg/l
Bario	0,7 mg/l
Cadmio	0,005 mg/l
Cianuro	0,07 mg/l
Cromo Total	0,05 mg/l
Mercurio Niquel	0,001 mg/l
Sabor y olor	0,05 mg/l
Selenio	
<b>Químicos Orgánicos</b>	
<b>Hidrocarburos</b>	
	Aceptable.
Tolueno Etilbenceno	
Xileno Benzo(a)pireno	0,01 mg/l

Fuente: Guías de la OPS/OMS 1995 \* Bq = Bequerelio

#### 2.4.5 Métodos analíticos de referencia para análisis de calidad de agua

Las determinaciones analíticas de los parámetros indicados en la reglamentación, deben ejecutarse de acuerdo y siguiendo normas vigentes, tomando como referencia métodos estándar de análisis publicados por APHA, AWWA, WPCF, ASTM DIN o lo señalado

en la Tabla N° 2.10 Métodos analíticos de referencia:

**Tabla 2.10 Métodos analíticos de referencia**

<b>Parámetro</b>	<b>Método de análisis</b>
<b>Parámetros organolépticos</b>	
Color	Espectrofotométrico.
Turbiedad	Nefelométrico, Jackson
Olor	Número umbral
Sabor	Número umbral
<b>Parámetros físicos- químicos</b>	
pH (ión hidronio)	Electrométrico
Conductividad	Electrométrico
Alcalinidad	Volumétrico
Sulfato	Nefelométrico, cromatografía de iones.
Cloruro	Volumétrico - nitrato de plata o nitrato.
Cloro residual	Espectrofotométrico DPD
Dureza total	Volumétrico EDTA
Calcio	Volumétrico EDTA, fotometría de llama.
Magnesio	Espectrometría de absorción atómica,
Aluminio	Espectrometría de absorción atómica.
Sodio	Fotometría de llama, espectrometría.
Sólidos disueltos totales	Espectrofotométrico, Gravimétrico.
<b>Otros parámetros inorgánicos</b>	
Nitrato	Espectrofotométrico reducción de
Nitrito	Espectrofotométrico diazotización, cromatografía de iones

<b>Parámetro</b>	<b>Método de análisis</b>
Nitrógeno amoniacal	Ión selectivo, espectrofotométrico fenato
Fluoruro	Ión selectivo, espectrofotométrico
Boro	Espectrometría de absorción atómica,
Bario	Espectrometría de Absorción Atómica
Hierro ferroso	Espectrofotométrico 1,10 – fenantrolina
Hierro total	Espectrometría de Absorción Atómica,
Manganeso	Espectrometría de absorción atómica,
Cobre	Espectrometría de absorción atómica,
Zinc	Espectrometría de absorción atómica,
Antimonio	Espectrometría de absorción atómica, horno de grafito, espectrofotométrico.
<b>Otros parámetros orgánicos</b>	
Cloroformo	Cromatografía de Gases
Fenoles	Espectrofotométrico 4 amino antipirina
Archilamida	Cromatografía de gases
Epiclorhidrina	Cromatografía de gases
Hidrocarburos totales	Espectrofotometría IR,
Tolueno	Cromatografía de gases
Benceno	Cromatografía de ases
Triometanos	Cromatografía de gases
Cloruro de vinilo	Cromatografía de gases
<b>Parámetros relativos a sustancias tóxicas</b>	
<b>Plaguicidas</b>	
Plaguicidas Totales	Cromatografía de gases (detector, ECD, NPD), Cromatografía líquida (detector
Plaguicidas Individuales	Cromatografía de gases (detector ECD, NPD) y Cromatografía líquida (detector
Arsénico	Espectrofotométrico dietil ditio carbamato de plata, espectrometría de absorción

**Fuente:** NB 512 Reglamento Nacional Ctról. Calidad de agua para el consumo Humano

<b>Parámetro</b>	<b>Método de análisis</b>
Cadmio	Espectrometría de absorción atómica - Espectrofotométrico ditizona
Cianuro	Espectrofotométrico cloramina T.
Cromo total	Espectrometría de absorción atómica,
Mercurio	Espectrometría de absorción atómica,
Plomo	Espectrometría de absorción atómica, horno de grafito, Espectrofotométrico
Selenio	Espectrometría de absorción atómica, generación de hidruros,
<b>Parámetros microbiológicos</b>	
Coliformes totales	Filtración en membrana- ISO 9308
Coliformes termoresistentes	Filtración en membrana – ISO 9308
Escherichia coli	Filtración en membrana, Colilert – ISO
Heterotróficas totales	Filtración en membrana
Clostridium perfringens	Cultivo anaeróbico
Pseudomonas aeruginosa	Filtración en membrana
Cryptosporidium sp.	Concentración e identificación
Giardia sp.	Concentración e identificación
Amebas	Concentración e identificación

**Fuente:** NB 512 Reglamento Nacional Ctrol. Calidad de agua para el consumo Humano



**TABLA 2.1 valores máximos aceptables por la norma boliviana NB 512 (agua potable – requisitos)**

Nº	Parámetro	Valor máximo aceptable	Unidad
<b>Análisis Físicos</b>			
1	Turbiedad	5	U.N.T
2	Color	15	U.C. Escala Pt – Co
3	Olor *	-	-
4	Sabor *	-	-
5	Temperatura *	-	°C
6	Sólidos totales disueltos	1 000	mg/l
7	Sólidos totales suspendidos **	-	mg/l
<b>Análisis Químicos</b>			
8	Dureza total	500	mg/l (Ca CO <sub>3</sub> )
9	Calcio***	-	mg/l
10	Magnesio***	-	mg/l
11	Manganeso	0,1	mg/l
12	Hierro total	0,3	mg/l
13	Sulfatos	400,	mg/l
14	Cloruros	250	mg/l
15	Fluoruros	(0,6 – 1.5)****	mg/l
16	Nitratos <sup>(1)</sup> NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	45	mg/l
17	Nitritos <sup>(1)</sup> NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0,1	mg/l
18	pH	6,5 – 9,0	-
<b>Análisis Bacteriológicos</b>			
19	Coliformes totales	0,0 UFC/100 ml	<2 NMP/100 ml*****
20	Escherichia coli ( <i>E. coli</i> )	0,0 UFC/100 ml	< 2 NMP/ 100 ml
<b>Análisis Complementarios</b>			
21	Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO <sub>5</sub>	N.E.	mg/l
22	Oxígeno disuelto OD	N.E	mg/l
23	Conductividad	1 500	µmhos/cm

(\*) Debe ser inobjetable.

(\*\*)Guardan relación con la turbiedad.

(\*\*\*) Guardan relación con la dureza total

(\*\*\*\*) Concentraciones mínima y máxima para diferentes temperaturas (ambiente); Véase NB 512 (Agua potable - Requisitos).

(\*\*\*\*\*)NMP/100 ml, Número Más Probable por 100 ml o UFC/100 ml, Unidades Formadoras de Colonias por 100 ml según la técnica empleada (Tubos múltiples o Membrana Filtrante).

(1) Condición: (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>/45) + (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/0,1) < 1

N.E.: No Especificado en la Norma NB 512. El parámetro DBO<sub>5</sub> servirá como comprobación de contaminación microbiológica, posibilidad de conexiones cruzadas. El parámetro Oxígeno disuelto > 4 mg/l garantiza posibilidad de vida acuática (aguas superficiales de calidad admisible, a excepción de las aguas subterráneas). El parámetro conductividad guarda relación con el contenido iónico total (sales disueltas), valores superiores pueden influir en la apariencia, el sabor o el olor del agua (Guías OPS/OMS).

## **CAPÍTULO III**

### **3 DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA EN EL TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE LA PLANTA DE TABLADITA Y PROPUESTAS PARA MEJORAR LA EFICIENCIA GENERAL**

#### **3.1 Cálculo de caudales rincón La Vitoria**

Se cuenta con un registro diario de los caudales provenientes del Rincón de La Vitoria y así también otro control a la llegada al presedimentador, pero existe la incertidumbre si son reales o no, para ver cuán reales son estos caudales se volverá a calibrar la ecuación de la curva del vertedero con un micro molinete que cuenta la universidad Juan Misael Saracho.

Y otros métodos para la determinación de caudales.

##### **3.1.1 Calibración de la ecuación del vertedero a la llegada al desarenador**

Existen diversas maneras de medir la cantidad de arroyo en un canal o arroyo, para elegir el método a emplear se debe analizar lo siguiente:

- ✓ La exactitud del resultado que se necesite
- ✓ La cantidad de agua existente en el arroyo en el que se va a medir
- ✓ La disponibilidad de equipo y material con el que se cuente

Para calibrar la ecuación del vertedero se utilizará en método área volumen para ser más específicos utilizaremos un micro molinete que tiene la Universidad Juan Misael Saracho.

Este equipo nos ayudará a conseguir las velocidades reales en el vertedero y así podremos afinar la ecuación del caudal en función de la altura o tirante de agua.

##### **3.1.2 Cálculo de velocidades mediante micro molinete hidráulico**

- ✓ **Datos del equipo.**-En el laboratorio se dispone de un micro-molinete de alta precisión del modelo 2100 de la firma norteamericana Swoffer instrument inc.  
El equipo permite medir corrientes líquidas desde 0.1 a 25 pies/ segundo, permitiendo leer directamente en pies o metros por segundo .La velocidad aparece en una pantalla de cristal líquido

La pantalla tiene tres intervalos de tiempo para promediar las velocidades los cuales se pueden seleccionar por medio de un botón giratorio. Los intervalos de tiempo van desde un mínimo de 5 segundos hasta 90 segundos

El indicador del micro-molinete recibe la energía para su funcionamiento de una batería de 9 voltios, la cual abastece también a un foto-diodo y un foto-transistor en el sensor.

La propela de 2 pulgadas tiene un rotor en el cual se encuentran instalados dos elemento de fibra óptica. La rotación de estos elementos producen la salida de una luz infrarroja desde el foto-diodo al foto-transistor, creando unas pulsaciones que son proporcionales a las revoluciones por minuto con que gira la propela.

Estas pulsaciones son contadas y almacenadas para posteriormente ser comparadas por un oscilador de cristal de cuarzo y procesadas para su aparición en la pantalla del equipo.

