

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

**“PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE PARA LAS
COMUNIDADES DE RIO SAN JUAN DEL ORO”, TARIJA.**

Por:

JANETH MARIELA HUAYTA SOSA

**Modalidad de graduación PREFACTIBILIDAD presentado a consideración de la
“UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO”, como requisito para
optar el grado académico de Licenciatura en Ingeniería Química.**

Octubre de 2017

TARIJA-BOLIVIA

RESUMEN

El presente estudio de prefactibilidad de diseño de una planta de tratamiento de agua potable, es una alternativa de tratamiento por medio de un sistema de aireación, floculación y coagulación, sedimentación, filtración y desinfección.

La planta va a ser utilizada para el tratamiento de aguas superficiales del Río San Juan del Oro para satisfacer las necesidades de las trece comunidades que corresponden a la zona.

Dada la problemática que la mayoría de las comunidades no cuentan con agua potable apta para el consumo humano según lo establece la Norma Boliviana NB-512 en el municipio de El Puente.

DEFINICIONES

Para interpretar y aplicar este reglamento se tendrán en cuenta las siguientes definiciones:

Ablandamiento: Remoción de la dureza (calcio y/o magnesio) del agua.

Agitación hidráulica: Movimiento obtenido al aprovechar la energía del agua para producir turbulencia.

Agitación mecánica: Movimiento obtenido mediante dispositivos mecánicos (paletas, aspas, etc.) para producir turbulencia.

Agua cruda: Agua que no ha sido sometida a proceso de tratamiento.

Agua dura: Agua que contiene cationes divalentes y sales disueltas en concentraciones tales que interfieren con la formación de la espuma del jabón.

Agua potable: Agua que cumple los requisitos organolépticos, físicos, químicos y microbiológicos, en las condiciones señaladas en la norma boliviana NB-512, puede ser consumida por la población humana sin producir efectos adversos a la salud.

Aeración: Proceso en el que se produce un contacto entre el aire y el agua con el objetivo de oxigenarla o de excluir gases o sustancias volátiles.

Alcalinidad: Capacidad del agua para neutralizar los ácidos. Esta capacidad se origina en el contenido de carbonatos (CO_3^{2-}), bicarbonatos (HCO_3^-), hidróxidos (OH^-) y ocasionalmente boratos, silicatos y fosfatos. La alcalinidad se expresa en miligramos por litro de equivalente de carbonato de calcio (CaCO_3).

Análisis físico-químico del agua: Pruebas de laboratorio que se efectúan a una muestra para determinar sus características físicas, químicas o ambas.

Análisis microbiológico del agua: Pruebas de laboratorio que se efectúan a una muestra para determinar la presencia o ausencia, tipo y cantidad de microorganismos.

Análisis organoléptico: Se refiere a olor, sabor y percepción visual de sustancias y materiales flotantes y/o suspendidos en el agua.

Calidad del agua: Conjunto de características organolépticas, físicas, químicas y microbiológicas propias del agua.

Campo de medida (Rango): Espectro o conjunto de valores sobre los cuales el instrumento permite medir la variable observada.

Capacidad de almacenamiento: Volumen de agua retenido en un tanque o embalse.

Capacidad hidráulica: Caudal que puede manejar un componente o una estructura hidráulica conservando sus condiciones normales de operación.

Carbón activado: Forma de carbón altamente adsorbente, usada para remover material orgánico disuelto causante del mal sabor, color y olor del agua.

Caudal de diseño: Caudal estimado con el cual se diseñan los equipos, dispositivos y estructuras de un sistema determinado.

Clarificación: Proceso de separación de los sólidos del agua por acción de la gravedad.

Cloración: Aplicación de cloro al agua, generalmente para desinfectar o para oxidar compuestos indeseables.

Coagulación: Aglutinación de las partículas suspendidas y coloidales presentes en el agua mediante la adición de coagulantes.

Coagulantes: Sustancias químicas que inducen el aglutinamiento de las partículas muy finas, ocasionando la formación de partículas más grandes y pesadas.

Coloides: Sólidos finamente divididos (que no disuelven) que permanecen dispersos en un líquido por largo tiempo debido a su menor diámetro y a la presencia de una carga eléctrica en su superficie.

Contaminación del agua: Alteración de sus características organolépticas, físicas, químicas, radiactivas y microbiológicas, como resultado de las actividades humanas o

procesos naturales, que producen o pueden producir rechazo, enfermedad o muerte al consumidor.

Control de calidad del agua potable: Análisis organolépticos, físicos, químicos y microbiológicos realizados al agua en cualquier punto de la red de distribución, con el objeto de garantizar el cumplimiento de las disposiciones establecidas en la norma.

Criterio de diseño: Parámetros establecidos como base de diseño de una obra.

Densidad: Relación existente entre la masa de un cuerpo y el volumen ocupado por éste.

Desinfección: Proceso físico o químico que permite la eliminación o destrucción de los organismos patógenos presentes en el agua.

Dosificación: Acción mediante la cual se suministra una sustancia química al agua.

Dotación: Cantidad de agua asignada a una población o a un habitante para su consumo en cierto tiempo, expresada en términos de litro por habitante por día o dimensiones equivalentes.

Drenaje: Dispositivo para la extracción o inyección de agua de una superficie.

Dureza: 1) Resistencia que opone un determinado material a ser rayado por otro; se relaciona con su estructura cristalina. 2) Característica del agua debido a la presencia de varias sales.

Edificio de operación: Área o conjunto de dependencias de una planta de tratamiento de agua potable que cumple determinadas funciones auxiliares, directa o indirectamente ligadas al proceso de tratamiento, necesarias para su correcta operación, mantenimiento y control.

Efluente: Flujo proveniente de un sistema hidráulico.

Escherichia Coli (E-Coli): Bacilo aerobio gram-negativo que no produce esporas, pertenece a la familia de los enterobacteriaceas y se caracteriza por poseer las enzimas β -Galactosidasa y β Glucoroanidasa. Se desarrolla a 44 ± 0.5 °C en medios complejos,

fermenta la lactosa liberando ácido y gas, produce indol a partir del triptófano y no produce oxidasa.

Filtración: Proceso mediante el cual se remueven las partículas suspendidas y coloidales del agua al hacerlas pasar a través de un medio poroso.

Floculación: Aglutinación de partículas inducida por una agitación lenta de la suspensión coagulada.

Flotación: Proceso de separación de los sólidos del agua mediante adhesión de micro burbujas de aire a las partículas para llevarlas a la superficie.

Fuente de abastecimiento de agua: Depósito o curso de agua superficial o subterráneo, natural o artificial, utilizado en un sistema de suministro de agua.

Granulometría: Técnica para la medida del tamaño de los granos o partículas y estudio de la distribución de los mismos con arreglo a una escala de clasificación.

Impacto ambiental: Afectación del entorno ocasionada por la realización de una obra.

Índice coliforme: Número estimado de microorganismos del grupo coliforme presentes en cien centímetros cúbicos de agua (100 cm³), cuyo resultado se expresa en términos de número más probable (NMP) por el método de los tubos múltiples y por el número de microorganismos en el método del filtro de membrana.

Mantenimiento: Conjunto de acciones que se ejecutan en las instalaciones y/o equipos para prevenir daños o para la reparación de los mismos cuando se producen.

Material flotante: Aquellos materiales que se sostienen en equilibrio en la superficie del agua y que influyen en su apariencia.

Mezclador: Equipo para producir turbulencia en el agua.

Muestra compuesta de agua: Integración de muestras puntuales tomadas a intervalos programados y por períodos determinados, preparadas a partir de mezclas de volúmenes iguales o proporcionales al flujo durante el periodo de toma de muestras.

Muestra puntual de agua: Muestra tomada en un punto o lugar en un momento determinado.

Norma de calidad del agua potable: Valores de referencia admisibles para algunas características presentes en el agua potable, que proporcionan una base para estimar su calidad.

Número de Reynolds: Relación entre las fuerzas inerciales y las fuerzas de fricción.

$$Re = \rho * V * L / \mu$$

Donde:

ρ es densidad, V velocidad, L longitud característica y μ viscosidad absoluta del agua.

Operación: Conjunto de acciones para mantener en funcionamiento un sistema.

Parámetros de control de un proceso: Criterios preestablecidos que se utilizan como base para compararlos con los obtenidos en un proceso, con el fin de controlar o medir la eficiencia del mismo.

Parámetros de diseño: Criterios preestablecidos con los que se diseñan y construyen cada uno de los equipos de la planta de tratamiento.

Patógenos: Microorganismos que pueden causar enfermedades en otros organismos, ya sea en humanos, animales y plantas.

Período de diseño: Tiempo para el cual se diseña un sistema o los componentes de éste, en el cual su(s) capacidad(es) permite(n) atender la demanda proyectada para este tiempo.

Planta de potabilización: Conjunto de obras, equipos y materiales necesarios para efectuar los procesos que permitan cumplir con las normas de calidad del agua potable.

Porosidad: Relación entre el volumen de los poros formados dentro de un medio filtrante y el volumen total del mismo.

Precloración: Adición de cloro al iniciar un proceso o una serie de procesos.

Pretratamiento: Proceso previo que tiene como objetivo remover el material orgánico e inorgánico flotante, suspendido o disuelto del agua antes del tratamiento final.

Punto de muestreo: Sitio específico destinado para tomar una muestra representativa del cuerpo de agua.

Registro de control de calidad: Recopilación escrita de los resultados de los análisis del agua que se suministra a la población.

Sedimentación: Proceso en el cual los sólidos suspendidos en el agua se decantan por gravedad, previa adición de químicos coagulantes.

Sistema de control: El sistema de control permite mantener variables de un proceso dentro de un rango de operación, tomando acciones a partir de comparar el valor deseado con el valor requerido. Un sistema de control está compuesto usualmente por los siguientes elementos.

Sistema de suministro de agua potable: Conjunto de obras, equipos y materiales utilizados para la captación, aducción, conducción, tratamiento y distribución del agua potable para consumo humano.

Sistema de potabilización: Conjunto de procesos unitarios para purificar el agua y que tienen por objeto hacerla apta para el consumo humano.

Sólidos disueltos: Mezcla de un sólido (solute) en un líquido solvente en forma homogénea.

Sólidos suspendidos: Pequeñas partículas de sólidos dispersas en el agua; no disueltas.

Solubilidad: Capacidad de una sustancia o soluto de mezclarse homogéneamente en un solvente para unas condiciones de presión y temperatura específicas.

Sustancias flotantes: Materiales que se sostienen en equilibrio en la superficie del agua y que influyen en su apariencia.

Tanque de almacenamiento: Depósito destinado a mantener agua para su uso posterior.

Tasa de aplicación superficial (carga superficial): Relación entre el caudal y el área superficial de una determinada estructura hidráulica ($\text{m}^3/\text{m}^2\text{día}$).

Tiempo de operación: Periodo de funcionamiento de un sistema.

Tratamiento: Conjunto de operaciones y procesos que se realizan sobre el agua cruda, con el fin de modificar sus características organolépticas, físicas, químicas y microbiológicas, para hacerla potable de acuerdo a las normas.

Turbiedad: Propiedad óptica del agua basada en la medida de luz reflejada por las partículas en suspensión.

Velocidad de filtración: Caudal de filtración por unidad de área.

INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

Los seres humanos han almacenado y distribuido el agua durante siglos, en la época en que el hombre era cazador y recolector el agua utilizada para beber era agua del río.