✓ **Cálculo del gasto por el método grafo analítico**

Si se utiliza el método grafo analítico se deben seguir los siguientes pasos:

Calcular las velocidades medias en cada una de las verticales por una de las fórmulas que aparecen a continuación, según el número de puntos que se hayan empleado para la medición

$$V_{med} = \frac{V_{sup} + 3V_{0.2h} + 3V_{0.6h} + 2V_{0.8h} + V_{fondo}}{10} \quad \text{(Ecuación 1)}$$

$$V_{med} = \frac{V_{0.2h} + 2V_{0.6h} + V_{0.8h}}{4} \quad \text{(Ecuación 2)}$$

$$V_{med} = \frac{V_{0.2h} + V_{0.8h}}{2} \quad \text{(Ecuación 3)}$$

$$V_{med} = V_{0.6h} \quad \text{(Ecuación 4)}$$

En la práctica se dividió el ancho del canal en tres partes y en tres niveles de altura a 0.2h, 0.6h y 0.8h; los detalles se muestran en la tabla 3.1

**Tabla 3.1 Datos de campo punto uno**

<b>AFORO DE CORRIENTES MÉTODO ÁREA-VELOCIDAD</b>				<b>UNIDAD</b>
Ancho de plato del canal	b:	45	cm	
Profundidad de circulación canal	h:	61	cm	
<b>TABLA DE OBSERVACIONES</b>				
	<b>VERTICAL N°</b>			
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	
<b>Distancia pared en cm</b>	7.5	22.5	37.5	
	<b>Velocidad con el molinete (m/s) en la vertical N°</b>			
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	
<b>0,2h</b>	0.90	0.94	0.89	
<b>0,6h</b>	0.83	0.74	0.80	
<b>0,8h</b>	0.74	0.81	0.74	
<b>TABLA DE RESULTADOS</b>				
<b>Ecuación para</b>	<b>Velocidad media (m/s) en la vertical N°</b>			
<b>calcular Vmed</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	
<b>EC 7.2</b>	0.825	0.808	0.808	
<b>EC 7.3</b>	0.820	0.875	0.815	
<b>EC 7.4</b>	0.830	0.740	0.800	
<b>Vel.media</b>	0.825	0.808	0.808	
	<b>Gasto elemental (m<sup>3</sup>/s) en la vertical N°</b>			
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	
<b>q=Vmed*Area</b>	0.2264625	0.2216588	0.22165875	
<b>q (l/s)=</b>	226.4625	221.65875	221.65875	

$$Q1 = 223.26 \text{ l/s}$$

**Tabla 3.2 Datos de campo punto dos**

<b>AFORO DE CORRIENTES MÉTODO ÁREA-VELOCIDAD</b>				<b>UNIDAD</b>
Ancho de plato del canal	b:	45	cm	
Profundidad de circulación canal	h:	53	cm	
<b>TABLA DE OBSERVACIONES</b>				
	<b>VERTICAL N°</b>			
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	
<b>Distancia pared en cm</b>	7.5	22.5	37.5	
	<b>Velocidad con el molinete (m/s) en la vertical N°</b>			
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	
<b>0,2h</b>	0.53	0.55	0.53	
<b>0,6h</b>	0.49	0.55	0.49	
<b>0,8h</b>	0.47	0.57	0.50	
<b>TABLA DE RESULTADOS</b>				
<b>Ecuación para calcular Vmed</b>	<b>Velocidad media (m/s) en la vertical N°</b>			
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	
<b>EC 7.2</b>	0.495	0.555	0.503	
<b>EC 7.3</b>	0.500	0.560	0.515	
<b>EC 7.4</b>	0.490	0.550	0.490	
<b>Vel.media</b>	0.495	0.555	0.503	
	<b>Gasto elemental (m<sup>2</sup>/s) en la vertical N°</b>			
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	
<b>q=Vmed*Area</b>	0.1180575	0.1323675	0.11984625	
<b>q (l/s)=</b>	118.0575	132.3675	119.84625	

**Q1= 123.42375 l/s**

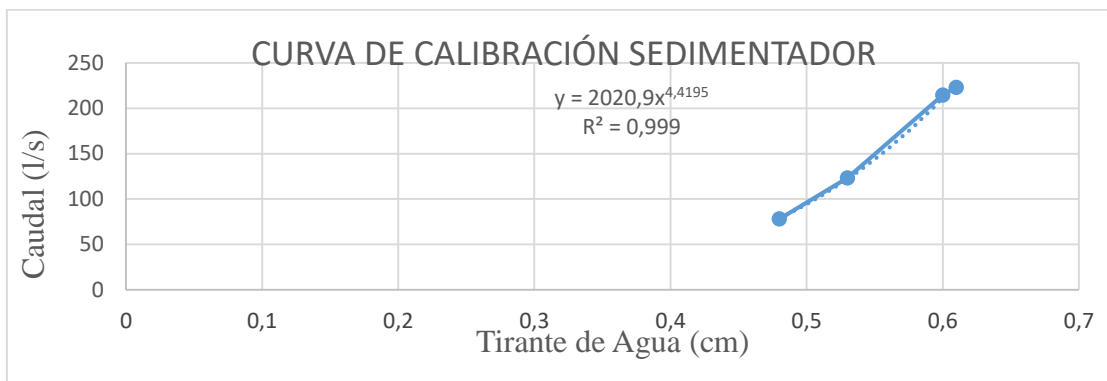
**Tabla 3.3 Datos de campo punto tres**

<b>AFORO DE CORRIENTES MÉTODO ÁREA-VELOCIDAD</b>			<b>UNIDAD</b>
Ancho de plato del canal	b:	45	cm
Profundidad de circulación canal	h:	48	cm
<b>TABLA DE OBSERVACIONES</b>			
<b>VERTICAL N°</b>			
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>Distancia pared en cm</b>	7.5	22.5	37.5
<b>Velocidad con el molinete (m/s) en la vertical N°</b>			
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>0,2h</b>	0.40	0.40	0.35
<b>0,6h</b>	0.36	0.40	0.36
<b>0,8h</b>	0.30	0.36	0.30
<b>TABLA DE RESULTADOS</b>			
<b>Ecuación para calcular Vmed</b>	<b>Velocidad media (m/s) en la vertical N°</b>		
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>EC 7.2</b>	0.355	0.390	0.343
<b>EC 7.3</b>	0.350	0.380	0.325
<b>EC 7.4</b>	0.360	0.400	0.360
<b>Vel.media</b>	0.355	0.390	0.343
<b>Gasto elemental (m<sup>2</sup>/s) en la vertical N°)</b>			
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>q=Vmed*Area</b>	0.07668	0.08424	0.07398
<b>q (l/s)=</b>	76.68	84.24	73.98

**Q1= 78.3 l/s**

**Tabla 3.4 Nueva tabla calibrada para caudales de Tabladita**

Altura (m)	Caudal (l/s)
0.61	223.26
0.6	214.65
0.53	123.42
0.48	78.30



RINCÓN LA VITORIA		SEDIMENTADOR	
$Q = 621.9h^{3.407}$		$Q = 2020.9h^{4.4195}$	
Altura (m)	Caudal (l/s)	Altura (m)	Caudal (l/s)
0.50	58.63	0.4	35.22
0.51	62.72	0.41	39.29
0.52	67.01	0.42	43.70
0.53	71.50	0.43	48.49
0.54	76.21	0.44	53.68
0.55	81.12	0.45	59.28
0.56	86.26	0.46	65.33
0.57	91.62	0.47	71.84
0.58	97.21	0.48	78.85
0.59	103.04	0.49	86.37
0.60	109.11	0.5	94.44
0.61	115.44	0.51	103.07
0.62	122.01	0.52	112.31
0.63	128.85	0.53	122.17
0.64	135.95	0.54	132.70
0.65	143.32	0.55	143.91
0.66	150.98	0.56	155.83
0.67	158.91	0.57	168.51
0.68	167.14	0.58	181.98
0.69	175.66	0.59	196.26
0.70	184.49	0.6	211.39
0.71	193.62	0.61	227.41
0.72	203.07	0.62	244.35
0.73	212.84	0.63	262.26
0.74	222.94	0.64	281.16
0.75	233.37	0.65	301.10
0.76	244.15	0.66	322.12
0.77	255.27	0.67	344.26
0.78	266.74	0.68	367.55
0.79	278.57	0.69	392.05
0.80	290.77	0.7	417.79

### 3.2 Determinación de la eficiencia del canal de aducción

Eficiencia canal aducción =

$$\text{Eficiencia aducción (\%)} = (Q_d \cdot 100) / Q_v$$

Donde:

$Q_v$  = Caudal vitoria 244

$Q_d$  = Caudal desarenador 214

87.70

$$\text{Eficiencia aducción} = 87.70 (\%)$$

Se puede ver que la eficiencia del canal es aceptable, pero se puede mejorar la eficiencia del mismo haciendo un mantenimiento y mejorando algunos tramos donde existe pérdida por infiltración.

**Fotografía 3.1 Canal de aducción (Rincón La Vitoria – Tabladita)**





### 3.3 Determinación de la eficiencia de la planta tratamiento

Para la determinación de la eficiencia en el tratamiento del agua que existe en la planta de Tabladita se analizó el agua cruda o agua de ingreso proveniente del Rincón de La Vitoria y el agua potabilizada por la planta de Tabladita.

#### 3.3.1 Analisis del agua de la fuente del rincón de La Vitoria

En la imagen 3.1 se muestra los resultados de las pruebas hechas en el laboratorio

Imagen 3.1 Resultados de los análisis del agua proveniente del Rincón de La Vitoria

RIMH Laboratorio de Aguas, Suelos, Alimentos y Análisis Ambiental				
Laboratorio Aspirante a RELOAA Certificado Ensayo Apudat IBMETRO-DTA-CI-36/37/38/39/40				
INFORMACION GENERAL		C(16)	244	Análisis N° 7353
Fuente/Código Int.	Superficial A-69	Río La Vitoria	Responsable del muestreo	Widón Molina
Ubicación:	Comunidad Victoria	Tarija/Mendoza/San Lorenzo	Institución	EAGMS
Dep./Prov./Mun.			Recipiente y volumen:	Bote PET 2 l
			Estado de la muestra:	Buena
			Fecha y hora de muestreo	29/06/2016, 16:00 p.m.
			Fecha de análisis	30/06/16
RESULTADOS DE ANALISIS				
NUMERO	TIPO DE ANALISIS	UNIDADES	Valores Guías	RESULTADOS
<b>Análisis Organolépticos</b>				
1	Aspecto			Cristalina
2	Sabor			Insaboro
3	Olor			Inodora
<b>Análisis Físicos</b>				
4	Temperatura	°C		19,90
5	pH		6,5 - 9,0	6,80
6	Cloro libre residual	mg/l	0,2 - 1	No determinado
7	Turbiedad	NTU	5	1,18
8	Conductividad	µS/cm	1500	17,03
9	Color	Unid. APHA	15	2,00
10	Sólidos totales disueltos	mg/l	1000	6,93
11	Sólidos en suspensión	mg/l	-	1,42
12	Sólidos totales	mg/l		No determinado
<b>Análisis Químicos</b>				
13	Alcalinidad total (como CaCO <sub>3</sub> )	mg/l	370	6,00
14	Carbonatos (como CaCO <sub>3</sub> )	mg/l	-	0,00
15	Bicarbonatos (como CaCO <sub>3</sub> )	mg/l	-	6,00
16	Índice de Langlier		(-0,5 a 0,5)	-3,84
17	Nitratos (como NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/l	45	3,42
18	Nitritos (como NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	mg/l	0,1	0,04
19	Dureza (como CaCO <sub>3</sub> )	mg/l	500	5,22
20	Calcio	mg/l	200	1,30
21	Hierro	mg/l	0,3	0,05
22	Fluoruros	mg/l	0,6 - 1,5	0,00
23	Cloruros	mg/l	250	0,22
24	Manganeso	mg/l	0,1	0,07
25	Sulfatos	mg/l	400	1,05
26	Magnesio	mg/l	150	0,48
27	Sodio	mg/l	200	1,50
28	Potasio	mg/l	-	0,50
29	Fósforo (como PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	mg/l	0,4	No determinado
30	Amoniaco	mg/l	0,5	No determinado
31	Cromo Total	mg/l	0,05	No determinado
32	Cobre	mg/l	1	No determinado
<b>Análisis Bacteriológicos</b>				
33	Coliformes Totales	NMP/100 ml	<2	1,30E+01
34	Coliformes Fecales	NMP/100 ml	<2	0,00E+00
35	Coliformes Termoresistentes	NMP/100 ml	0	No determinado
<b>OBSERVACIONES:</b>				
Los parámetros analizados, son los requeridos por la NB 689, para fuentes de agua de poblaciones menores a 10.000 habitantes				
Coliformes Totales sobrepasan los límites establecidos por la Norma Bolivia de Agua Potable NB 512				
LOS RESULTADOS CORRESPONDEN A LA MUESTRA PROPORCIONADA POR EL CLIENTE				
Ing. R. Iván Medina Hoyos Ph. D. INGENIERO QUIMICO R N 1.6519 COMISIÓN DE INGENIEROS DE BOLIVIA				

RESEÑA ANALISIS FISICO QUIMICO  
 LABORATORIO RIMH

Por tratarse de agua para consumo humano se hizo un análisis básico como indica la normativa vigente en nuestro país, luego se analizará y se hará la comparación de los resultados con los parámetros que indica la Norma Boliviana 512 (Reglamento nacional para el control de la calidad del agua para consumo humano).