Cuando se producían asentamientos humanos de manera continuada estos siempre se producen cerca de lagos y ríos; cuando no existen lagos y ríos las personas aprovechan los recursos de agua subterráneos que se extrae mediante la construcción de pozos. Cuando la población humana comienza a crecer de manera extensiva y no existen suficientes recursos disponibles de agua, se necesita buscar otras fuentes de abastecimiento.

La cuenca San Juan de Oro se encuentra ubicada geográficamente en la parte Sud de Bolivia, entre los 20° 46' y 22° 50' de Latitud Sur y los 64° 16' y 67° 22' de Longitud Oeste, con una altitud que varía entre los 4700 y 2800 metros sobre el nivel del mar.

La Cuenca San Juan de Oro se encuentra en el Nivel 3 delimitado según la metodología Pfafstetter, tiene una superficie de 14.418 Km². Se encuentra situada entre los departamentos de Tarija ocupando una superficie de 2.451 Km², Chuquisaca ocupando una superficie de 1.162 Km² y Potosí ocupando una superficie de 10.805 Km². Dentro de esta Cuenca se encuentran 9 municipios y 253 comunidades pertenecientes a los 3 departamentos distribuidos.

Cuadro I-1.- Distribución de Municipios y comunidades de la cuenca de San Juan del Oro

Unidad Hidrográfica	Departamento	Municipio	Comunidades
Cuenca San Juan de Oro	Chuquisaca	Las Carreras	25
		Villa Abecia	
	Tarija	El Puente	82
		Yunchará	
	Potosí	Villazón	154
		Tupiza	
		Atocha	
		Mojinete	
		San Antonio de Esmoraca	
TOTAL	3 Depart.	9 Municipios	253 Comunidades

Fuente: Informe Sectorial, Estado de situación de la cuenca San Juan del Oro; MMAyA. 2013.

1.1.1. Precipitación media

La precipitación media anual en la Cuenca San Juan de Oro varía de oeste a este aumentando las precipitaciones intensamente; hacia el oeste se tiene precipitaciones menores a 200 mm, en cambio hacia el este las precipitaciones aumentan alcanzando los 700 mm por año. Las menores precipitaciones se encuentran en las poblaciones pertenecientes al departamento de Potosí y parte de Chuquisaca, mientras que hacia el departamento de Tarija se incrementa las lluvias.

1.1.2. Análisis de las condiciones hidrometeorológicas de la zona

Se analiza la información de las estaciones hidrométricas, correspondientes al sector: Viña Quemada (Chuquisaca), El Puente (Tarija) y Chuquiago (Potosí).

La estación hidrométrica Viña Quemada (Chuquisaca) ubicada en la cuenca alta del Río Pilcomayo indica un incremento significativo del nivel de aguas de 2.47 m (3.59

m³/s) en condiciones normales (estiaje) a 6,23 m (35,47 m³/s) en época de lluvias de acuerdo a información del periodo 2009-2010, no existen datos de gestiones posteriores y se establece la información descrita como referencia de la proporción hidrométrica de 10 veces superior entre el periodo de estiaje y el húmedo.

Las alturas hidrométricas de la estación Chuquiago (Potosí) del mínimo del periodo seco y el máximo periodo húmedo en la gestión 2009-2010 tienen una relación 0.30 m a 3.83 m con un incremento de caudales de estiaje en el periodo 2012-2013.

La estación hidrométrica El Puente (Tarija) ubicada en la cuenca alta del San Juan del Oro y al oeste de la cuenca media del Río Pilcomayo indica un incremento significativo del nivel de aguas entre periodos de estiaje y periodos húmedos en cada año hidrológico.

La comparación hidrométrica entre los años hidrológicos 2009-2010 y 2012-2013, indican que las alturas hidrométricas del mínimo del periodo seco y el máximo periodo húmedo en la gestión 2009-2010 tienen una relación 0.50 m a 2.67m. En la gestión 2012-2013 hay una relación de 10 veces superior. (0.56 m a 5.33 m). No se cuenta con aforos. El mayor nivel se registra en enero 2013 (5.33 m).

1.1.3. Temperatura media

La temperatura media anual en la Cuenca San Juan de Oro varía desde los 7 °C hasta alcanzar los 20 °C hacia el este, de la misma manera que la precipitación la variación se presenta de oeste a este, menores temperaturas entre 7° a 9° C en poblaciones que se encuentran en el departamento de Potosí, de 11° a 15° C en poblaciones que se encuentran dentro del departamento de Chuquisaca y finalmente de 15° a 20° C en poblaciones que se encuentran en el departamento de Tarija.

1.2. Fuente de abastecimiento de agua para la planta de tratamiento

Para el presente estudio se pretende captar como fuente de abastecimiento el agua del río San Juan del Oro para el tratamiento en la PTAP. El tipo de fuente determina la calidad a la cual se va a afrontar el sistema de potabilización.

La evaluación y selección de la fuente debe además considerar:

- Cantidad de agua que se puede obtener actualmente y a futuro.
- Calidad del agua.
- Condiciones climáticas.
- Problemas potenciales para construir una obra de toma.
- Seguridad de operación y suministro.
- Posibilidad de contaminación futura de la fuente.
- Facilidad de expansión futura.

1.2.1. Características del Río San Juan del Oro

Las características que presenta el Río San Juan del Oro:

Cuadro I-2.- Las características físicas del agua del Río San Juan del Oro

Nombre	Símbolo	Cantidad
Caudal máximo	Q	75,37 m ³ /s
Ancho promedio de la superficie	Bo	90 m
Pendiente del río	J	0,05 m/m
Peso específico del agua	δ_w	1000 Kg/ m ³
Altura de socavación	Hs	2,86 m

Fuente: Características de Cuenca Hidrográfica Río San Juan del Oro y/o Subcuenca Inmediata.

El proyecto de prefactibilidad se desarrollará en beneficio de las trece comunidades de la zona Río San Juan del Oro que se encuentran ubicadas en la zona Oeste de la provincia Méndez, Tarija.

Se detalla a continuación los resultados de los Análisis Químicos de las aguas del Río San Juan del Oro que serán utilizados para el presente estudio de prefactibilidad.

Cuadro I-3.- Resultados de análisis químico de agua del Río San Juan del Oro

Parámetro	Unidad	Resultado
Cloro Residual	mg/l	Nd
Cloruros	mg/l	77.3
Cobre Disuelto	mg/l	<0.007
Conductividad (25°C)	µS/cm	895
Dureza Total	Mg Ca CO ₃ / l	603
Hierro Disuelto	mg/l	<0.008
Magnesio Disuelto	mg/l	<0.004
pH (24°C)		8.44
Plomo Disuelto	mg/l	<8.6 x 10 ⁻⁴
Sulfatos	mg/l	559
Sólidos Disueltos Totales	mg/l	1187
Turbiedad	UNT	1.59
Coliformes Termoresistentes	UFC / 100ml	2.5x10 ¹
Escheriachia Coli	UFC / 100ml	2.0 x 10 ¹

Fuente: Informe de Análisis de Laboratorio. Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

A continuación, se muestra una tabla de las comunidades que se beneficiarían con el desarrollo del proyecto.

Cuadro I-4.- División Política - Administrativo de la zona del Río San Juan del Oro

Municipio	Ciudad / Comunidad	Sexo		
		Mujer	Hombre	Total
	Ánimas	25	33	58
	Monte Chico	29	33	62
	El Puente	457	433	890
	Pirgua Pampa	47	50	97
	Pompeya	28	28	56
	Santa de Belén	41	43	84
El Puente	Septapas	184	222	406
	Carrizal	108	123	231
	Ovando	33	46	79
	Cazón Pampa	38	39	77
	Chayaza	89	99	188
	Ircalaya	42	40	82
	Verdiguera	15	12	27
	Total:	1136	1201	2337

Fuente: Instituto Nacional de Estadística - Censo Nacional de Población y Vivienda 2012

Los servicios de agua potable y sanitario son elementos mutuamente dependientes en todo sistema sanitario municipal. La carencia de estos servicios repercute seriamente en los indicadores de calidad de vida de las personas y sus expectativas de mejorar sus proyectos como comunidad. Si bien la obligación municipal y de gobierno de proveer estos servicios son claros, también es claro que la falta de liderazgo y políticas de gobierno a largo plazo (que son cambiantes con el gobierno de turno) ha provocado la falta de continuidad en este tema; una Planta de Tratamiento de Agua

Potable para dotar de agua con una mejor calidad y cantidad para los habitantes de toda la zona; según lo establecen las normas.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

- ✓ Elaborar el estudio de prefactibilidad de la planta de Tratamiento de Agua Potable para la población de las comunidades de Río San Juan del Oro, Tarija.

1.3.2. Objetivos Específicos

- ✓ Realizar un estudio socio-económico del área de influencia del sistema de Agua Potable para la población de las comunidades de Río San Juan del Oro, Tarija.
- ✓ Estimar la población beneficiaria del sistema de Agua Potable para la población de las comunidades de Río San Juan del Oro, Tarija.
- ✓ Seleccionar las fuentes de aprovisionamiento de agua para la planta de Tratamiento de Agua Potable para la población de las comunidades de Río San Juan del Oro, Tarija.
- ✓ Evaluar los parámetros de calidad con que cuenta las fuentes de aprovisionamiento de agua la planta de Tratamiento de Agua Potable para la población de las comunidades de Río San Juan del Oro, Tarija.
- ✓ Definir el tamaño (capacidad) de la planta de Tratamiento de Agua Potable para la población de las comunidades de Río San Juan del Oro, Tarija.
- ✓ Determinar la localización de la planta de Tratamiento de Agua Potable para la población de las comunidades de Río San Juan del Oro, Tarija.
- ✓ Diseñar la ingeniería del proyecto de la planta de Tratamiento de Agua Potable para la población de las comunidades de Río San Juan del Oro, Tarija.
- ✓ Evaluar los aspectos económicos del proyecto de la planta de Tratamiento de Agua Potable para la población de las comunidades de Río San Juan del Oro, Tarija.

- ✓ Efectuar la evaluación económico - social del proyecto de la planta de Tratamiento de Agua Potable para la población de las comunidades de Río San Juan del Oro, Tarija.

1.4. Justificación

1.4.1. Justificación Social

Las poblaciones de las comunidades de Río San Juan del Oro, Tarija, en la actualidad no cuentan con una planta de Tratamiento de Agua Potable, la cual es importante para dotar agua apta para el consumo humano. que cumpla con los requisitos establecidos según la norma boliviana de la calidad de agua NB 512.

1.4.2. Justificación Económica

Puesto que es un proyecto en bien de las comunidades beneficiarias del municipio de El Puente, el cual se encarga de dotar agua de calidad según lo establecen las normas, y realizar estudios de todos los costos de inversión y operación para la instalación de una planta de tratamiento de agua.

1.4.3. Justificación Tecnológica

El uso de recursos tecnológicos al sector impone nuevas responsabilidades logísticas, teóricas o científicas; asimismo, la dotación de productos de calidad, de estabilidad en la provisión de los mismos para satisfacer las demandas.

1.4.4. Justificación Ambiental

El proyecto llevará a cabo una correcta gestión ambiental que permitirá evitar o amortiguar los efectos negativos y potenciar los aspectos positivos; se debe desarrollar un programa de protección de fuentes de agua para la potabilización a fin de no contaminar con residuos industriales y domésticos.