Del resultado del análisis al agua proveniente del Rincón de La Vitoria se concluye que el agua de esa fuente es de buena calidad y no es necesario flocular porque cumple con la mayoría de los parámetros establecidos en la norma, sólo se necesita filtrar y desinfectar el agua para que cumpla con todos los parámetros establecidos en la Normativa para el control de calidad del agua para consumo humano.

### **3.3.2 Analisis del agua potabilizada en la planta de Tabladita**

Para analizar el agua que produce la planta de tratamiento de Tabladita y ver así la eficiencia en el tratamiento, se tomó una muestra del tanque de almacenamiento y se llevó a un laboratorio externo a la entidad responsable del tratamiento de agua en Tarija, y así evitar susceptibilidad en el resultado y/o recomendaciones que se puedan dar a la hora de verificar la eficiencia y calidad del agua que produce la planta.

#### **3.3.2.1 Toma de muestras**

En la toma de muestras se siguieron las recomendaciones de la NB496 (Agua potable- toma de muestras) para tener los resultados más precisos y confiabilidad en la prueba de laboratorio.



### 3.3.2.2 Resultados de laboratorio

En la imagen se muestra el resultado del análisis del agua que produce la planta de Tabladita y se puede ver que los valores se encuentran dentro del rango establecido por la norma.

RIMH Laboratorio de Aguas, Suelos, Alimentos y Análisis Ambiental.				
Laboratorio Aspirante a RELOAA, Certificado Ensayo Aptitud IBMETRO-DTA-CI-36/37/38/39/40				
INFORMACION GENERAL		C(16)	245	Análisis N°
Fuente/Código Int.	Superficial A-70	Planta de Tabladita	Responsable del muestreo	Widen Molina
Ubicación:	Comunidad Tabladita	Tarija/Cercado/Tarija	Institución	UA-IMS
Dep./Prov./Mun.			Recipiente y volumen:	Bote PET 2 l
RESULTADOS DE ANALISIS			Estado de la muestra	Buena
			Fecha y hora de muestreo	29/06/2016, 16:00 p.m.
			Fecha de análisis	30/06/16
NUMERO	TIPO DE ANALISIS	UNIDADES	Valores Guías	RESULTADOS
<b>Análisis Organolépticos</b>				
1	Aspecto			Cristalina
2	Sabor			Insaboro
3	Olor			Inodora
<b>Análisis Físicos</b>				
4	Temperatura	°C		20,00
5	pH		6,5 - 9,0	6,90
6	Cloro libre residual	mg/l	0,2 - 1	No determinado
7	Turbiedad	NTU	5	2,01
8	Conductividad	µS/cm	1500	16,86
9	Color	Unid. APHA	15	6,00
10	Sólidos totales disueltos	mg/l	1000	6,87
11	Sólidos en suspensión	mg/l	-	2,42
12	Sólidos totales	mg/l		No determinado
<b>Análisis Químicos</b>				
13	Alcalinidad total (como CaCO <sub>3</sub> )	mg/l	370	6,00
14	Carbonatos (como CaCO <sub>3</sub> )	mg/l	-	0,00
15	Bicarbonatos (como CaCO <sub>3</sub> )	mg/l	-	6,00
16	Índice de Langelier		(-0,5 a 0,5)	-3,74
17	Nitratos (como NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/l	45	2,18
18	Nitritos (como NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	mg/l	0,1	0,02
19	Dureza (como CaCO <sub>3</sub> )	mg/l	500	4,38
20	Calcio	mg/l	200	1,30
21	Hierro	mg/l	0,3	0,03
22	Fluoruros	mg/l	0,6 - 1,5	0,00
23	Cloruros	mg/l	250	0,32
24	Manganeso	mg/l	0,1	0,08
25	Sulfatos	mg/l	400	1,19
26	Magnesio	mg/l	150	0,28
27	Sodio	mg/l	200	1,60
28	Potasio	mg/l	-	0,40
29	Fósforo (como PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> )	mg/l	0,4	No determinado
30	Amoniaco	mg/l	0,5	No determinado
31	Cromo Total	mg/l	0,05	No determinado
32	Cobre	mg/l	1	No determinado
<b>Análisis Bacteriológicos</b>				
33	Coliformes Totales	NMP/100 ml	<2	0,00E+00
34	Coliformes Fecales	NMP/100 ml	<2	0,00E+00
35	Coliformes Termorresistentes	NMP/100 ml	0	No determinado

**OBSERVACIONES:**

Los parámetros analizados, son los requeridos por la NB 689, para fuentes de agua de poblaciones menores a 10.000 habitantes  
 Los parámetros analizados no sobrepasan los límites establecidos por la Norma Bolivia de Agua Potable NB 512

LOS RESULTADOS CORRESPONDEN A LA MUESTRA PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

Ing. R. Iván Medina Hoyos P. D.  
 INGENIERO QUIMICO  
 R. N. I. 6819  
 SOCIEDAD DE INGENIEROS DE BOLIVIA

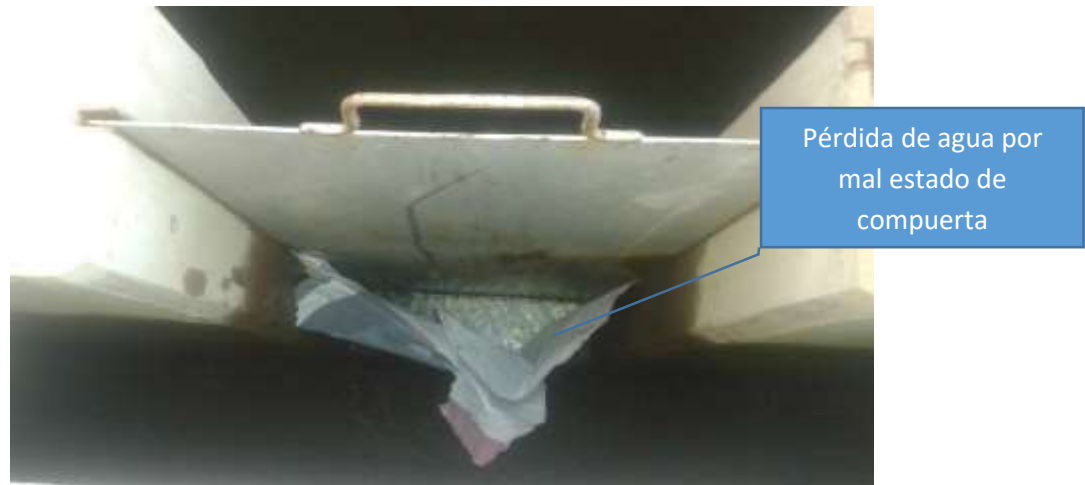
Ing. R. Iván Medina Hoyos P. D.  
 RESPONSABLE ANALISIS FÍSICO QUIMICO  
 LABORATORIO RIMH

### **3.4 Determinación de pérdidas por infiltración y mal funcionamiento de accesorios en la planta**

Para para determinar las pérdidas ya sea por infiltración o por mal funcionamiento de algunas válvulas se hará un balance mensual de agua que entra a la planta y la producción mensual y la diferencia entre estos valores nos dará la pérdida existente en la planta.

#### **3.4.1 Pérdidas por mal funcionamiento de llaves y compuertas en canales de conexión entre los filtros y la desinfección**

Se puede ver que existe una pérdida en algunas compuertas que están ubicadas en el canal de alimentación al retro lavado, ocasionando una pérdida considerable.



El agua que se pierde en ese canal es conducido por el desfogue hacia la quebrada donde se cuantificó la pérdida diaria midiendo la velocidad y el tirante de agua en el canal circular.



La velocidad media del flujo en el canal es de 0.37m/s, el tirante de agua es dos centímetros, con estos datos se determinó un caudal de 1.11 litros/segundo.

Velocidad (m/s)	Área (m <sup>2</sup> )	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Caudal (l/s)
0.37	0.003	0.00111	1.11

Teniendo el dato de caudal se obtuvieron el volumen de pérdidas diario y mensual.

Volumen de perdida	95.904	m <sup>3</sup> /día
Volumen de perdida	2877.12	m <sup>3</sup> /mes

### 3.4.2 Pérdidas por infiltración en los componentes de la planta

Se identificó algunas pérdidas por infiltración en los componentes de la planta, pero se dificulta hacer una evaluación cuantitativa de esta pérdida.



Presencia de algas verdes debido a infiltración de agua de sedimentador

En la visita a la planta se identificó algunos puntos de pérdida, pero existe mayor pérdida en las paredes del fondo de los componentes del sistema empezando desde el floculador y terminando en los filtros.

Del balance mensual se tiene una perdida por infiltración de 359.6 metros cúbicos.

<b>Prod. Fuente La Vitoria (m3)</b>	<b>Prod. Planta (m3)</b>	<b>Perdida por llaves y compuertas (m3)</b>	<b>Perdida por infiltración (m3)</b>
887112	883875.37	2877	359.6

### **3.5 Propuesta de mejoramiento del punto de aforo**

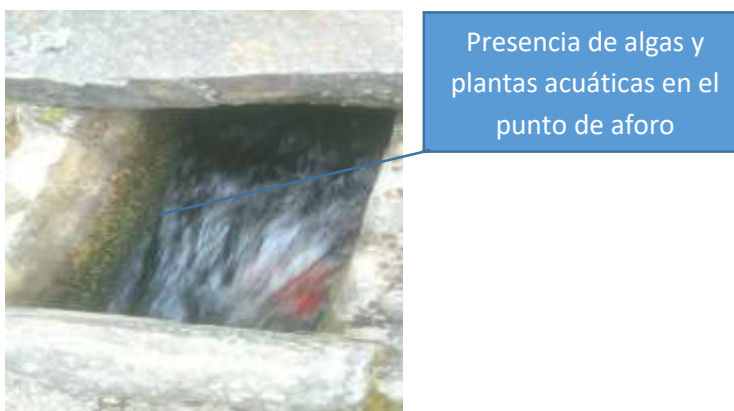
En la visita técnica que se realizó al lugar del punto de aforo se vio que éste se encuentra en pésimas condiciones debido a la falta de mantenimiento y limpieza de la estructura.

La sección transversal del canal de aducción es de tipo “u” y complica a la hora de medir si se trata de tener precisión, para ello se debe adicionar una estructura que permita fijar la regla en el punto medio del canal y en función de esa altura determinar el caudal de ingreso al desarenador.

Para obtener un caudal real se debe tener el lugar en óptimas condiciones, para ello se recomienda las siguientes actividades.

- ✓ Limpieza del punto de aforo

#### **Fotografía 3.2 Punto de aforo (desarenador)**



- ✓ Realizar un perfil metálico que permita medir de manera correcta el tirante de agua en el punto medio del canal, porque la corriente del agua no permite medir el tirante de manera correcta, y el operador por comodidad mide de manera incorrecta.

**Fotografía 3.3 Propuesta de mejorar el punto de aforo)**



### **3.6 Casa química**

La casa química o edificio de operaciones es el ambiente de la planta en el cual se concentran todas las instalaciones para el manejo de las sustancias químicas. Que comprende básicamente las instalaciones de almacenamiento, dosificación y laboratorios de control de los procesos de la planta.

#### **3.6.1 Almacenamiento de las sustancias químicas**

**Fotografía 3.1 almacenamiento de sulfato de aluminio**



Las sustancias que se emplean en el tratamiento del agua pueden estar en polvo, trituradas o en solución. Al proyectar los almacenes, se debe tener en cuenta la forma en que se van a

utilizar estas sustancias, de modo que las instalaciones ofrezcan todas las facilidades para la conservación y manejo del producto. La ubicación del almacén debe estar lo más cerca posible de la sala de dosificación, para ahorrar tiempo y esfuerzo en el traslado de las sustancias químicas. Idealmente, los almacenes y la sala de dosificación deben ocupar un mismo ambiente, sobre todo en sistemas pequeños y medianos.

**Fotografía 3.2 tanques de disolución de sulfato de aluminio**



- ✓ En sistemas grandes, los almacenes siempre deberán ubicarse en el primer piso de la casa de química para no encarecer la estructura del edificio.
- ✓ La capacidad del almacén debe ser suficiente para abastecer la planta por lo menos durante un mes. En el caso de que los productos se expendan en la misma ciudad en la que se encuentra la planta, podrá considerarse una capacidad mínima para 15 días.
- ✓ En instalaciones grandes, para que los tanques no resulten demasiado voluminosos, se diseñan para concentraciones altas (10 o 20%) y la concentración óptima se regula con una aplicación de agua adicional a la salida del dosificador. El caudal de agua adicional debe calibrarse con un rotámetro, para que la concentración de la solución sea exacta y corresponda a la óptima.



**Fotografía 3.3 preparación de sulfato de aluminio para mezcla rápida**



### **3.6.2 Propuesta de producción desinfectante en base a de hipoclorito de calcio para remplazar al gas cloro**

Debido al costo de adquisición del gas cloro y la dificultad que presenta el aprovisionamiento de esta sustancia controlada, es que se ve la necesidad de producir el desinfectante en base a hipoclorito de calcio para que vaya a remplazar al gas cloro que se utiliza en la desinfección de la planta de tabladita y otros desinfectantes que se utiliza en los sistemas independientes que son propiedad de COSAALT.

#### **3.6.2.1 Consideraciones para el diseño e implementación del sistema**

Para el diseño del sistema de producción de desinfectante a partir de hipoclorito de calcio se tomará las siguientes consideraciones y análisis entre ellos la ubicación, la demanda, equipos y materiales necesarios para la implementación del sistema, procedimiento para la producción del desinfectante y manejo del hipoclorito de manera segura.

### **a) Ubicación de la planta de producción de hipoclorito de calcio**

Con los técnicos encargados de la planta de tratamiento de Tabladita se fijó el lugar donde se ubicara el nuevo sistema de producción.

**Fotografía 3.4 Ubicación del área de impacto del proyecto**



### **b) Demanda de hipoclorito de calcio de la planta y demás sistemas independientes.**

La demanda actual de la planta y demás sistemas independientes es de 1500 litros/semana para ello se propone implementar dos tanques de 900 litros para disolver el material sólido en el agua, con la agitación de un agitador eléctrico.

En la actualidad la planta cuenta con un solo tanque de 500 litros donde se prepara el desinfectante de manera precaria y sin ninguna seguridad para los trabajadores.

**Fotografía 3.5 Producción de desinfectante de manera precaria**

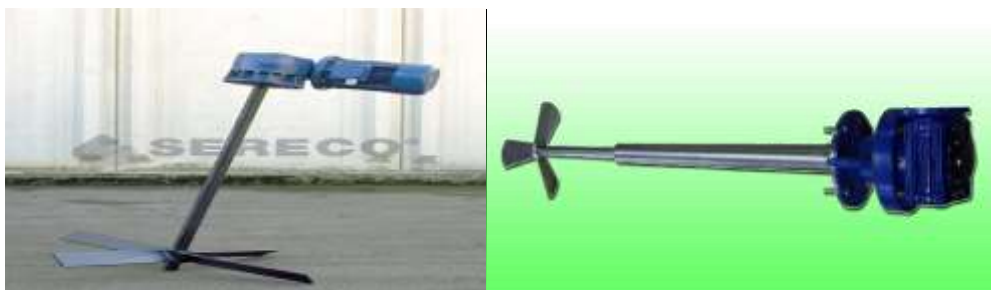


Preparación del desinfectante de manera precaria

**c) Equipos y materiales necesarios para implementar el sistema de producción**

Los equipos y material necesario para la producción se detallan en la planilla de cómputos métricos, el equipo necesario consta de dos tanques o tinacos de polietileno de capacidad de 900 litros, dos tanques de 1200 litros, el uno para filtración y el otro para depósito de material sedimentado y limpieza de los tanques, y al final del sistema contará con un tanque de 2000 litros que servirá para el depósito del desinfectante.

**Fotografía 3.6 Agitador eléctrico**



**Fotografía 3.7 Tanques medianos y sus dimensiones**

Capacidad (L.)*	300	450	650	900	1200	2000	2500
Diámetro (mm.)	850	850	930	1040	1200	1400	1400
Altura (mm.)	680	920	1210	1200	1290	1530	1935
Diá. de Tapa (mm.)	500	500	550	550	550	550	550

\* Volúmenes y dimensiones nominales (±2%)



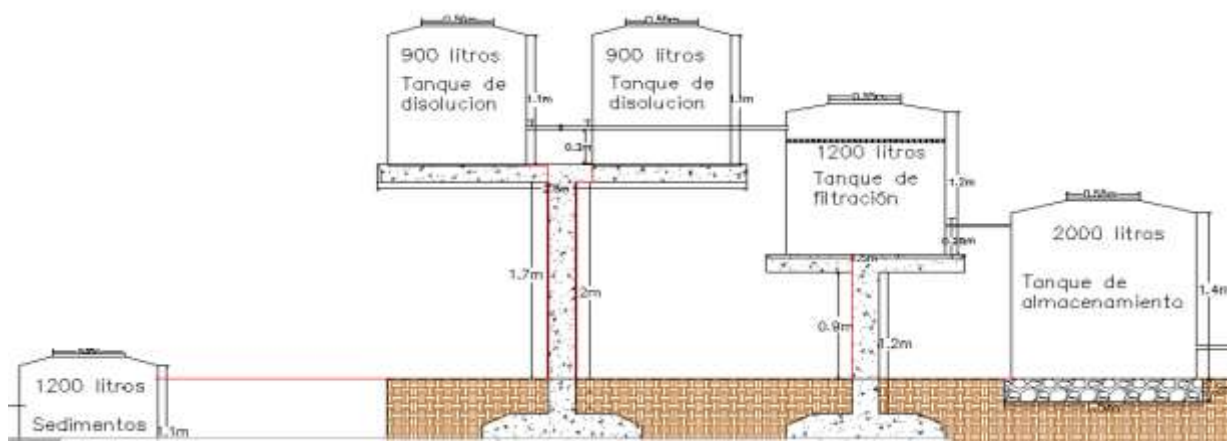
#### d) Procedimiento para la preparación del desinfectante.

Inicialmente se debe aprovisionar de hipoclorito de calcio que será el elemento base de la producción del desinfectante, luego de eso se instalará los dos agitadores, uno en cada tanque como se muestra en el esquema de producción, se introducirá un porcentaje de hipoclorito de calcio en los tanques para su posterior disolución, se dejará un tiempo “t” para que todo el material no disuelto se deposite en la parte inferior del tanque y luego de eso pasará al filtrado, que esencialmente consta de un tanque de 1200 litros con una serie de tamices en la parte superior del mismo, finalmente el producto pasa a la zona del depósito.

#### e) Esquema de la instalación

El sistema contará con dos tanques de capacidad igual a 900 litros para disolver el material, estos trabajarán en paralelo pudiendo utilizar los dos o también sólo uno de acuerdo al requerimiento y necesidad, seguidamente se tendrá la zona de filtración que está compuesta por un tanque de capacidad igual a 1200 litros que en la parte superior tendrá una serie de tamices de tal manera que todo el material sólido quede allí, seguidamente se tendrá un tanque de almacenamiento con capacidad igual a 2000 litros y por último el sistema cuenta con un tanque de capacidad igual a 900 litros que sirve para recibir todo el material de desfogue de los tanques cuando se quiera hacer limpieza del sistema.

**Figura 3.8 Estructura de soporte del sistema de producción del desinfectante**



### 3.6.2.3 Diseño de la estructura de soporte para los tanques

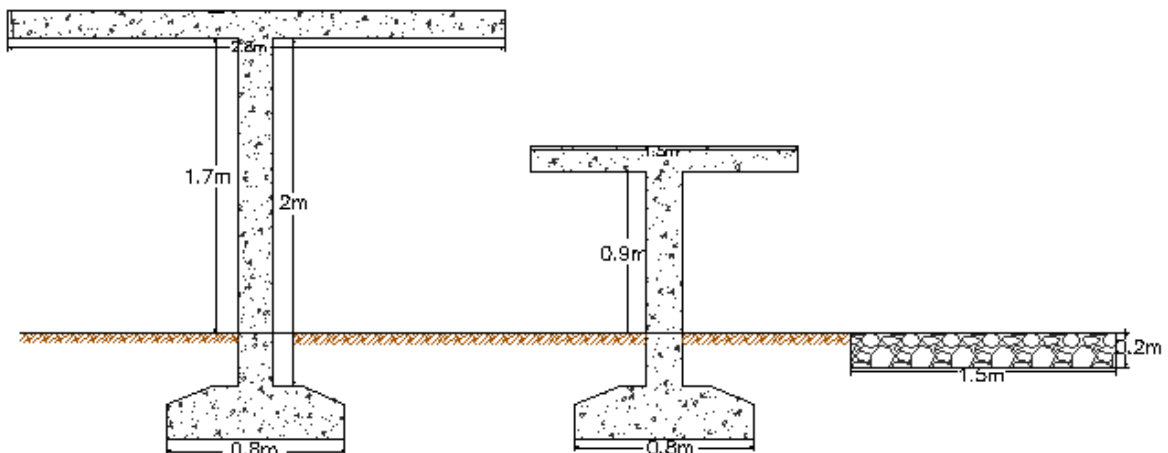
La estructura que servirá de soporte o base de apoyo de los tanques será de hormigón armado con una resistencia a compresión de 210kg/cm<sup>2</sup>, la misma constará de dos estructuras independientes la una de la otra, cada elemento estructural estará compuesto por una zapata cuadrada, una columna cuadrada de 25cm cada cara como indica la Norma Boliviana para hormigón armado y en la parte superior tendrá una losa maciza.

Para el cálculo estructural se utilizó el programa Cype CAD y todo el detalle de los cálculos se muestra en los anexos.

**Figura 3.9 Estructura de soporte del sistema de producción del desinfectante**



**Figura 3.1 Estructura de soporte del sistema de producción del desinfectante**



### 3.6.2.4 Dosificación para elaboración del desinfectante.

En química, la concentración de una solución es la proporción o relación que hay entre la cantidad de soluto y la cantidad de disolvente, donde el soluto es la sustancia que se disuelve, el disolvente es la sustancia que disuelve al soluto, y la disolución es el resultado de la mezcla homogénea de las dos anteriores. A menor proporción de soluto disuelto en el disolvente, menor concentrada está la solución, y a mayor proporción más concentrada resultará la concentración.