Asimismo, el proyecto de la planta de tratamiento de agua potable practicará la legislación ambiental con la adquisición de la licencia, autorización y el permiso ambiental para la ejecución de dicho proyecto.

1.4.5. Justificación Personal

Con el presente proyecto se quiere aportar a crear polos de desarrollo, con la introducción de tecnología para dotar de un servicio de calidad según lo establecen las normas, que estará potencialmente dirigido a todos los habitantes de las comunidades beneficiarias, aprovechando la materia prima disponible en la zona.

ESTUDIO DE MERCADO

2.1. Definición del Producto

El agua purificada es un producto natural, se puede describir como una conformación de oxígeno e hidrógeno en proporciones 1 a 2, no contiene ningún componente artificial ya que para hacerla potable se necesita de ingredientes como cal hidratada, hipoclorito de calcio y sulfato de aluminio con proporciones según las requiera; es mezclada en un tanque de reacción en donde se agrega los químicos mencionados para luego pasar por los filtros de arena carbón y pulidor para obtener un agua purificada.

2.1.1. Situación Actual de la Comunidad

Las comunidades aledañas al Río San Juan del Oro, suman 13 con aproximadamente 1500 familias; en general, estas se dedican a la agricultura como el cultivo de zanahoria, cebolla, cebada, hortalizas, uva, papa, tomate y ají, entre otros.

Actualmente más del 30% de las familias consume el agua proveniente de ríos, vertientes y a la vez del agua que captan en la época de lluvia.

2.2. Generalidades

En el estudio de mercado, se toman en cuenta la cantidad de consumo, los precios actuales del servicio, la selección del mercado y la disponibilidad en el mismo.

Es necesario el diseño de una Planta de Tratamiento de Agua potable para el tratamiento y potabilización para cumplir con la norma boliviana NB 512-10, proporcionando un recurso de calidad que garantice la salud y seguridad en su consumo, evitando así la aparición de enfermedades que pueden ser graves e incluso causar la muerte de la persona.

2.3. Estructura del mercado regional

La cobertura de agua potable y saneamiento en Bolivia aumentó considerablemente desde 1990 con altas inversiones en el sector. Sin embargo, las coberturas siguen siendo las más bajas del continente y la calidad de servicio es baja.

Según las Naciones Unidas, el 2015 las coberturas más bajas se encuentran en los departamentos de Pando, Potosí, Oruro. Según el gobierno boliviano la cobertura de agua potable era más baja: 74% en 2015.

Cuadro II-1.- Cobertura de agua potable en Bolivia

		Urbano (67% de la población)	Rural (33% de la población)	Total
Agua	Definición amplia	99%	71%	88%
	Conexiones domiciliarias	95%	51%	80%

Fuente: Programa de Monitoreo Conjunto de Agua Potable y Saneamiento de la OMS/UNICEF

Durante el segundo gobierno de Hugo Banzer (1997-2001) se reformó el marco institucional del sector con la Ley 2029 de 1999 que estableció el marco legal para la participación del sector privado y formalizó la existencia de un ente regulador, la SISAB.

En este período se daban en concesión al sector privado los sistemas de agua y saneamiento de La Paz/El Alto a la empresa Aguas de Illimani S.A. (AISA), subsidiaria de la empresa francesa SUEZ (el entonces Lyonnaise des Eaux) en 1997, y el sistema de Cochabamba a Aguas de Tunari, subsidiaria de las empresas multinacionales Biwater y Bechtel, en 1999.

Después se produjeron dos levantamientos populares contra la privatización del agua, el primero en Cochabamba en abril de 2000 y el segundo en El Alto, en enero de 2005, resultando en la inclinación de las dos concesiones. En el caso ulterior, AISA fue reemplazado por la Empresa Pública Social de Agua y Saneamiento (EPSAS), que fue criticada por interrupciones de abastecimiento, errores de facturación, subidas de tarifas y falta de preparación para situaciones de desastre o emergencia. Representantes de la dirigencia vecinal de El Alto anunciaron la creación de un proveedor nuevo e independiente solo para su ciudad.

Fuera de estas dos grandes ciudades, las EPSA y Juntas encargadas del servicio a la mayoría de la población del país quedaban públicas y comunitarias. El gobierno definió en 2001 un Plan Nacional de Saneamiento Básico 2001-2010 para aumentar el acceso a agua y saneamiento, mejorar la calidad del servicio y promover la sostenibilidad de los servicios.

Las regulaciones de las empresas urbanas en este sector están al cargo de la Autoridad de Fiscalización y Control Social de Agua Potable y Saneamiento Básico (AAPS), la cual otorga licencias de servicios, y establece los principios para fijar precios, tarifas, tasas y cuotas. En 2012 un total de 1041 proveedores de servicios tenían una licencia de servicio. La AAPS es también responsable para recibir quejas de los usuarios. Otros entes reguladores en América Latina normalmente no otorgan concesiones de servicios; esta responsabilidad recae en los municipios en estos países. El gobierno de Evo Morales disolvió todas las Superintendencias, por ende, disolvió la Superintendencia de Saneamiento Básico (SISAB), el regulador anterior del sector.

2.4. Análisis de precios: agua potable.

El precio es una variable económica de mucha importancia en el estudio de mercado, por lo tanto, es un parámetro que muestra la cantidad monetaria a la cual los beneficiarios están dispuestos a comprar como así los ofertantes están dispuestos a vender este servicio, ya que el precio de este servicio debe de ser similar al del mercado.

2.5. Descripción y especificaciones de materias primas y productos

El agua es un recurso natural que posee un conjunto de propiedades y características que la vuelven única, por lo que es indispensable conservar este recurso no renovable dándole un tratamiento adecuado para cumplir con los requisitos prescritos en la norma boliviana para el Agua Potable NB 512.

El acceso al agua potable es una necesidad primaria y por lo tanto un derecho humano fundamental; muchas de nuestras poblaciones se ven obligadas a beber de fuentes cuya calidad deja mucho que desear y produce un sinnúmero de enfermedades a niños y adultos, por eso es necesario realizar un tratamiento adecuado y potabilización que permita disminuir al mínimo los valores de los parámetros prescritos por la norma boliviana (NB).

Cuadro II-2.- Parámetros de control mínimo de la calidad de agua para consumo humano

Parámetro	Valor máximo aceptable
pH	6,5 - 9,0
Conductividad	1500 μ S/cm
Turbiedad	5 UNT
Cloro Residual	0,2 - 1,0 mg/l
Coliformes termoresistentes	0 UFC/100 ml

Fuente: Reglamento Nacional para el Control de Calidad de agua para Consumo Humano; NB 512.

Nota:

El valor máximo aceptable de la conductividad, se puede expresar también como 1.000 mg STD/l. - El parámetro temperatura, se debe medir en el punto de muestreo y en laboratorio a tiempo de realizar los análisis. Sirve como referencia para los análisis microbiológicos y para el cálculo del Índice de Langelier.

Cuadro II-3.- Parámetros de control básico de la calidad de agua para consumo humano

Parámetro	Valor máximo aceptable
Físicos	
Color	15 UCV
Químicos	
Sólidos totales disueltos	1000 mg/l
Químicos Inorgánicos	
Alcalinidad total	370 mg/l de CaCO ₃
Calcio	200 mg/l
Cloruros	250 mg/l
Dureza	500 mg/l de CaCO ₃
Hierro total	0,3 mg/l
Magnesio	150 mg/l
Manganeso	0,1 mg/l
Sodio	200 mg/l
Sulfatos	400 mg/l

Fuente: Reglamento Nacional para el Control de Calidad de agua para Consumo Humano; NB 512

2.6. Materia prima.

Las estimaciones de acceso al agua potable en Bolivia varían dependiendo de las fuentes de información; según la Organización de las Naciones Unidas era así en 2010.

Cuadro II-4.-Cobertura de agua potable en Bolivia

		Urbano (67% de la población)	Rural (33% de la población)	Total
Agua	Definición amplia	96%	71%	88%
	Conexiones domiciliarias	95%	51%	80%
Saneamiento	Definición amplia	35%	10%	27%
	Alcantarillado	no disponible	no disponible	no disponible

Fuente: Programa de Monitoreo Conjunto de Agua Potable y Saneamiento de la OMS/UNICEF

Estimaciones de acceso de agua en el departamento de Tarija, según Ministerio de Medio Ambiente y Agua, 2015.

Cuadro II-5.- Cobertura de agua potable en Tarija

Agua potable		
Total %	Urbano %	Rural %
93,7	97,2	87
Saneamiento		
76,6	84,6	61,5

Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y Agua, 2015.

2.6.1. Consumo histórico de agua a nivel nacional

El consumo nacional de agua es de 85 a 300 litros de agua que consume una persona a diario en Bolivia, según la fundación Canaru. Esta cantidad es superior a la cifra que recomienda la Organización Mundial de la Salud (OMS), que sugiere utilizar 80 litros por día.

De acuerdo al siguiente detalle:

Cuadro II-6.- Consumo de agua por día y por departamento (l/día)

Departamento	2010	2011	2012	2013	2014	2015
TOTAL	896.649.330	913.706.656	1.854.008.554	947.709.336	964.580.902	981.316.416
Chuquisaca	55.949.020	56.829.918	930.738.956	58.564.624	59.413.788	60.247.816
La Paz	244.235.356	247.811.666	57.702.646	254.813.012	258.219.042	261.549.392
Cochabamba	160.125.464	163.348.916	251.340.676	169.794.874	173.004.480	176.196.198
Oruro	38.770.004	39.083.732	166.574.174	39.658.470	39.916.814	40.153.830
Potosí	67.802.916	68.272.820	39.380.346	69.113.212	69.478.368	69.803.534
Tarija	44.921.154	45.983.082	68.710.560	48.124.998	49.200.944	50.277.578
Santa Cruz	239.575.532	246.201.746	47.051.718	259.655.930	266.462.658	273.307.914
Beni	38.290.124	38.952.324	252.898.738	40.264.082	40.910.716	41.549.180
Pando	6.979.760	7.222.452	39.610.740	7.720.134	7.974.092	8.230.974

Fuente: Instituto Boliviano de Meteorología Ibmetro, “Consumo de agua”.

Como se observa en el cuadro anterior, el consumo de agua a nivel nacional es de 981.316.416 litros, (se realiza el cálculo de la anterior tabla en base a su población y al consumo máximo de 300 litros que consume una persona a diario en Bolivia).

Cuadro II-7.- El consumo de agua en el departamento de Tarija (l/día)

DEPARTAMENTO, PROVINCIA	2013	2014	2015
	Total	Total	Total
TARIJA	43.834.888,0	44.921.154,0	45.983.082,0
Cercado	17.675.838,0	18.147.548,0	18.587.868,0
Aniceto Arce	5.190.960,0	5.229.746,0	5.352.124,0
Gran Chaco	14.573.130,0	15.135.828,0	15.483.870,0
Avilés	1.625.056,0	1.627.636,0	1.666.078,0
Méndez	2.939.996,0	2.942.146,0	3.010.688,0
Burnet O'Connor	1.829.908,0	1.838.250,0	1.882.454,0

Fuente: Instituto Boliviano de Meteorología Ibmetro, “Consumo de agua”.

En el año 2015 el departamento de Tarija consumió 45.983.082,0 litros de agua.

2.7. Proyecciones

2.7.1. Proyección de la población

Se determina la población final, aplicando la fórmula de crecimiento geométrico, dependiendo de sus características socio-económicas, (Parámetros básicos de diseño, NB-689).

$$P_f = P_o \left(1 + \frac{r}{100}\right)^n$$

Donde:

r = Índice anual de crecimiento

P_f = Población de diseño

P_o = Población inicial

n = Intervalos de años

$$P_f = 2337 \left(1 + \frac{5}{100}\right)^1$$

$$P_f = 2453,85 \text{ habitantes}$$

En el siguiente cuadro se muestra a detalle la proyección de los habitantes según un crecimiento anual del 5%.

Cuadro II-8.- Proyección de los habitantes de las comunidades beneficiarias

Año	Crecimiento anual %	Población (Habitantes)
2012		2.337,00
2013		2.453,85
2014		2.576,54
2015		2.705,37
2016		2.840,64
2017		2.982,67
2018	5%	3.131,80
2019		3.288,39
2020		3.452,81
2021		3.625,45
2022		3.806,73
2023		3.997,06

Fuente: Elaboración propia

TAMAÑO Y LOCALIZACION

3.1. Tamaño

Para determinar la capacidad de la Planta de Tratamiento de Agua Potable, los factores que condicionan el tamaño son:

1. Disponibilidad de materia prima.
2. Mercado para el producto.
3. Disponibilidad de tecnología.
4. Financiamiento.

3.1.1. Disponibilidad de materia prima e insumos

La Subcuenca del Río San Juan del Oro, cuenta con una cantidad aproximada de 5,8 m³ /s; el cual sería el caudal promedio en época seca. Esto significaría que no habrá dificultad en la adquisición de materia prima.

3.1.2. Disponibilidad de tecnología

Comprender la tecnología empleada en la planta de tratamiento de agua potable, no es muy compleja, ya que requiere:

➤ **Línea de agua:**

- Captación superficial desde la fuente del Río San Juan del Oro.
- Cámara de mezcla rápida: coagulación, ajuste de pH y pre cloración.
- Incorporación del agua de lavado de filtros, flotantes del espesador y recirculación de fangos.
- Cámara de floculación y adición de floculante.
- Sedimentación.
- Filtración.
- Desinfección final mediante hipoclorito sódico.
- Depósitos de agua tratada.

➤ **Línea de fangos:**

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

➤ **Reactivos:**

- Desinfección: Hipoclorito de sodio
- Corrección con pH y neutralización del agua filtrada: Sosa Cáustica Líquida.
- Coagulante: Sulfato de Aluminio.
- Floculante: Almidón modificado.

➤ **Elementos auxiliares:**

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

3.2. Financiamiento

Para llevar adelante el proyecto se tiene buenas posibilidades de acceder a recursos financieros, ya que las comunidades del municipio de El Puente son las más beneficiadas, podrá apoyar la alcaldía y la subgobernación del municipio para satisfacer las necesidades de su población.

3.3. Localización

En base a la evaluación de los diferentes factores condicionales que inciden en la determinación de su localización se tomó en cuenta la disponibilidad de materia prima.

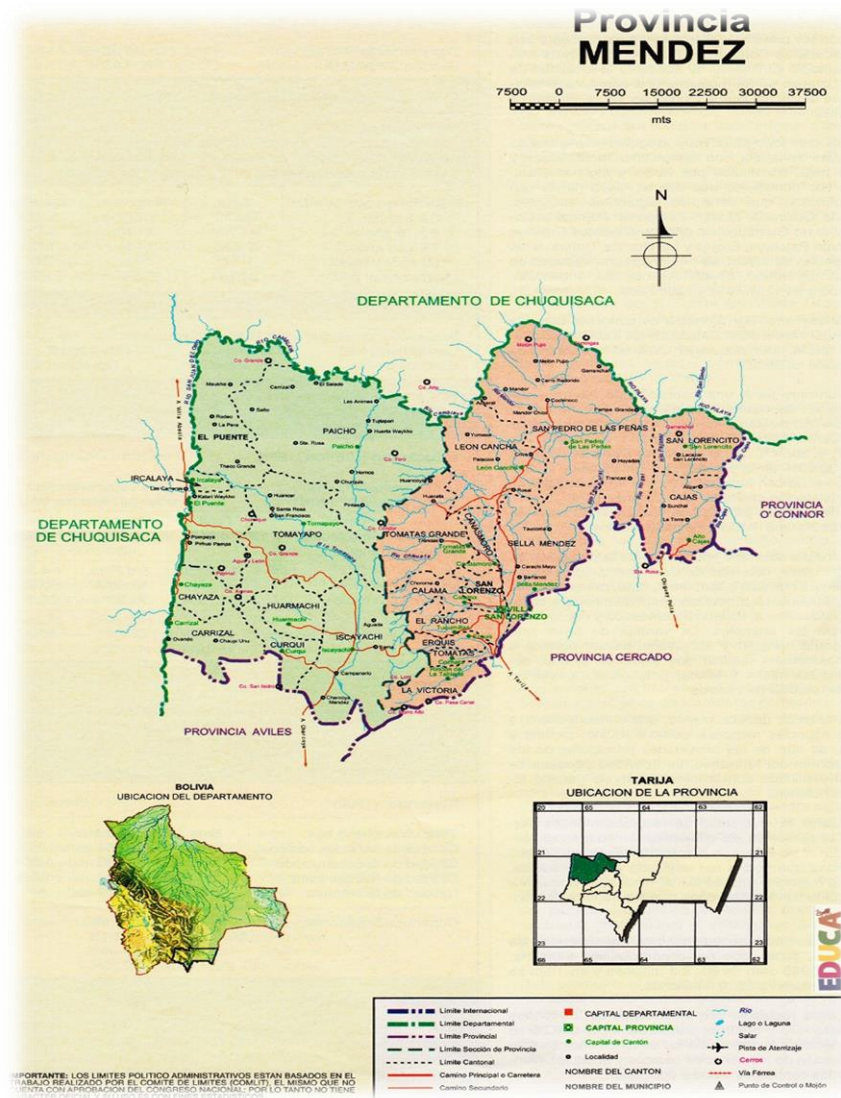
Macro localización: Municipio de El Puente, Segunda Sección de la Provincia Méndez.

El municipio de El Puente está ubicado al Nor Este del departamento de Tarija y en la zona Oeste del territorio de la provincia Méndez. Según la lectura de los mapas cartográficos entre las coordenadas 20° 56' y 21° 37' 45" de latitud Sur, y 64° 49' 30" y 65° 15' de longitud Oeste, respecto del meridiano de Greenwich.

Micro localización: Comunidad de Carrizal

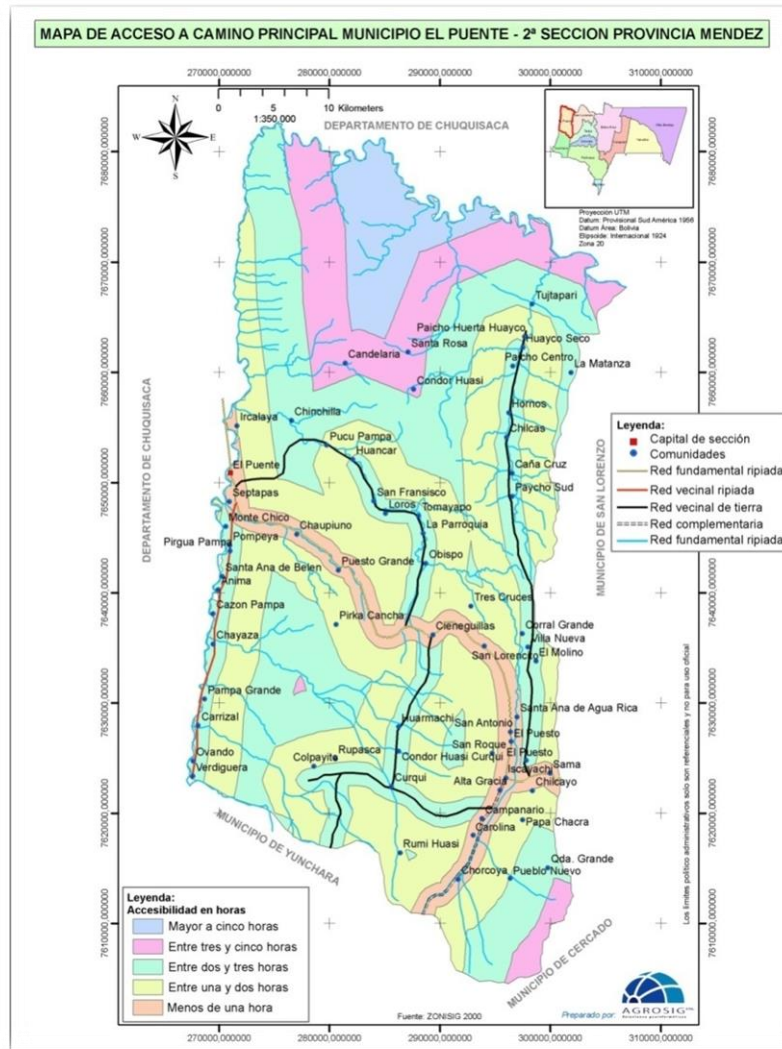
La comunidad se encuentra en el municipio de El Puente, puesto que se encuentra en una zona alta, altura que se puede aprovechar para la presión de la red de distribución

Figura III-1.- Hidrografía de la Provincia Méndez



Fuente: Plan de Desarrollo Municipal en base a la Ordenanza Municipal.

Figura III-2.-Ubicación del Municipio de El Puente



Fuente: Plan de Desarrollo Municipal en base a la Ordenanza Municipal.

INGENIERIA DEL PROYECTO

4.1. Características técnicas de las materias primas y productos

4.1.1. Materias Primas

La fuente de abastecimiento es el río San Juan del Oro, la calidad de sus aguas está directamente influenciada por las características de su amplia cuenca, las actividades antrópicas que se desarrollan en ésta y por las condiciones climáticas.

Los principales problemas conocidos de la calidad del agua, tienen relación con sus características físicas, especialmente en los parámetros de turbiedad y color; así como su calidad microbiológica, a partir de sus indicadores como la concentración de Coliformes termo tolerantes y totales, estas últimas, debido a las descargas sanitarias de las poblaciones por las que atraviesa el río.

Por otra parte, la importante actividad agrícola que se desarrolla en las comunidades del río San Juan del Oro, torna necesaria la vigilancia de otras sustancias orgánicas provenientes de fertilizantes y pesticidas, cuyo incremento en el tiempo en las aguas del río, podría alcanzar una importancia sanitaria.

4.1.2. Tipos de agua

➤ Agua potable

Se denomina agua potable o agua para consumo humano, al agua que puede ser consumida sin restricción debido a que, gracias a un proceso de purificación, no representa un riesgo para la salud. El término se aplica al agua que cumple con las normas de calidad promulgadas por las autoridades locales e internacionales. El pH del agua potable debe estar entre 6,5 y 8,5. Los controles sobre el agua potable suelen ser más severos que los controles aplicados sobre las aguas minerales embotelladas.

➤ Agua salada.

El agua de mar es una solución basada en agua que compone los océanos y mares de la Tierra. Es salada por la concentración de sales minerales disueltas que contiene, un 35%

como media, entre las que predomina el cloruro sódico, también conocido como sal de mesa. El océano contiene un 97,25% del total de agua que forma la hidrósfera.