El hipoclorito de calcio se comercializa con una concentración de 67% y lo que se necesita en la planta para la desinfección es al 8% y para la producción semanal se necesita un volumen de 1500 litros, con estos datos se determinará la cantidad de hipoclorito de calcio en estado sólido.

$$C_1 \times V_1 = C_2 \times V_2$$

Donde:

C1= concentración 1 (%)

V1= Volumen 1 (lt)

C2= Concentración 2 (%)

V2= Volumen 2 (lt)

**Tabla 3.1 Dosificación de solución para producción de desinfectante.**

Ca (Cl O2) 67% (Kg)	Ca (Cl O2) 8% (Cantidad de agua en Lts.)	Ca (Cl O2) 67% (Kg)	Ca (Cl O2) 8% (Cantidad de agua en Lts.)
11.94	100	113.43	950
17.91	150	119.40	1000
23.88	200	125.37	1050
29.85	250	131.34	1100
35.82	300	137.31	1150
41.79	350	143.28	1200
47.76	400	149.25	1250
53.73	450	155.22	1300
59.70	500	161.19	1350
65.67	550	167.16	1400
71.64	600	173.13	1450
77.61	650	179.10	1500
83.58	700	185.07	1550
89.55	750	191.04	1600
95.52	800	197.01	1650
101.49	850	202.99	1700
107.46	900	208.96	1750

## **CAPÍTULO IV**

### **4. ANÁLISIS DE REÚSO DEL AGUA DE AUTOLAVADO DE FILTROS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO**

En este capítulo se propone darle un mejor uso al agua que es destinada al lavado de los filtros y la cual se la bota a una quebrada aledaña a la planta de tratamiento de Tabladita.

El lavado de filtros se realiza todos los días y está en función a la calidad de agua que ingresa a la planta, en este capítulo se analizará el beneficio de reutilizar el agua del lavado de filtros en época de estiaje.

En la época de lluvias el caudal de La Vitoria satisface la demanda de agua que necesita la planta, es por eso que este análisis de reúso es sólo para la época de estiaje comprendiendo los meses de junio a diciembre, cuando el caudal de La Vitoria baja y es necesario bombear agua del río Guadalquivir.

#### **4.1 Cuantificación del volumen diario que se utiliza en el lavado de filtros.**

La normativa recomienda para el lavado de filtros un tiempo que está comprendido entre 8 a 10 minutos, pero el tiempo de lavado está en función al tipo de agua que ingresa a la planta, siendo variable el tiempo de lavado si comparamos la época de lluvias y el tiempo de estiaje.

Esta variación es debido a que el agua de la época de lluvias el agua viene muy turbia y algunas veces es necesario lavar hasta dos veces cada filtro, en la época de estiaje el agua de la Vitoria es de buena calidad y no requiere de un lavado frecuente pero si el agua que viene del río Guadalquivir presenta muchos sólidos en suspensión y esto hace que el lavado sea más frecuente.

Se cuenta con un registro diario de las actividades que se realizan en la planta, eso servirá para ver el ciclo de lavado, el tiempo de lavado y demás información que se necesite para que la cuantificación sea lo más precisa posible.



Para el desarrollo de este trabajo se hizo la cuantificación del volumen de agua que se utiliza en el lavado mediante aforo de caudal a la salida del desfogue de la planta.

#### 4.1.1 Determinación del caudal de salida en el desfogue

Se utilizó el micro-molinete para determinar la velocidad del agua y teniendo una sección circular se pudo determinar el caudal de salida.

**Fotografía 4.1 Desfogue de la planta Tabladita**



Para tener más precisión en la determinación del caudal se registró el tirante cada 2 minutos, viendo que es variable en función del tiempo de lavado.

**Tabla 4.1 Caudal de agua para lavado de un filtro grande**

Nro.	Tirante	Área	Velocidad	Caudal
	(m)	(m <sup>2</sup> )	(m/s)	(m <sup>3</sup> /s)
1	0.15	0.047	4.73	0.22231
2	0.18	0.06	4.38	0.2628
3	0.15	0.047	4.41	0.20727
4	0.14	0.043	4.18	0.17974
5	0.09	0.023	3.15	0.07245

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4.2 Volumen para lavado de un filtro grande**

Tiempo	Caudal	Volumen
(min.)	(m <sup>3</sup> /s)	m <sup>3</sup>
0-2	0.22231	26.6772
2-4.	0.2628	31.536
4-6.	0.20727	24.8724
6-8.	0.17974	21.5688
8-10.	0.07245	8.694
Volumen total		113.3484

Fuente: Elaboración propia

El tiempo de lavado para los filtros grandes es de 10 minutos, para los pequeños es de 8 minutos, con este dato se obtuvo el volumen total de lavado para un filtro, de la información que tiene la planta de tabladita determinamos que se lava una vez al día cada filtro.

**Tabla 4.3 Caudales para lavado de un filtro pequeño**

Nro.	Tirante	Área	Velocidad	Caudal
	(m)	(m <sup>2</sup> )	(m/s)	(m <sup>3</sup> /s)
1	0.13	0.039	4.55	0.17745
2	0.14	0.043	4.21	0.18103
3	0.12	0.034	3.7	0.1258
4	0.11	0.03	3.88	0.1164

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4.4 Volumen para lavado de un filtro pequeño**

Tiempo	Caudal	Volumen
(min.)	(m <sup>3</sup> /s)	m <sup>3</sup>
0-2	0.17745	21.294
2-4.	0.18103	21.7236
4-6.	0.1258	15.096
6-8.	0.1164	13.968
Volumen total		72.0816

Fuente: Elaboración propia

Para la cuantificación del volumen total que se utiliza para lavar los 6 filtros de la planta, nos ayudaremos con el registro o parte diario que maneja la encargada de la planta, de ahí obtenemos el ciclo de lavado en época de estiaje es de un lavado por día de cada filtro.

**Tabla 4.5 Volumen total de agua que se utiliza en el lavado de los 6 filtros**

Nro.	Tipo de filtro	Volumen (m3)
2	Grande	226.6968
4	chico	288.3264
Volumen total		515.0232

Fuente: Elaboración propia

#### **4.2 Volver el agua de lavado de filtros mediante bombeo a la mezcla rápida para su posterior tratamiento.**

En la época de estiaje el caudal de La Vitoria disminuye considerablemente, por esa razón se debe bombear agua del río Guadalquivir específicamente de la zona denominada “Las Tipas”, resulta complicado el bombeo por motivo de cortes de energía eléctrica que se tiene en la ciudad, y aparte que encarece el tratamiento. Es en ese sentido que reutilizar el agua del lavado de los filtros sería economizar en costo de operación, maquinaria y equipo por parte de la cooperativa COSAALT.LTDA que busca darle un mejor uso al recurso agua especialmente en la época de estiaje.

Para reutilizar el agua del lavado de los filtros se necesita un depósito que permita recibir toda el agua proveniente del lavado, sedimentar parte del material sólido producto del lavado y finalmente conducirlo a la zona de la mezcla rápida para su posterior potabilización.

##### **4.2.1 Consideraciones para el diseño del reservorio**

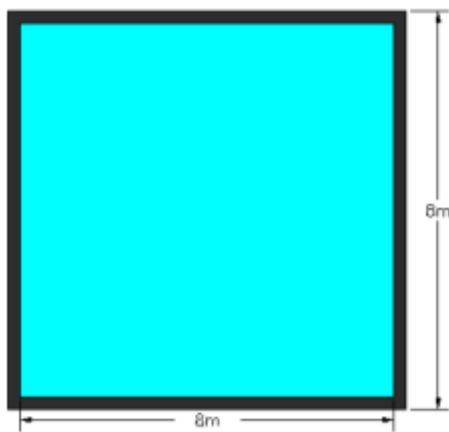
- ✓ Para el dimensionamiento del reservorio se debe considerar que aparte del lavado de los filtros se lava también los floculadores y los sedimentadores cada 15 días o cuando requiera de lavado debido al contenido de sedimentos que contengan los mismos y que dificulten el funcionamiento óptimo del sistema.
- ✓ No siempre será posible utilizar el agua del lavado de la planta es decir floculadores y sedimentadores puesto que para este lavado se utiliza sustancias químicas que

puedan ser perjudiciales para volver a potabilizar el agua; por eso se tomará sólo un porcentaje de caudal que viene del lavado de la planta (floculadores y sedimentadores).

- ✓ Del cálculo de volúmenes de agua de lavado diario de los filtros se hace un volumen de 515 metros cúbicos, éste debería ser el volumen del reservorio pero se dimensionará un volumen menor debido a que el lavado no es simultáneo sino más bien es un lavado secuencial de tal manera que mientras se lava uno los restantes están en funcionamiento.
- ✓ La capacidad del reservorio será la mitad del volumen diario por fines económicos, porque que se tendrá una bomba de impulsión en el reservorio que puede estar trabajando paralelamente al lavado que se haga de los filtros.
- ✓ El funcionamiento hidráulico será por gravedad es decir el reservorio estará ubicado de tal manera que el agua ingrese al mismo por gravedad.

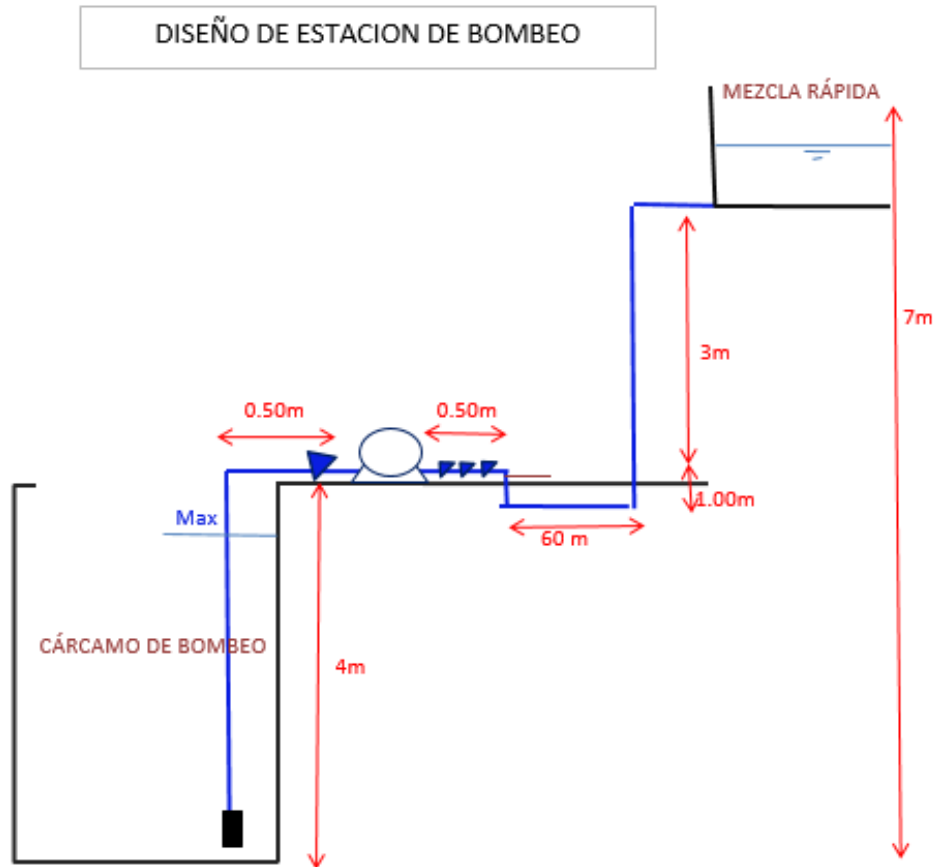
#### 4.2.2 Cálculo y dimensionamiento del reservorio

El tanque o reservorio de acopio del agua del lavado de los filtros será de hormigón armado, debido al funcionamiento hidráulico se construirá un tanque semienterrado con capacidad para 256 metros cúbicos de agua.



### 4.2.3 cálculo de la potencia de la bomba

En el momento de calcular la potencia requerida para un bombeo, es necesario tener en cuenta no solo la altura topográfica que es necesario vencer sino las pérdidas de energía causadas por la fricción y las pérdidas menores.