➤ **Agua salobre.**

Es agua que tiene una mayor salinidad que el agua dulce, pero no tanto como el agua de mar. La salinidad expresa la cantidad de sal disuelta o el contenido de sal de una determinada cantidad de agua. Técnicamente, el agua salobre contiene entre 500 y 30.000 ppm de sal - o en porcentaje: 0,05 - 3,0%.

➤ **Agua dulce.**

Agua natural con una baja concentración de sales, o generalmente considerada adecuada, previo tratamiento, para producir agua potable. El agua dulce que todos los seres humanos necesitan para crecer y desarrollarse representa solo el 2,75% del agua de todo el planeta. Además, se encuentra distribuida en forma in-equitativa, concentrándose más del 90 por ciento de la misma en los casquetes polares, glaciares y masas de hielo.

Se calcula que en la Tierra hay unos 1.400 millones de Km³ de agua. El agua dulce se puede encontrar en ríos, lagos, manantiales, lagunas, cascadas, y más que nada se puede encontrar en el lago de Baikal, de Siberia, que tiene un índice reducido de sal y no está aún contaminado.

➤ **Agua dura**

El agua dura es la cantidad de minerales, carbonato de calcio y carbonato de magnesio que está en el agua. Una forma de eliminar esa "roca disuelta" del suministro de agua es instalando un ablandador de agua. La mejor manera de determinar si el agua de su hogar es dura o no es haciéndole pruebas. Sin embargo, por lo general puede detectar el agua dura a través de manifestaciones en su hogar, entre ellas:

- ✓ Grumo de jabón en bañeras, azulejos de duchas y lavamanos.
- ✓ La capa que queda en el cuerpo seca la piel y hace que el pelo sea lacio sin brillo.
- ✓ Disminución de las capacidades de limpieza de jabones y detergentes que hace que la ropa lavada se vea mugrienta y que dure menos.

- ✓ Incremento en la formación de costras en los aditamentos de plomería y utensilios de cocinar, como teteras, cafeteras y lavaplatos.
- ✓ Cabezales y tuberías de ducha tapados

➤ **Aguas blandas**

Concentración de menos de 50 mg/l de carbonato cálcico.

➤ **Aguas ligeramente duras**

Concentración de entre 50 - 100 mg/l de carbonato cálcico.

➤ **Aguas moderadamente duras**

Concentración entre 100 y 200 mg/l de carbonato cálcico.

➤ **Aguas muy duras**

Concentración de más de 200 mg/l de carbonato cálcico.

➤ **Aguas residuales**

El término agua residual define un tipo de agua que está contaminada con sustancias fecales y orina, procedentes de desechos orgánicos humanos o animales. Su importancia es tal que requiere sistemas de canalización, tratamiento y desalojo. Su tratamiento nulo o indebido genera graves problemas de contaminación.

4.1.2.1. Identificación del tipo de agua del Río San Juan del Oro

Según los análisis químicos del agua proveniente del río se califican como aguas muy duras, las cuales necesitan un proceso de ablandamiento.

El ablandamiento de agua consiste en la adición de sustancias al agua que reaccionan con los iones calcio y magnesio, transformándolos en compuestos insolubles, que son separados del agua por procedimientos físicos convencionales.

4.1.3. Contaminantes del agua

➤ **Pesticidas y fertilizantes**

Los pesticidas y fertilizantes son dos de los contaminadores más prolíficos cuando se utilizan tanto comercialmente como en el hogar. El escurrimiento desde las granjas y el drenaje desde los céspedes desagotan en desagües, arroyos y ríos y eventualmente se

filtran a aguas dulces. Los abonos enriquecidos con diversos nutrientes para la vida vegetal, finalmente, hacen que el agua dulce altere el equilibrio natural de los nutrientes necesarios para la vegetación acuática.

➤ **Petróleo y gas**

Los derrames de petróleo como el reciente desastre del Golfo, cuentan como el tercer mayor contaminante del agua. Cuando se producen derrames de petróleo en los océanos, contaminan inmediatamente toneladas de aguas cercanas, mientras que el petróleo derramado en la tierra se transporta a través del agua de lluvia a los océanos. La navegación también es responsable de un gran depósito de residuos de petróleo en el agua. La filtración de gas de los contenedores de almacenamiento es, también un gran problema para la contaminación del agua. Numerosos pozos de agua subterráneos han sido clausurados debido a la contaminación de aguas subterráneas provocadas por fugas en los tanques.

➤ **Explotación minera y forestal**

La minería libera compuestos previamente intactos en el suelo que luego son transportados por el agua al agua. Procesos similares ocurren cuando los bosques son talados y los sedimentos, que de otro modo se concentrarían en el suelo, son llevados a la superficie de la tierra. Ambos sectores también producen desechos traídos por el agua de lluvia a los ríos y océanos.

➤ **Productos químicos, industria y plástico**

Más de la mitad de todos los desechos líquidos más peligrosos producidos por las industrias se vierten directamente a las aguas subterráneas. Estos incluyen un número de metales y materiales radiactivos producidos como un subproducto de diversas industrias. Los plásticos también se descartan en los océanos y causan lesiones graves a varios animales que viven en el agua ya que a menudo se enredan en ellos. Cuando se descomponen, los plásticos son consumidos por animales más pequeños.

➤ **Productos para el hogar y alcantarillados**

Cuando los elementos comunes del hogar se arrojan por el desagüe, a menudo se envían sin procesar directamente a las aguas cercanas. Estos a menudo incluyen medicamentos, perfumes y otros productos químicos perjudiciales para la vida marina y para la calidad del agua. Las fragancias son halladas a menudo en el tejido de los peces. Las aguas residuales tienen un efecto igualmente perjudicial, ya que a menudo se envían al agua no tratada debido a una falta de regulación o mal funcionamiento de las instalaciones de tratamiento.

4.1.4. Parámetros de calidad del agua potable en Bolivia

En Bolivia rige la norma NB – 512 “Requisitos – agua potable”, en el punto N° 6 de la norma boliviana NB- 512 se establecen los siguientes parámetros a seguir para considerar un agua como potable.

En los cuadros del anexo B, se encuentra la información de los parámetros de calidad de agua potable según lo establece la norma.

4.1.5. Características físicas del agua

Existen ciertas características del agua, que se consideran físicas porque son perceptibles por los sentidos (vista, olfato o gusto), y tienen incidencia directa sobre las condiciones estéticas y de aceptabilidad del agua:

4.1.5.1. Color

Esta característica del agua puede estar ligada a la turbidez o presentarse independiente de ella. Aún no es posible establecer las estructuras químicas fundamentales de las especies responsables del color, se atribuye comúnmente a la presencia de taninos, lignina, ácidos húmicos, ácidos grasos, ácidos fúlvicos, etc. Se considera que el color natural del agua puede originarse por las siguientes causas:

- La descomposición de la materia
- La materia orgánica del suelo
- La presencia de hierro, manganeso y otros compuestos metálicos

En la formación del color en el agua intervienen, entre otros factores, el pH, la temperatura, el tiempo de contacto, la materia disponible y la solubilidad de los compuestos coloreados.

4.1.5.2. Olor y sabor

El sabor y el olor están estrechamente relacionados y constituyen el motivo principal de rechazo por parte del consumidor. La falta de olor puede ser un indicio indirecto de la ausencia de contaminantes, tales como los compuestos fenólicos; por otra parte, la presencia de olor a sulfuro de hidrógeno puede indicar una acción séptica de compuestos orgánicos en el agua.

Las sustancias generadoras de olor y sabor en aguas crudas pueden ser o compuestos orgánicos derivados de la actividad de microorganismos y algas, o provenir de descargas de desechos industriales.

4.1.5.3. Temperatura

Es uno de los parámetros físicos más importantes, pues por lo general influye en el retardo o aceleración de la actividad biológica, la absorción de oxígeno, la precipitación de compuestos, la formación de depósitos, la desinfección y los procesos de mezcla, floculación, sedimentación y filtración.

4.1.5.4. pH

El pH influye en algunos fenómenos que ocurren en el agua, como la corrosión y las incrustaciones en las redes de distribución. Aunque podría decirse que no tiene efectos directos sobre la salud, sí puede influir en los procesos de tratamiento del agua, como la coagulación y la desinfección. Por lo general, las aguas naturales (no contaminadas) exhiben un pH en el rango de 6 a 9.

Cuando se tratan aguas ácidas, es común la adición de un álcali (por lo general, cal) para optimizar los procesos de coagulación. En el tratamiento del agua de consumo, se requerirá volver a ajustar el pH del agua hasta un valor que no le confiera efectos corrosivos ni incrustantes.

4.1.5.5. Turbidez

Es originada por las partículas en suspensión o coloides. Es decir, causada por las partículas que, por su tamaño, se encuentran suspendidas y reducen la transparencia del agua en menor o mayor grado. La medición de la turbidez se realiza mediante un turbidímetro o nefelómetro, siendo la unidad utilizada la unidad nefelométrica de turbidez (UNT).

Aunque no se conocen sus efectos directos sobre la salud, esta afecta la calidad estética del agua, lo que muchas veces ocasiona el rechazo de los consumidores. Por otra parte, se ha demostrado que, en el proceso de eliminación de organismos patógenos, por la acción de agentes químicos como el cloro, las partículas causantes de la turbidez reducen la eficiencia del proceso y protegen físicamente a los microorganismos del contacto directo con el desinfectante. Por esta razón, si bien las normas de calidad establecen un criterio para turbidez, esta debe mantenerse mínima para garantizar la eficacia del proceso de desinfección.

4.2. Descripción de los procesos existentes para los tratamientos y potabilización del Agua

- **Captación**

El agua superficial es bombeada de la fuente a la planta, para llevar a cabo su tratamiento.

La captación de aguas subterráneas se efectúa por medio de pozos de bombeo o perforaciones, para poder efectuar el tratamiento de la misma que sea apta para el consumo humano según lo establecen las normas.

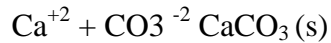
- **Aireación**

Se utiliza para eliminar las cantidades excesivas de hierro y manganeso de las aguas subterráneas. Estas sustancias causan problemas de sabor y color, interfieren con el lavado de la ropa, manchan los accesorios de plomería y favorecen el crecimiento de bacterias férricas en tuberías maestras. Al burbujear aire en el agua, o al crear contacto entre el aire y el agua por aspersion, el hierro o manganeso disuelto (Fe^{+2} ,

Mn^{+3}) se oxida a una forma menos soluble (Fe^{+3} , Mn^{+4}) que se precipita y se puede separar en un tanque de sedimentación o un filtro. La aireación elimina también los olores que causa el sulfato de hidrogeno gaseoso.

- **Suavizamiento o Ablandamiento**

La precipitación de la dureza se basa en las siguientes reacciones:



El objetivo es precipitar el calcio como $CaCO_3$ y el magnesio como $Mg(OH)_2$. Para precipitar el calcio, el pH del agua se debe incrementar alrededor de 10.3. Para precipitar el magnesio, el pH debe ser incrementado alrededor de 11. El magnesio es más costoso de remover que el calcio, de manera que se trata de dejar la mayor cantidad de magnesio posible en el agua.

- **Absorción**

Es un proceso por el cual átomos, iones o moléculas son atrapados o retenidos en la superficie de un material. Este proceso se usa principalmente para extraer sustancias orgánicas que causan sabores y olores. Uno de los materiales más empleados es el carbón activado. Se emplea para la depuración de agua subterránea, la dechloración del agua, el refinamiento de las aguas residuales tratadas. En este proceso, el agua es bombeada dentro de una columna que contiene el carbón activo, esta agua deja la columna a través de un sistema de drenaje. La actividad del carbón activo de la columna depende de la temperatura y de la naturaleza de las sustancias. El agua pasa a través de la columna constantemente, con lo que produce una acumulación de sustancias en el filtro. Por esa razón el filtro necesita ser sustituido periódicamente. Un filtro usado se puede regenerar de diversas maneras, el carbón granular puede ser regenerado fácilmente oxidando la materia orgánica. La eficacia del carbón activo disminuye en un 5-10% tras cada regeneración. Una parte pequeña del carbón activo se destruye durante el proceso de la regeneración y debe ser sustituida.

- **Coagulación - mezclado rápido y floculación**

La coagulación es la desestabilización de las partículas coloidales (generalmente negativas (-) causadas por la adición de un reactivo químico llamado coagulante, el cual, neutralizando sus cargas electrostáticas, hace que las partículas tiendan a unirse entre sí. La neutralización de la carga eléctrica del coloide, objeto de la coagulación, se realiza aplicando al agua determinadas sales de aluminio o hierro (coagulantes); generalmente se aplica sulfato de aluminio, de forma que los cationes trivalentes de aluminio o hierro neutralizan las cargas eléctricas negativas que suelen rodear a las partículas coloidales dispersas en el agua. Las reacciones de coagulación son muy rápidas, duran fracciones de segundo desde que se ponen en contacto las partículas con el coagulante. Existen tres propiedades claves que debe reunir un coagulante: ser un catión trivalente, no ser tóxico y ser insolubles a un pH neutro.

➤ **Coagulantes más comunes. -**

- ✓ Sulfato de aluminio
- ✓ Sulfato ferroso
- ✓ Sulfato férrico
- ✓ Cloruro férrico
- ✓ Poli hidróxido de aluminio

La coagulación y la floculación tienen lugar en sucesivas etapas, de forma que una vez desestabilizadas las partículas, la colisión entre ellas permita el crecimiento de los microflóculos, apenas visibles a simple vista, hasta formar mayores flóculos. Al observar el agua que rodea a los microflóculos, esta debería estar clara, si esto no ocurre, lo más probable, es que todas las cargas de las partículas no han sido neutralizadas y por tanto la coagulación no se ha completado, en este caso será necesario añadir más coagulante.

➤ **Mezclado**

En la eficacia de la coagulación influyen diversos factores entre los que destaca el pH y otras características físico-químicas del agua, así como una adecuada energía de agitación rápida para conseguir una apropiada dispersión

del coagulante y proporcionar las necesarias colisiones entre las partículas para conseguir una óptima coagulación.

A continuación de la etapa de coagulación tiene lugar un segundo proceso llamado floculación, este tiene lugar tras someter a los microfloculos a una agitación lenta que permite la unión de estos en agregados mayores o flóculos, visibles ya a simple vista y con la suficiente cohesión y densidad para someterlos a la siguiente etapa de sedimentación. La floculación requiere un menor gradiente de agitación para impedir la rotura y disgregación de los flóculos ya formados. Los flóculos rotos son difíciles de retornar a su tamaño inicial.

➤ **Floculación**

En los floculadores que pueden ser mecánicos o hidráulicos, se produce la mezcla entre el producto químico y el coloide que produce la turbiedad, formando los flóculos. Los floculadores mecánicos son paletas de grandes dimensiones y velocidad de mezcla baja. Son hidráulicos con canales en forma de serpentina en la cual se reduce la velocidad de ingreso del agua produciendo la mezcla.

La Floculación es el proceso que consiste en la aglomeración de las partículas desestabilizadas, para formar flóculos de un peso molecular lo suficientemente elevado para que sedimenten o floten.

La reunión de estos flóculos pequeños en conglomerados mayores (floculación) se realiza con ayuda de polímeros polielectrolíticos, que permiten la decantación a velocidades altas de sedimentación. Debido a que la coagulación y la inmediata etapa de floculación ocurren muy rápidamente, en la práctica poco se distinguen.

- **Sedimentación**

Es la forma de tratamiento de aguas más antigua y de uso más extendido; emplea el asentamiento por gravedad para separar las partículas del agua. Es un método relativamente sencillo y económico que se puede aplicar en estanques redondos, cuadrados o rectangulares. La sedimentación se puede hacer después de una coagulación- floculación para aguas muy turbias, u omitirse por completo con aguas de turbidez moderada. El agua que contiene materia particulada fluye con lentitud a través del tanque de sedimentación, y de esta manera se retiene el tiempo suficiente para que las partículas más grandes se asienten en el fondo antes que el agua clarificada salga del estanque por un vertedero en el extremo de salida. Las partículas que se han sedimentado en el fondo del tanque se extraen de forma manual o por medio de raspadores mecánicos para descargarse en una alcantarilla, devolverse a la fuente de agua si ello es permisible, o almacenarse para un posterior tratamiento. Se sedimentan partículas más pequeñas a medida que se incrementa el tiempo de retención utilizando tanques más grandes. La separación de partículas muy pequeñas por sedimentación simple sería poco práctica debido al alto costo de construcción de un tanque de sedimentación del tamaño suficiente para permitir el tiempo de retención necesario. El tiempo de retención típico es de 3 horas en tanques de 3 a 5 metros de profundidad. Las partículas demasiado pequeñas para sedimentarse en este tiempo, se deben eliminar por filtración o por otros métodos. Los decantadores o sedimentadores es su tramo final poseen vertederos en los cuales se capta la capa superior del agua (que contiene menor turbiedad); por medio de estos vertederos el agua pasa a la zona de filtración. Se realiza en depósitos anchos y de poca profundidad. La sedimentación puede ser simple o secundaria. La simple se emplea para eliminar los sólidos más pesados sin necesidad de tratamiento especial; mientras mayor sea el tiempo de reposo, mayor será el asentamiento y consecuentemente la turbiedad será menor haciendo el agua más transparente. El reposo prolongado natural también ayuda a mejorar la calidad del agua debido a la acción del aire y los rayos solares; mejor sabor y el olor, oxida el hierro y elimina algunas sustancias. La secundaria se emplea para quitar aquellas partículas que no se depositan ni aun con reposo prolongado, y que es la causa principal de turbiedad. En este caso, se aplican

métodos de coagulación con sustancias como el alumbre, bajo supervisión especializada. En el caso del tratamiento de las aguas residuales, este proceso se realiza para retirar la materia sólida fina, orgánica o no, de las aguas residuales; aquí el agua pasa por un dispositivo de sedimentación donde se depositan los materiales para su posterior eliminación. El proceso de sedimentación puede reducir de un 20 a un 40% la DBO₅ y de un 40 a un 60% los sólidos en suspensión.

- **Filtración**

Es el proceso mediante el cual el agua es separada de la materia en suspensión haciéndola pasar a través de un material poroso. Este material poroso es generalmente arena. La filtración se realiza ingresando el agua sedimentada o decantada por encima del filtro. Por gravedad el agua pasa a través de sucesivas capas de arena de distinta granulometría las cuales retienen las impurezas o turbiedad residual que queda en la etapa de decantación. Hay dos clases de filtros de arena: los de acción lenta y los de acción rápida, y estos se dividen en filtros de superficie libre y filtros de presión. En los filtros lentos el agua pasa por gravedad a través de la arena a baja velocidad, la separación de los materiales sólidos se efectúa al pasar el agua por los poros de la capa filtrante y adherirse las partículas a los granos de arena. En los filtros rápidos con superficie libre el agua desciende por gravedad a través de la arena a una velocidad mayor. Es imprescindible el tratamiento con coagulantes para sacar la mayor cantidad de partículas en suspensión. Se emplea para obtener una mayor clarificación y generalmente se aplica después de la sedimentación. La filtración más usual se realiza con un lecho arenoso de unos 100 por 50 metros y 30 centímetros de profundidad. La función principal de un filtro es la de eliminar materias en suspensión; pueden retener ciertas bacterias, quistes etc., pero por sí solos no garantizan la potabilidad del agua. Los filtros de presión son recipientes cerrados, casi siempre cilíndricos, que contiene material filtrante a través del cual se fuerza el paso de agua por presión, no por gravedad. Una vez que el filtro colmató su capacidad de limpieza, se lava ingresando agua limpia desde la parte inferior del filtro hacia arriba, esto hace que la suciedad retenida en la arena, se desprege de la misma.

- **Desinfección**

La etapa final del proceso de potabilización de aguas de consumo humano es siempre la desinfección, se trata de la etapa de mayor importancia ya que ha de garantizar la eliminación de microorganismos patógenos que son responsables de gran número de enfermedades (tifus, cólera, hepatitis, gastroenteritis, salmonelosis, etc.). En algunos casos de plantas de potabilización muy sencillas, la desinfección es la única etapa del proceso. La desinfección puede conseguirse mediante tratamiento con productos químicos o mediante aplicación de radiación.

La cloración es el procedimiento químico más utilizado para desinfectar el agua, consistente en utilizar cloro o alguno de sus derivados, como los hipocloritos de sodio o de calcio. La utilización de cloro presenta la gran ventaja de su bajo coste, pero puede dar lugar a la formación de subproductos de carácter peligroso, como los halometanos.

El Dióxido de Cloro (ClO_2) es un gas que se obtiene mezclando cloro con clorito sódico. Es relativamente inestable por lo que normalmente se genera en el lugar de aplicación. El dióxido de cloro presenta la ventaja de no originar subproductos de la desinfección peligrosos como los trihalometanos.

El Ozono (O_3) constituye la tercera alternativa química para la desinfección de aguas potables, tras el cloro y el dióxido de cloro. La aplicación de ozono también requiere de aplicación “in situ” debido a su inestabilidad. El poder de desinfección del ozono es 3.000 veces superior al del cloro y tampoco presenta problemas de originar trihalometanos. Sin embargo, presenta el inconveniente de su mayor coste y de que su efectividad desaparece a los 30 minutos, mientras el cloro permanece durante 72 horas, tiempo suficiente para que el agua llegue desde la red de abastecimiento a los hogares y sea consumida.

El agua a purificar se envía mediante una bomba bajo una lámpara de rayos ultravioletas que son los que desnaturalizan el ADN de los elementos patógenos que resultan dañinos para la vida humana.

La radiación ultravioleta (UV) es la porción del espectro electromagnético que se encuentra entre los rayos X y la luz visible, en el intervalo de longitudes de onda de 100-400 nm. La radiación UV constituye una alternativa al uso del cloro y ozono en muchas aplicaciones de tratamiento de aguas potables. El agua se hace circular mediante una bomba bajo una lámpara de rayos ultravioleta que desnaturalizan el ADN de los microorganismos patógenos. De esta forma la radiación UV provoca una desinfección efectiva sin originar subproductos de desinfección problemáticos, como ocurre en el caso del cloro y sus derivados.

4.2.1. Selección del proceso que se va a diseñar para el tratamiento de agua

Dado que, para la planta de tratamiento de agua potable, la fuente de materia prima es agua superficial proveniente del río San Juan del Oro, se realiza la selección del tipo de proceso de acuerdo a los parámetros.