DATOS:

Caudal (Q)	=	13.00	Lts/seg	=	0.013	m <sup>3</sup> /seg
Altura	=	1800	msnm.	=		
Temp. del agua	=	10	° C	=		
Tubería PVC; C	=	150		=		

CÁLCULO DE LOS DIÁMETROS (D)

**Tubería de impulsión:**

Según la ecuación de BRESSE

$$D = K\sqrt{Q}$$

$$D = 1.2\sqrt{0.013}$$

$$D = 0.14 \text{ m} \approx 5.39 \text{ ''}$$

entonces  $D = 4''$   
 $= 0.102$  Adoptamos diámetro comercial

Velocidad de la tubería:

$$V = Q/A$$

$$V = 1.6 \text{ m/s} \leq 2 \text{ m/seg}$$

**Tubería de Succión:**

El diámetro comercial se tendría 4"

$$= 0.102 \text{ m}$$

Entonces la Velocidad de la tubería:

$$V = Q/A$$

$$V = 1.60 \text{ m/s}$$

$$\text{Sumergencia} = 0.35 \text{ m}$$

**CÁLCULO DE ALTURA DINÁMICA DE ELEVACIÓN:**

**Altura estática total (succión + impulsión) (hs)**

$$\text{Altura estática de succión} = 4.00 \text{ m}$$

$$\text{altura estática de impulsión} = 3.00 \text{ m}$$

$$HS = 7.00 \text{ m}$$

**Utilizando la ecuación de HAZEN - WILLIAMS:**

$$Q = (10.67 * (Q^{1.852} * L)) / (C * D^{4.87})$$

$$J = 10.88 \text{ m}$$

$$H = 17.88$$

**Calculo de la potencia de la Bomba:**

$$\text{Pot bomba} = \frac{\gamma * Q * H}{75 * n}$$

**EFICIENCIA VOLUMÉTRICA**

- Es la relación entre el caudal real que impulsa la bomba con respecto al caudal teórico.

$$\eta_v = \frac{Q_{REAL}}{Q_{TEÓRICO}} = \frac{Q_{REAL}}{DV \times n}$$

**EFICIENCIA TOTAL**

- El grado de eficiencia total de una bomba se calcula multiplicando la eficiencia volumétrica con la eficiencia hidráulica - mecánica.
- En general la eficiencia total de una bomba hidráulica oscila entre el 80% y 90%.

$$\eta_T = \eta_V \times \eta_{hm}$$

**CATERPILLAR**

Eficiencia de bomba=	80.00%	Recomendado para bombas sumergibles
Potencia Bomba =	1000*0.013*17.88/(75*0.80)	
Potencia Bomba =	3.87	HP
		5.5
Potencia Bomba Comercial		HP

#### 4.2.4 Consideraciones para el bombeo

Debido a la gran demanda de la población el lavado de los filtros en la época de estiaje se realiza sólo por las tardes, empezando desde las 14:00 hasta las 18:00 horas, teniendo que lavarse los 6 filtros que tiene la planta de Tabladita.

- ✓ **Rol de lavado.**- Para el lavado de los filtros la norma boliviana recomienda un tiempo de 8 a 10 minutos, en la planta se cumple con esa recomendación, a continuación se muestra el rol de lavado de los filtros, para fines prácticos se asumirá un tiempo de 10 minutos ya sea para filtros grandes y chicos como se muestra en la tabla 4.5 debido a que existe un solo operador en la planta y se asume que pierde un tiempo de 2 a 5 minutos en abrir y cerrar las válvulas de compuerta de los filtros.

**Tabla 4.5 Rol de lavado de los filtros**

<b>Tipo de filtro</b>	<b>Hora inicio</b>	<b>Hora fin</b>
Filtro grande	08:00	08:10
filtro pequeño	08:10	08:20
filtro pequeño	08:20	08:30
BOMBEO	09:00	14:30
filtro grande	14:30	14:40
filtro pequeño	14:40	14:50
filtro pequeño	14:50	15:00
BOMBEO	15:30	21:00

Fuente: Elaboración propia

- ✓ **Determinación del volumen muerto o zona de lodos.-** El agua proveniente del lavado de los filtros en la época de estiaje contiene gran cantidad de sólidos en suspensión, debido a la fuente que es el río Guadalquivir (Las Tipas), considerando esta situación se ve necesario el cálculo de un volumen muerto o zona de lodos, para ello dejara una altura de 50 centímetros, instalando a partir de esa altura la entrada de succión de la bomba.
- ✓ **Tiempo de vaciado del tanque.-** Es necesario saber el tiempo en el cual se vaciara el tanque para luego calcular las horas de bombeo, para ello se cuenta como datos el caudal de bombeo y el volumen de agua en el tanque.

$$t = V/Q$$

$$Q = 0.013\text{m}^3/\text{s}$$

$$V = 250 \text{ m}^3$$

$$T = 5.5 \text{ horas}$$



### 4.3 Analisis de costos y beneficios del reúso de agua de lavado de filtros

Para determinar el costo de producción de un metro cubico de agua potable proveniente del lavado de filtros se tomara en cuenta los costos de inversión, operación y mantenimiento para una vida útil de las obras hidráulicas de 20 años.

En el análisis de los beneficios que traerá el reusar el agua de lavado de los filtros se tomará en cuenta los beneficios económicos para la empresa potabilizadora de agua y los beneficios sociales y efectos en la sociedad.

#### Cantidad de insumos para potabilizar agua en la planta de Tabladita

REACTIVOS	CONSUMO Kg/día	P.U.	PRECIO PROD.	UNID.
Gas Cloro	18.4	40	736	Bs
Hipoclorito de sodio	134.4	7.8	1048.58	Bs
Sulfato aluminio	8.3	6.9	57.5	Bs
COSTO TOTAL			1842.08	Bs

#### Producción de agua planta de tratamiento Tabladita

Producción agua	887112	m <sup>3</sup> /mes
Producción agua	29570.4	m <sup>3</sup> /día

#### Costo de potabilización del agua de reúso

Costo reactivos (500m <sup>3</sup> )	31.15	Bs
Costo reactivos (1m <sup>3</sup> )	0.06	Bs

#### Costo de bombeo del agua de reúso

Costo bombeo agua (500m <sup>3</sup> )	14.76	Bs
Costo bombeo agua (1m <sup>3</sup> )	0.03	Bs

#### Consumo energía eléctrica para bomba de 5.5HP

Producción bomba 5.5 HP	15000	m <sup>3</sup> /mes
Consumo energía eléctrica	442.84	bs/mes
Consumo energía eléctrica	14.76	bs/día

**Determinación del costo de producción del agua de reúso**

Costo implementación propuesta	439628.4	Bs
Vida útil de la obra	7300	días
Costo de inversión	60.22	Bs/día
Costo de operación y mantenimiento	16.67	Bs/día
Costo de bombeo	14.76	Bs/día
Costo potabilización agua (500m <sup>3</sup> )	31.15	Bs/día
Costo total reúso de agua	122.80	Bs/día
Producción de agua diaria	500	m <sup>3</sup> /día
Costo total reúso de agua (1m <sup>3</sup> )	0.25	Bs.

**Tarifa de ventas de Cosaalt**

Rango	Precio	Unidad
0 a 10 m <sup>3</sup>	1.2	Bs.
10 a 40 m <sup>3</sup>	2.8	Bs.
> 40	5	Bs.

**Análisis de beneficios de reúso de agua considerando tarifa mínima**

Beneficio mensual	14316	Bs.
Beneficio diario	477.2	Bs.
Beneficio por metro cubico de agua	0.95	Bs.

## CAPÍTULO V

### 5 MANUAL DE MANEJO DEL GAS CLORO DE MANERA SEGURA

#### 5.1 Objetivos.

Que el usuario adquiera los conocimientos indispensables y necesarios para manejar el gas cloro de una forma segura y así evitar problemas en la operación de este producto.

#### 5.2 Consideraciones generales para el manejo del cloro.

En condiciones normales de presión y temperatura CNPT el cloro es un gas amarillo verdoso de olor característico penetrante e irritante, en estado líquido el cloro presenta un color amarillo ámbar; su nombre se deriva del griego kloros que significa verde; en estado líquido es una y media veces más pesado que el agua.

Entre el cloro-gas y el cloro-líquido existen pequeñas diferencias en los datos de las propiedades químicas y físicas, determinadas y confirmadas por muchos investigadores; los datos aquí reportados se basan en fuentes citadas y en información publicada por el instituto del cloro, órgano rector de la materia en el continente americano con aceptación mundial.

“En estado líquido el cloro es de color ámbar y tiene una densidad de 1,409 veces la del agua, es decir 1,409 g/ml a 20 °C. A presión de 1 atmósfera (100 kPa), el cloro líquido tiene su grado o punto de ebullición a los - 34 °C y se congela (punto de licuefacción) a - 101 °C.

Ejerce una presión de vapor que varía con la temperatura, a una temperatura de 20 °C, la presión de vapor es de 669 kPa, a 37,8 °C la presión del vapor aumenta hasta 1 000 kPa.

Cuando baja la presión el cloro líquido se vaporiza en un gas de color amarillo verdoso con una densidad de 2,5 veces la densidad del aire, y un volumen de cloro

líquido es igual a 457,6 volúmenes de cloro gaseoso. A 15,6 °C y a presión de 1 atmósfera, 8 kg de cloro son solubles en 1 000 kg de agua, tiene un olor característico y sofocante.”

### 5.2.1 Propiedades y características.

El cloro presenta propiedades físicas y químicas que se analizará a continuación

#### 5.2.1.1 Propiedades físicas

- ✓ **Punto de ebullición.-** El cloro –líquido a presión atmosférica se vaporiza a (-29.29°F) (-38.05°C), el término alternos Es: punto de licuefacción.
- ✓ **Punto de fusión .-** El cloro solido a presión atmósfera funde a (-149.76°C)  
De igual forma se puede afirmar que el cloro-liquido se solidifica a la temperatura antes señalada bajo presión de 1.0 atmosférica (14.696 psia ), el término alternativo es: punto de congelación
- ✓ **Densidad.-** Corresponde a la masa de una unidad de volumen de cloro en las condiciones normales de presión y temperatura.  
Densidad del del cloro –gas seco en condiciones normales de presión y temperatura equivalente a 0.2003lb/ft<sup>3</sup>,0.0032kg/lit(ver definición).  
Densidad del cloro -Gas saturado a 32°F (0.0°C) equivale a 0.7537lb /ft<sup>3</sup>, 0,0121kg/lit.  
Densidad del cloro –líquido a 32°F(0.0°C)equivale a 91.67lb/ft<sup>3</sup>, 1.4683kg/lit ver detalle en grafica n°2.  
Densidad del cloro –líquido a 60.0°F (15.60°C) equivale a 88.79lb/ft<sup>3</sup> ,1.4221kg/lit. la presión del cloro –líquido a 60°F(15.60°C)es de 85.61 psia (libras por pulgadas cuadrada absoluta equivalentes a 100.306 psig).
- ✓ **Presión de vapor.-**La presión del cloro. Gaseoso sobre el cloro líquido cuando están en equilibrio a 32°F(0°C) equivale a 53,155 psia (libras por pulgada cuadrada absoluta, equivalente 67. 851psig ).

- ✓ **Gravedad específica.**-La gravedad específica del cloro –gas en condiciones normales de presión y temperatura referida al aire seco en las mismas condiciones, equivale a 2.482.

La gravedad específica del cloro líquido a 32°F (0°C) y 53.15 psia, referida al agua en su máxima densidad, equivale 1.4680.

- ✓ **Relación volumen –temperatura.**-El volumen del cloro líquido aumenta rápidamente cuando su temperatura aumenta; el peso de un volumen de cloro líquido equivale al peso de 460.0 volúmenes de cloro –gas en condiciones normales de presión y temperatura (CNPT).