El aprovechamiento del recurso agua mediante la captación de vertientes, manantiales o de ríos es una alternativa tecnológica sencilla de implementarse con las siguientes etapas:

4.2.1.1. Pretratamiento

La primera operación de pre tratamiento consiste en la eliminación de los sólidos de gran tamaño que pueda contener el agua en el punto de captación, por ejemplo, hojas o ramas de árbol, piedras, etc. A continuación, el agua suele someterse a un proceso de aireación, dejando caer el agua en una cascada, cuyo objetivo es incrementar la proporción de oxígeno disuelto, facilitando la depuración por medio de bacterias aerobias.

Para la etapa de pretratamiento se tomará en cuenta:

4.2.1.1.1. Rejas y/o tamices que retienen los solidos

El diseño se efectúa en función del tamaño de los sólidos que se desea retener, determinando así la separación de los barrotes:

- a) Separación de 50 a 100 mm cuando son sólidos muy grandes,
- b) Separación de 10 a 25 mm, desbaste medio.
- c) Separación de 3 a 10 mm, desbaste fino.

4.2.1.1.2. Sistema de aireación

Corresponde al proceso de transferencia de una fase gaseosa (aire) a una fase líquida (agua) en contacto. Se debe incorporar oxígeno del aire atmosférico para la remoción de sabor y olor.

Se recomienda los siguientes tipos de aireadores:

- a) Aireadores de bandeja
- b) Aireadores de cascada

4.2.1.1.2.1. Aireadores de bandejas

Consisten en un sistema de bandejas con perforaciones en su parte inferior, colocadas en forma sucesiva con intervalos de 30 a 50 cm. El ingreso de agua es por la parte superior en forma distribuida (Tubería perforada), de donde cae a la primera bandeja y así sucesivamente. Los orificios serán circulares con diámetros de 5 mm a 12 mm con una separación de 2.5 cm.

4.2.1.1.2.2. Aireadores de cascada

También conocidos como aireadores por gravedad utilizan la energía liberada cuando el agua pierde altitud al aumentar el área superficial aire-agua; por lo tanto, se incrementa la concentración de oxígeno del agua.

4.2.1.2. Mezcla rápida

La mezcla rápida es una operación empleada en el tratamiento del agua con el fin de dispersar diferentes sustancias químicas y gases. En plantas de purificación de agua el

mezclador rápido tiene generalmente el propósito de dispersar rápida y uniformemente el coagulante a través de toda la masa o flujo de agua.

Los más difundidos por su simple operación y mantenimiento son: Canaleta Parshall, resalto hidráulico y los vertederos.

- a) La canaleta Parshall se adecúa a las plantas medianas a grandes ($Q \geq 500$ l/s).
- b) En plantas medianas a pequeñas (100 l/s $< Q < 500$ l/s), se recomienda el vertedero rectangular.
- c) En las plantas pequeñas ($Q < 50$ l/s) se utilizará un vertedero triangular como unidad de mezcla, preferiblemente para caudales menores a 30 l/s.

4.2.1.2.1. Ablandamiento del agua

El ablandamiento por precipitación es el método más común para reducir la dureza en instalaciones centralizadas de tratamiento de agua. Consiste en la conversión de cationes divalentes (calcio y magnesio) a precipitados insolubles que pueden ser retirados por sedimentación y filtración.

El ablandamiento más usado es el de “adición de carbonato sódico”, que conlleva la eliminación de Ca^{2+} mediante la reacción:



Un proceso para la eliminación de la dureza del agua, es la descalcificación de ésta mediante resinas de intercambio iónico. Lo más habitual es utilizar resinas de intercambio catiónico que intercambian iones sodio por los iones calcio y magnesio presentes en el agua.

4.2.1.2.1.1. Tipos de procesos de ablandamientos de agua

Existen varios tipos para ablandar agua, entre los cuales dos métodos son más utilizados:

a) Ablandamiento por tratamiento químico

Consiste en la adición de sustancias al agua que reaccionan con los iones calcio y magnesio, transformándolos en compuestos insolubles, que son separados del agua por procedimientos físicos convencionales (sedimentación y filtración).

Existen varios procedimientos para realizar el ablandamiento del agua:

- ✓ Con cal.
- ✓ Con carbonato sódico y cal.
- ✓ Con sosa cáustica (hidróxido sódico)

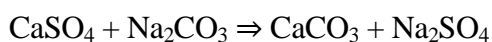
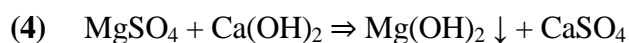
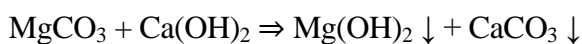
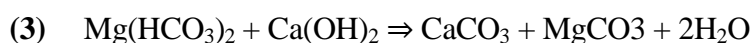
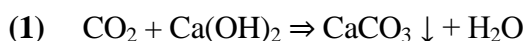
b) Desmineralización

La desmineralización, no es específica para la eliminación de dureza, aunque se reduce el contenido de calcio y magnesio conjuntamente otros iones. Es un proceso mejor que el ablandamiento químico, pero también es mucho más caro.

4.2.1.2.1.1.1. Ablandamiento por tratamiento químico

- **Ablandamiento con cal**

Cuando a un agua se añade cal (hidróxido cálcico), tienen lugar las siguientes reacciones con la dureza:



En estas reacciones se puede observar que:

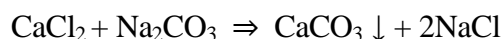
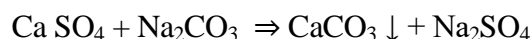
- a) El calcio será eliminado del agua en forma de carbonato cálcico, CO_3Ca , y el magnesio en forma de hidróxido de magnesio, $\text{Mg}(\text{OH})_2$, ambos compuestos insolubles en agua.

- b) El anhídrido carbónico influye en la dosis de cal necesaria para el tratamiento, no porque afecte a la dureza, sino porque representa un consumo adicional de cal independientemente de la dureza.
- c) La tercera reacción formulada es doble, ya que el carbonato de magnesio no es suficientemente insoluble, siendo necesaria su transformación en hidróxido de magnesio.
- d) Como puede observarse en las reacciones (4), mediante el tratamiento con cal, se elimina únicamente dureza temporal, es decir, dureza en forma de bicarbonatos, ya que la dureza magnésica se transforma en dureza cálcica. Esto quiere decir que el ablandamiento con cal podrá ser aplicado a aquellas aguas que presenten un contenido suficiente de bicarbonatos.

- **Ablandamiento con carbonato sódico y cal**

Cuando es necesario eliminar dureza permanente del agua, las reacciones anteriormente formuladas con la cal no son suficientes, siendo necesario hacer un tratamiento con carbonato sódico y cal.

En este tratamiento, a las reacciones formuladas con la cal, previamente descritas, se añaden las siguientes:



Estas reacciones representan la eliminación de dureza permanente correspondiente a los sulfatos y cloruros respectivamente, y completarían las reacciones (4) formuladas en el tratamiento con cal.

4.2.1.3. Coagulación-floculación

Procesos fisicoquímicos para mejorar la eficiencia de reducción de material particulado y de coloides de los siguientes procesos de sedimentación o filtración. La coagulación incluye la dosificación de sustancias químicas para desestabilizar las partículas suspendidas con cargas similares. Esto permite que se unan y que se inicie la formación de flóculos. La floculación, que en parte se superpone al proceso de

coagulación, requiere la mezcla suave de las partículas desestabilizadas para formar flóculos sedimentables.

EL pH es un factor crítico en el proceso de coagulación. Siempre hay un intervalo de pH en el que un coagulante específico trabaja mejor, que coincide con el mínimo de solubilidad de los iones metálicos del coagulante utilizado.

El proceso requiere el conocimiento químico de las características del agua para asegurarse del uso de una mezcla eficaz de coagulantes. El sulfato de aluminio y sulfato férrico tienen la ventaja de actuar como coagulantes-floculantes al mismo tiempo; en los siguientes cuadros se observan las ventajas y desventajas que se presentan en el uso de ambos coagulantes:

Cuadro IV-1.- Características del Sulfato de aluminio

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Es el coagulante más usado y domina el mercado. ✓ Bajo costo. ✓ Manejo sencillo por parte del personal, puesto que no requiere de cuidados especiales para su uso. ✓ No se modifica químicamente en el tiempo 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Si no se controla adecuadamente la dosificación, la concentración de aluminio residual puede exceder los límites máximos permisibles establecidos para la calidad del agua potable (0,2 mg/l). ✓ Dependiendo de las características del agua cruda, puede disminuir su eficiencia, por lo que requiere de un ayudante de coagulación, lo que implica un mayor costo.

Fuente: Tratamiento de agua para consumo humano, 2011.

Cuadro IV-2.- Características del Sulfato férrico

Ventajas	Desventajas
----------	-------------

-
- | | |
|--|--|
| ✓ No produce aluminio residual. | ✓ Su costo es más elevado en comparación con el sulfato de aluminio. |
| ✓ En algunos casos, produce un floc, más pesado y de mayor velocidad de asentamiento que el sulfato de aluminio. | ✓ Puede producir color en el agua. |
| ✓ Puede trabajar con un rango de pH amplio. | |
-

Fuente: Tratamiento de agua para consumo humano, 2011.

4.2.1.3.1. Tipos de floculadores hidráulicos

a) Floculador de flujo horizontal

Consiste en un tanque de concreto dividido por tabiques, baffles o pantallas de concreto, madera u otro material adecuado, dispuesto de forma tal que el agua haga un recorrido de ida y vuelta alrededor de los extremos libres de los tabiques. El floculador de flujo horizontal es recomendable para caudales menores a 100 l/s

b) Floculador de flujo vertical.

Consiste en un tanque de concreto dividido por tabiques, baffles o pantallas de concreto, madera u otro material adecuado, dispuesto de forma tal que el agua fluya hacia arriba y hacia abajo, por encima y por debajo de los tabiques, baffles o pantallas. El floculador de flujo vertical es recomendable para caudales mayores a 100 l/s.

4.2.1.4. Sedimentación

En esta etapa los flóculos formados por la acción de los agentes coagulantes y floculantes sedimentan en tanques de forma circular o rectangular, obteniéndose por la parte superior el agua clarificada y extrayéndose por el fondo una corriente de lodos que contienen los flóculos sólidos.

4.2.1.4.1. Tipos de sedimentadores

a) Sedimentadores de flujo horizontal y flujo vertical

Los sedimentadores pueden ser rectangulares, circulares o cuadrados. Los sedimentadores deben estar provistos de dispositivos que permitan la limpieza.

b) Sedimentador de flujo ascendente o vertical

El tanque puede ser circular con fondo cónico o piramidal y con un tubo central por donde entra el agua a la unidad, y se realiza la floculación integrada a la unidad. No se aceptan floculadores separados en este tipo de sedimentador. El área de sedimentación debe tener las mismas cargas que un sedimentador de flujo horizontal.

c) Sedimentador de alta tasa

El tanque debe estar provisto de módulos de tubos circulares, cuadrados, hexagonales, octogonales, de placas planas paralelas, de placas onduladas o de otras formas, que deben colocarse inclinadas de modo que el agua ascienda por las celdas con flujo laminar. El diseño debe ser flexible para facilitar el retiro o el cambio de placas.