### 5.2.1.2 Propiedades químicas.

- ✓ **Inflamabilidad.**-El cloro, gas o líquido, no es explosivo ni inflamable, sin embargo, al igual que el oxígeno, es capaz de ayudar a la combustión de ciertas sustancias; muchos compuestos orgánicos reaccionan espontáneamente en el cloro, en algunos casos con violencia explosiva.
- ✓ **Valencia.**- Generalmente el cloro forma compuestos univalentes, pero puede combinarse con valencias, 3, 4, 5, 6,7.
- ✓ **Reacciones químicas.**- El cloro es sólo ligeramente soluble en agua; cuando reacciona con agua pura se forman soluciones débiles de ácidos clorhídrico (HCl) e hipocloroso (HOCl).el hidrato de cloro (Cl<sub>2</sub>·8H<sub>2</sub>O) puede cristalizarse por debajo 49.30°F (9.60°C)
- ✓ **Reacciones con metales.**- Las temperaturas a las que normalmente se usa el cloro no excedan 230.0°F (110.0°C); por debajo de esta temperatura el cobre, hierro, plomo, níquel, platino, plata, acero y tantalio, son químicamente resistentes al cloro seco o, gas o líquidos; ciertas aleaciones de cobre, y aleaciones de hierro, incluyendo hasteloy –C, monel, aceros inoxidables tipo 304 y 316, también son resistentes. la velocidad de reacción del cloro con la mayoría de los metales aumenta muy rápidamente por encima de ciertos valores de temperatura ,más allá de los cuales los materiales de construcción deben seleccionarse con sumo cuidado, estas temperaturas son

considerablemente más bajas si el metal o aleación se encuentra finamente dividido , pulverizado , esponjoso o en forma de alambre.

El cloro seco reacciona con aluminio, arsénico, oro, mercurio, selenio, telurio, estaño y tántalo; a cierta temperatura el potasio y el sodio arden espontáneamente en presencia de cloro –gas; el acero al carbón arde a 483.0°F (250.5°C). El antimonio, arsénico, bismuto, boro, cobré, hierro, fosforó y algunas de sus aleaciones, en estado finalmente divididos, pulverizados, esponjosos o en forma de alambre, arden espontáneamente en cloro.

### 5.3 Principales características del cloro.

En la tabla 5.1 es un resumen de las características y propiedades del cloro en estado líquido y estado gaseoso.

**Tabla 5.1 Resumen de las propiedades y características del cloro**

<i><b>NOMBRE COMERCIAL</b></i>	<b>CLORO LÍQUIDO</b>
<i><b>NOMBRE QUÍMICO</b></i>	<b>CLORO</b>
<i><b>FORMULA QUÍMICA</b></i>	<b>CL<sub>2</sub></b>
<i><b>OLOR</b></i>	<b>PICANTE – IRRITANTE</b>
<i><b>COLOR (ESTADO LÍQUIDO)</b></i>	<b>AMBAR</b>
<i><b>COLOR (ESTADO GASEOSO)</b></i>	<b>AMARILLO-VERDOSO</b>

- ✓ **Solubilidad del cloro en el agua.-** El cloro es sólo ligeramente soluble en agua ; como se presenta en la gráfica n°4, su solubilidad máxima en el agua pura es cerca de 1.0% a 49.3°F(9.6°c).por encima de 49.3°F(9.6°C), su solubilidad disminuye drásticamente, mientras que la temperatura aumenta ,hasta que al punto de ebullición

del agua su solubilidad es cero ,por debajo de 49.3°F(9.6°C) puede combinarse con agua formado hidratos cristalinos comúnmente llamados “hielo de cloro” .

El cloro húmedo es tan corrosivo a los metales comunes que la humedad generalmente se clasifica entre los peores enemigos del equipo de cloro .hierro forjado , acero, latón ,bronce, cobre, ciertos aceros inoxidable, monel, níquel, plomo y ciertos plástico se encuentran entre los materiales comunes de construcción que no son afectados por el cloro seco pero que son atacados por el cloro –húmedo .toda el agua ,aun trazas, debe excluirse del equipo para manejar cloro –seco .el cloro – húmedo y las soluciones acuosas de cloro requieren materiales especiales.

- ✓ **Oxidante.-** El cloro es un agente oxidante, no es explosivo o flamable, sin embargo puede mantener la combustión.

La palabra cloro proviene del griego, que significa “amarillo verdoso”.

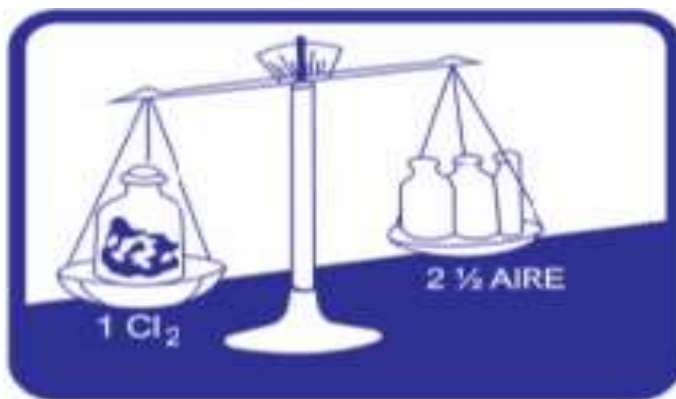


- ✓ **Corrosivo.-** El cloro gas como tal no posee esta propiedad.

Pero al contacto con el agua, se vuelve un agente altamente corrosivo. Debido que con esta mezcla se forma ácido clorhídrico (HCl). Comúnmente conocido como ácido muriático.



- ✓ **Más pesado que el aire.**- Al tener una densidad 2 1/2 veces más alta que el aire, el cloro en su fase gaseosa siempre va estar en la parte baja, es por eso que desplaza el aire.



- ✓ **Solubilidad en agua.**- El cloro es poco soluble en agua, sumergir en ésta un cilindro o contenedor de cloro con fuga, para “detener la fuga” no es recomendable, debido a que el gas no se integrara fácilmente al agua, por lo tanto burbujeará al ambiente.



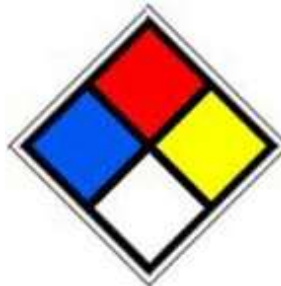


- ✓ **Relación gas – líquido.-** Un litro de cloro líquido al liberarse al medio ambiente a temperatura y presión normal se convierte a 460 litros de gas cloro.

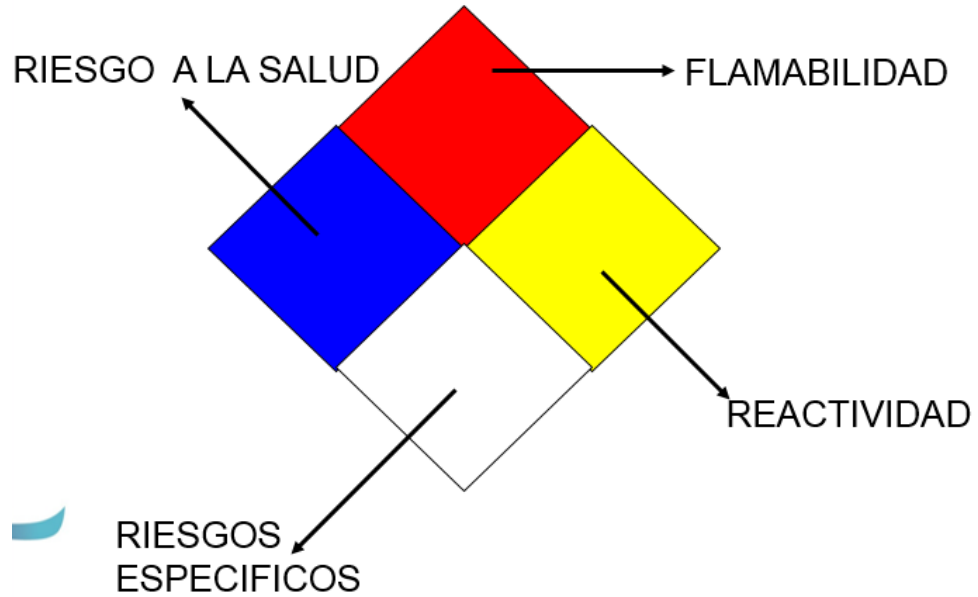


#### 5.4 Identificación de riesgos y señalización.

Es importante conocer el significado de la señalización, por tal motivo a continuación se presenta algunas señales importantes a tomar en cuenta especialmente cuando se encuentre en un ambiente donde se almacene cloro.

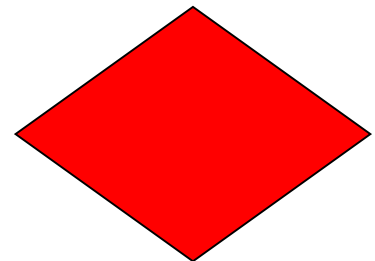


# ALMACENAMIENTO



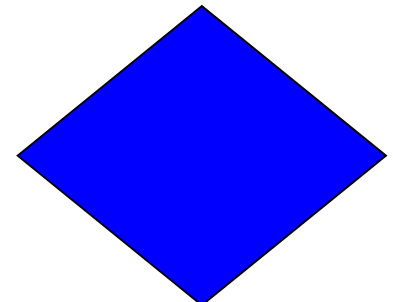
## ✓ **Flamabilidad**

- 4 Severo (arde a 23°C)
- 3 Alto (arde arriba de 23°C)
- 2 Moderado (arde arriba de 37°C)
- 1 Ligero (arde arriba de 38°C)
- 0 Minimo (no arde)



## ✓ **Riesgo a la salud**

- 4 Severo
- 3 Alto (extremadamente peligroso)
- 2 Moderado (Peligroso)



1 Ligero (riesgo leve)

✓ **Reactividad**

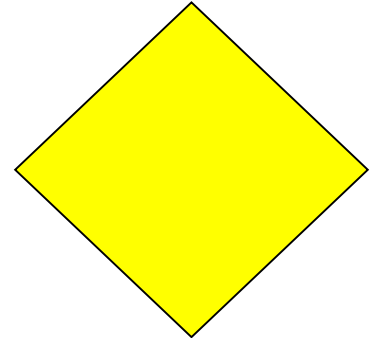
4 Severo (explota a temperatura ambiente y presión normal)

3 Alto (Explota con grandes fuentes de ignición o reacción violenta)

2 Moderado (Presenta cambios químicos violentos sin estallar)

1 Ligero (inestable con calor)

0 Mínimo (estable)



✓ **Indicaciones especiales**

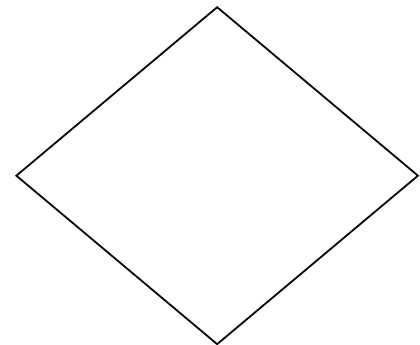
OXY oxidantes

ACID ácidos

ALC alcalinos

CORR corrosivos

W reactivo al agua



**5.5 Niveles de toxicidad.**

Para determinar el nivel de toxicidad en una persona se debe conocer primero el tipo de contacto que se tuvo con el cloro, que puede ser por inhalación, contacto con la piel, contacto con los ojos o por ingestión.



✓ **Inhalación.-**

Es la vía principal de exposición, el cloro es un irritante respiratorio en concentraciones de: 3 a 6 ppm pueden causar irritación de la nariz y de la membrana mucosa del tracto alto de las vías respiratorias seguido de dolor de cabeza y tos.

Con 10 ppm se puede causar severa irritación del tracto respiratorio y los ojos.

Con 15 ppm se puede causar tos muy intensa. Otros síntomas de sobre-exposición incluyen: náuseas, vómito, dificultad para respirar y dolor de pecho, es posible el desarrollo de edema pulmonar y neumonía química pudiendo ocurrir después de la exposición.

Exposiciones prolongadas a más de 25 ppm puede ocasionar paro respiratorio y la muerte.

- ✓ **Por contacto con la piel.-** El contacto con el cloro líquido puede ocasionar quemaduras químicas severas y ampollas. El contacto con cloro gas puede ocasionar irritación, depilación o quemaduras.



- ✓ **Contacto con los ojos.-** El contacto con el cloro líquido puede ocasionar quemaduras químicas severas. El contacto con cloro gas puede ocasionar irritación, enrojecimiento, fuerte lagrimeo o quemaduras.

En caso de contacto ocular, lave los ojos con abundante agua, preferentemente, utilizando un lava ojos, por un mínimo de 15 minutos. Ocasionalmente deberán levantarse los párpados y girar el globo ocular para lavarlo completamente.



- ✓ **Ingestión.-** A la temperatura y presión ambiente el cloro es un gas. La ingestión de cloro líquido puede causar quemaduras severas en la boca, esófago y estómago, pudiendo ocurrir náuseas, dolor y vómito.



## 5.6 Primeros Auxilios en caso de intoxicaciones



**5.6.1 Para auxiliar a una persona que sufre intoxicación por inhalar cloro se debe seguir los siguientes pasos.**

- ✓ Retire a la víctima del área contaminada
- ✓ Si la víctima presenta dificultad para respirar se debe de suministrar oxígeno húmedo.
- ✓ En caso de que la víctima no este respirando, suministre respiración artificial.
- ✓ Aplique un medicamento para abrir las vías respiratorias.
- ✓ Proporcione resucitación cardiopulmonar si no hay pulso o respiración.
- ✓ Inmediatamente lleve a la persona a servicios médicos.

**5.6.2 Para auxiliar a una persona que sufre quemaduras en la piel por entrar en contacto con cloro**

- ✓ Retire a la víctima del área contaminada.
- ✓ Lave el área afectada con una corriente de agua, en lo posible tibia, durante 20 min. No use aceites, cremas o líquidos neutralizantes.
- ✓ NO FROTE el área ni le aplique calor. Retire cuidadosamente la ropa o joyas que puedan restringir la circulación.
- ✓ Cubra sin apretar el área afectada con una gasa estéril.
- ✓ Inmediatamente lleve a la persona a servicios médicos.

### **5.6.3 Qué hacer en caso de haber tenido contacto en los ojos con cloro**

- ✓ Retire a la víctima del área contaminada
- ✓ Lávese con abundante agua corriente al menos durante 30 minutos ocasionalmente girando el globo ocular y abriendo y cerrando los párpados con el objeto de lavar perfectamente toda la superficie del ojo.
- ✓ En caso de presentarse quemaduras en los ojos, cúbralos con gasa estéril.
- ✓ Inmediatamente lleve a la persona a servicios médicos.

### **5.6.4 Qué hacer en caso de haber ingerido cloro**

- ✓ Retire a la víctima del área contaminada
- ✓ Si la persona está consciente dé a beber agua fría de 228.6 ml (8 onzas) para adultos y 114.3 (4 onzas) para niños.
- ✓ No induzca el vómito, pero si éste ocurre lave y dé a beber más agua. Mantenga a la víctima en reposo.
- ✓ Inmediatamente lleve a la persona a servicios médicos.

## 5.7 Equipos de protección personal



Los empleados que manipulan cloro gaseoso deben tener a su disposición una máscara antigás con filtro para cloro (una máscara por empleado). El tipo de equipo de protección respiratoria se debe seleccionar tomando en cuenta la evaluación del peligro, el posible grado de exposición del personal y el efecto en la salud.

### 5.7.1 Protección respiratoria

La Mascarilla cara completa de tipo cartucho, proporciona protección hasta 10 ppm de cloro en el ambiente. Se puede utilizar para escape, para realizar conexiones y desconexiones o para atacar fugas pequeñas en áreas donde nos favorezca la dirección del viento.





### 5.7.2 Protección respiratoria y ojos



Equipo canister, mascarilla con filtros para 25 ppm de cloro en el ambiente. Con esta concentración de cloro puede durar 30 min aproximadamente.

### 5.7.3 Partes de un equipo de seguridad en el manejo de gas cloro



- Mascarilla
- Cilindro
- Arnés
- Manómetro

En la manipulación del gas cloro es necesario contar con el equipo de seguridad apropiado para evitar accidentes y problemas de salud en los operadores.

### **5.7.3 Recomendaciones para el uso de equipo y demás protección personal**

- ✓ En instalaciones donde se puedan esperar elevadas concentraciones de cloro en el aire durante una emergencia, los operarios deben tener a su disposición máscaras con suministro de aire por manguera o equipos de respiración autónomos.
- ✓ El equipo de protección a utilizar en emergencias, debe estar disponible fuera de los cuartos de almacenamiento o uso de cloro, dentro de gabinetes de fácil acceso localizados convenientemente cerca de la entrada, separado de las áreas de probable contaminación. Si el cloro se usa en áreas distintas, el equipo de protección debe estar disponible cerca de cada punto de uso.
- ✓ Se debe utilizar el equipo respiratorio durante la operación de conexión y/o desconexión de los cilindros al equipo de cloración o a la tubería del sistema.
- ✓ Aunque no son específicamente para el cloro, en plantas donde se manejan cilindros de cloro, deben estar disponibles anteojos de seguridad o gafas protectoras, cascos y zapatos de seguridad, guantes gruesos holgados y mandiles de materiales no porosos.
- ✓ La reparación de las máscaras debe estar a cargo de un empleado adiestrado para este trabajo.

### **5.8 Respuestas a emergencias de fuga de gas cloro.**

Cuando existe fuga de gas cloro el personal se pregunta, ¿qué hacer ante tal situación?

A continuación se presenta una serie de actividades a realizar que sirven en el momento de tomar decisiones y mitigar o minimizar los daños que puede ocasionar las fugas de gas cloro en el medio y especialmente cuando este se encuentra en operación

- ✓ Mantenga y conserve siempre la calma.
- ✓ Verifique la dirección del viento.

- ✓ Evacuación de personas y poner señalización de emergencia. Si hay intervención de bomberos, protección civil, cruz roja, o algún otro organismo gubernamental, explíquelo los riesgos del cloro para que tomen las medidas adecuadas de protección pertinentes.
- ✓ Nunca entrar al área de peligro solo.
- ✓ Tener a la mano el equipo y la herramienta adecuada (llave trenzada para contenedor o cilindro).
- ✓ Identifique el equipo que está fugando y por dónde.
- ✓ Cerrar la válvula principal del cilindro o contenedor de cloro.
- ✓ Si se detuvo la fuga, retírese del área y espere a que se disperse la concentración.

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **CONCLUSIONES**

Las conclusiones a las que se llegó luego de culminar con la determinación del diagnóstico y eficiencia de la planta de tratamiento de agua potable de la ciudad de Tarija (Tabladita) son las siguientes:

#### **CANAL DE ADUCCIÓN**

- ✓ La eficiencia del canal de aducción es aceptable teniendo un porcentaje de pérdidas de 13% debido a conexiones erradas y principalmente a infiltración por deterioro del canal en algunos puntos específicos.

#### **PLANTA DE TRATAMIENTO**

- ✓ Después de haber revisado la bibliografía y de conocer el funcionamiento de una planta de tratamiento convencional se pudo realizar la evaluación a la planta de Tabladita y verificar la eficiencia en el tratamiento del agua, de este proceso se llegó a determinar que el agua suministrada por la planta de Tabladita es apta para el consumo humano debido a que cumple con los parámetros básicos que establece la Norma Boliviana 512.
- ✓ El diagnóstico de la planta nos permitió identificar puntos críticos de pérdidas por infiltración en los floculadores y sedimentadores, también se identificaron pérdidas por mal funcionamiento de equipos y accesorios, dichas pérdidas no superan el 5% de la producción diaria de la planta.
- ✓ La eficiencia general de la planta es aceptable, teniendo un porcentaje de 95% y la calidad del agua cumple con lo establecido en la NB512 calidad de agua para consumo humano.
- ✓ Del análisis de calidad del agua de la fuente que aporta el rincón de La Vitoria se concluye que es agua de excelente calidad, y sólo se necesita una cloración para que cumpla con todos los parámetros básicos que indica la norma para calidad de agua de consumo humano.

## PRODUCCIÓN DEL DESINFECTANTE

- ✓ Se propone adicionar un sistema de producción de desinfectante en la planta, este sistema elevará la eficiencia general, será fácil de operar, ofreciendo seguridad al personal encargado.

## REÚSO DEL AGUA DE LAVADO DE FILTROS

- ✓ En el diseño del tanque para el reúso de agua de lavado de filtros se tomó en cuenta la ampliación que se hará en la planta de Tabladita, pero considerando que se puede bombear paralelamente al lavado se diseñó para la mitad del volumen diario.
- ✓ El diseño del tanque de almacenamiento para el reúso del agua de lavado de filtros se realizó de acuerdo a los datos obtenidos de la planta y el aforo que se hizo durante el lavado.
- ✓ Los beneficios de reusar el agua de autolavado de filtros incrementa el volumen de producción diario en un 2% y el mayor beneficio es para la población, puesto que con el volumen de reúso minimizará parte del déficit de agua en la época de estiaje.

## RECOMENDACIONES

Las recomendaciones que se propone para mejorar la eficiencia de cada uno de los componentes de la planta de tratamiento se detallan a continuación:

### CANAL DE ADUCCIÓN

- ✓ Para mejorar la eficiencia en el canal de aducción se recomienda realizar un control en toda su longitud y verificar los puntos donde el agua se está perdiendo por infiltración o por conexiones erradas.
- ✓ Realizar el mantenimiento del canal de manera más frecuente de tal manera que no exista pérdidas por infiltración.
- ✓ Buscar alternativas de solución al problema de conexiones erradas que realiza la gente a lo largo del canal de aducción.

## PLANTA DE TRATAMIENTO

- ✓ Para dosificar de manera correcta se debe tener los datos exactos de caudal, para esto se recomienda tomar bien el dato del tirante para su posterior determinación de caudal a la entrada de la planta.
- ✓ Se debe impermeabilizar desde la mezcla rápida, floculadores, sedimentadores y filtros para que no se pierda agua por infiltración.
- ✓ Para evitar pérdidas se debe revisar las compuertas y válvulas del canal de recolección de los filtros debido a que se registró una pérdida diaria de 95 metros cúbicos teniendo un porcentaje de 0.49% de la producción diaria de la planta.
- ✓ Para mejorar la eficiencia general de la planta se debe realizar talleres de capacitación y actualización a los técnicos y operadores de la planta de tal manera que los mismos conozcan mejor el funcionamiento de la planta y puedan realizar sus tareas eficientemente.
- ✓ En la preparación del desinfectante se debe capacitar a los operadores para que no tengan problemas en su ejecución y se debe tener en cuenta que el hipoclorito de calcio es dañino a la salud, por ello se recomienda usar las medidas de seguridad que sea necesario.

## REÚSO DEL AGUA DE LAVADO DE FILTROS

- ✓ Para el reúso del agua de lavado de filtros se debe utilizar el agua de los filtros y no así cuando se laven los demás componentes de la planta para evitar agua con exceso de sedimentos en suspensión.
- ✓ Se debe realizar la limpieza correspondiente del cárcamo de bombeo cada día, debido a que allí sedimentarán la mayor parte de los sólidos en suspensión provenientes del lavado de los filtros, especialmente cuando el agua de ingreso a la planta sea del río Guadalquivir.