Debe dejarse acceso fácil al fondo del tanque debajo de las placas, con su respectiva escalera. Debe quedar espacio suficiente debajo de las mismas para que el operario pueda desplazarse con facilidad a todo lo largo de la unidad.

d) Sedimentador con manto de lodos

La unidad puede ser de dos tipos: sedimentador de manto de lodos de suspensión hidráulica y sedimentador de manto de lodos de suspensión mecánica. Para los dos tipos, en la misma unidad debe llevarse a cabo la inyección de los coagulantes, la mezcla rápida de éstos con el agua, la floculación y la sedimentación. Se acepta que la dosificación de los coagulantes y la mezcla rápida se efectúe fuera de la unidad. El régimen que debe tener el manto de lodos es turbulento, donde las partículas suben y bajan con un movimiento rotacional.

4.2.1.5. Filtración

El agua sobrenadante de la etapa de sedimentación, se somete a una etapa de filtración, la cual consiste en hacer pasar el agua, que todavía contiene materias en

suspensión no separadas en la decantación, a través de un lecho filtrante que permite el paso del líquido, pero no el de las partículas sólidas, las cuales quedan retenidas en el medio filtrante.

El último proceso en ser ejecutado por la planta de tratamiento para el caso de estudio es la filtración, mecanismo por el cual se termina de hacer el proceso de clarificación del agua, es decir, se terminan de remover la turbiedad y el color que no ha podido ser removido por la floculación y la sedimentación.

4.2.1.5.1. Tipo de filtros

a) Filtro lento de arena

En tratamiento de aguas se utiliza principalmente la filtración en profundidad en filtros de arena.

- ✓ El medio filtrante es un lecho de arena (también antracita o granate) en cuyo interior quedan retenidas las partículas sólidas.
- ✓ Flujo vertical descendente.
- ✓ La limpieza suele ser en contracorriente (~cada 24-48 h).
- ✓ Se aplica sobre todo para aguas potables y de proceso pero ahora también para aguas residuales.

b) Filtros rápidos de control hidráulico y tasa declinante

Son unidades que reciben el efluente de los sedimentadores, en los cuales la filtración vertical descendente va disminuyendo paulatinamente debido a la colmatación del lecho filtrante que es cuando se efectúa el lavado en contracorriente con el agua.

Son unidades construidas sobre tanques de sección rectangular en cuyo interior se acomoda al sistema de drenaje de agua filtrada y distribución de lavado, la capa de soporte, la capa filtrante y una altura conveniente.

c) Filtro de flujo ascendente descendente

Son unidades dobles para filtración de agua, consiste en unidades conectadas en serie unas ascendentes y otras descendentes. El filtro ascendente con lechos profundos y

gruesos que sirven como método de pretratamiento para el filtro descendente. Esta unidad es requerida cuando existe una concentración de coliformes totales mayor a 10.000 NMP/100 ml u otros tipos de microorganismos.

4.2.1.6. Desinfección

La desinfección del agua se refiere a la inactivación de los microorganismos especialmente los patógenos que son causantes de enfermedades, que pueden causar daños en los consumidores de agua, y cuya intensidad y gravedad varía dependiendo de muchos factores, entre ellos: edad y condición física de la persona infectada, así como del tipo de microorganismo causante de la enfermedad y de la intensidad o concentración en el agua del agente infeccioso. La desinfección es tal vez el tratamiento más importante y de mayor trascendencia en la potabilización del agua.

La desinfección se realiza previo al almacenamiento para su posterior distribución a toda la población beneficiaria; debido a que el consumo va a variar no se realiza la desinfección directa en el tanque de almacenamiento.

El método de desinfección más aplicado en los sistemas de abastecimiento de agua, es el que emplea cloro y sus compuestos derivados en el tratamiento.

Para la desinfección y el tratamiento de aguas se puede emplear:

- Cloro gaseoso generado a partir de la vaporización de cloro líquido almacenado bajo presión en cilindros.
- Hipoclorito de sodio (líquido).
- Hipoclorito de calcio (sólido en forma granular).
- Dióxido de cloro

4.2.1.6.1. Características de los desinfectantes

a) Cloro gaseoso

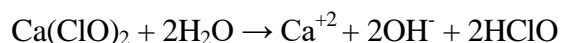
La cloración se realiza a través de un reductor a presión normal, en el que el cloro es mezclado con un determinado volumen de agua por unidad de tiempo. El cloro gaseoso se hidroliza en agua de forma casi completa para formar ácido hipocloroso mediante la siguiente reacción:



b) Hipoclorito de calcio (Ca(ClO)₂)

Tiene la ventaja de ser más fácil su manipulación que el cloro gaseoso en pequeñas comunidades, tiene una alta solubilidad, de fácil transporte, no es tóxico a menos que sea ingerido, no requiere de equipos complejos para su dosificación. Este producto tiene un alto costo y sufre alteraciones una vez abierto el recipiente.

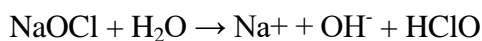
La reacción que tiene lugar cuando el hipoclorito de calcio (Ca(ClO)₂) entra en contacto con el agua es la siguiente:



c) Hipoclorito de sodio (NaClO)

Es de fácil manejo, no es tóxico a menos que sea ingerido, de fácil transporte, no requiere de equipos sofisticados para su aplicación. Tiene la desventaja de tener poca estabilidad, tiene una baja concentración de cloro activo (entre 2.5 y 15%, la concentración más común 10%). En caso de emplear cloro líquido o hipocloritos como desinfectantes, éstos deben cumplir con las Normas Técnicas.

Cuando el hipoclorito de sodio (NaClO) entra en contacto con el agua, da lugar al ácido hipocloroso (HClO) mediante la siguiente reacción:



d) Dióxido de cloro (ClO₂)

El dióxido de cloro tiene menor efecto microbicida que el ozono, pero es un desinfectante más potente que el cloro. Una reciente investigación en EEUU. y Canadá demostró que el dióxido de cloro destruye enterovirus, E. coli y amebas.

e) Óxido de calcio (CaO)

Se emplea para ablandar, purificar, eliminar turbiedad, neutralizar la acidez y eliminar la sílice y otras impurezas con el fin de mejorar la calidad del agua que consumen las personas.

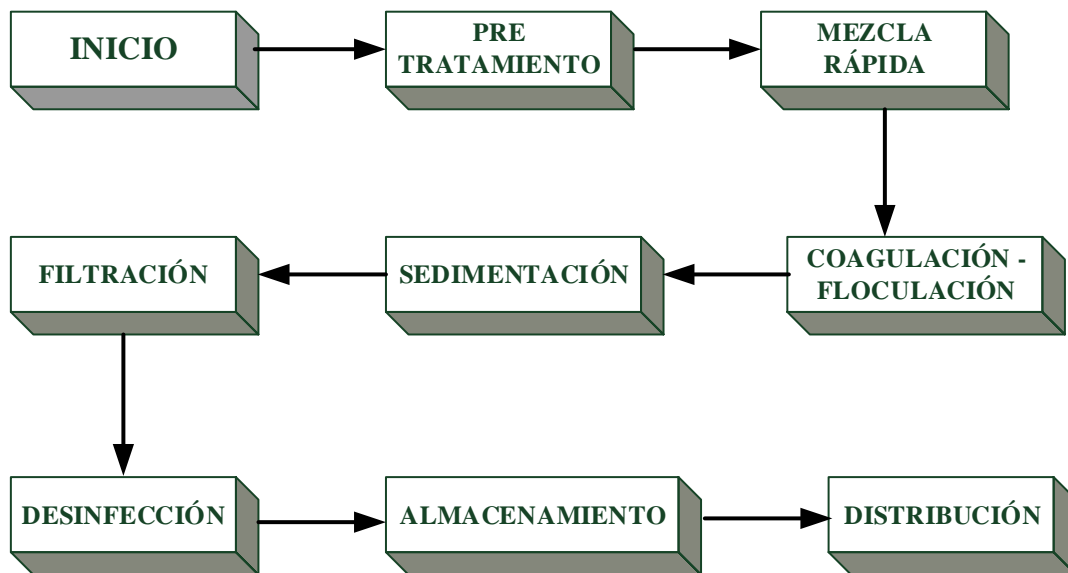
La cal es el producto químico principal y de bajo costo empleado en el tratamiento de aguas, las dos formas comerciales disponibles son Cal viva (CaO) y cal hidratada (Hidróxido cálcico, Ca(OH)₂).

Tiene la ventaja de fácil manejo, no es tóxica, de fácil transporte, buena solubilidad en el agua, no requiere equipos sofisticados del calor y la luz solar. Para su aplicación debe contarse con un depósito para la preparación de la solución.

4.2.2. Diagramas de Flujo del proceso seleccionado

De acuerdo al proceso seleccionado el diagrama de flujo es el siguiente:

Figura IV-1.- Diagrama de flujo del proceso



Fuente: Elaboración propia

4.3. Diseño de la planta de tratamiento de agua potable

4.3.1. Dotación y caudal de diseño

La planta de tratamiento que se va a diseñar está destinada para agua de consumo humano; de manera general, cada habitante en promedio consume unos 300 litros diarios de agua potable, según la fundación Canaru.

El diseño de la planta se basó en el consumo de agua potable y un factor para caudal máximo diario, por ende, se determinó la población futura servida (P_f), la cual usa la ecuación de crecimiento poblacional por el método geométrico; se calcula con la siguiente ecuación según lo establece; (Instalaciones de agua-Diseño para sistemas de agua potable, NB-689).

$$P_f = P_o * \left(1 + \frac{r}{100}\right)^n$$

Donde:

r = Tasa de crecimiento de la población que es de 5%

P_o = La población actual del casco urbano del municipio

n = Periodo de proyección de la planta (10 años)

Siendo:

$$P_f = 2.841 * \left(1 + \frac{5}{100}\right)^{10}$$

$$P_f = 4.627,0 \text{ Habitantes}$$

La dotación futura se obtuvo con la siguiente fórmula:

$$D_f = D_o * (1 + p)^n$$

Donde:

p = tasa de crecimiento de la dotación que está entre 0,1 a 0,5%

D_o = La dotación actual en Bolivia, oscila entre 85 a 300 (l/hab-día).

Siendo:

$$D_f = 300 * (1 + 0,005)^{10}$$

$$D_f = 315,34 \cong 315 \text{ l/hab - día}$$

Posteriormente se calcula el caudal máximo diario, que es resultado de multiplicar el caudal medio diario por un factor k_1 , siendo este un valor que oscila entre 1,1 a 1,4 dependiendo del tamaño de la población, según

$$Q_{md} = \frac{P_f * D_f}{1000}$$

$$Q_m = Q_{md} * K_1$$

Donde:

K_1 = Coeficiente de caudal máximo diario

Reemplazando los datos en las ecuaciones anteriores:

$$Q_{md} = \frac{4627 \text{ hab} * 315 \text{ l/hab - día}}{1000 \text{ l/m}^3}$$

$$Q_{md} = 1457 \text{ m}^3/\text{día}$$

El caudal medio diario en una proyección de 10 años es de 1457 metros cúbicos.

$$Q_m = Q_{md} * C$$

Donde:

C = Coeficiente de regulación, (1,4)

$$Q_m = 1457 \text{ m}^3/\text{día} * 1,4$$

$$Q_m = 2039,8 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$Q_m = 84,99 \cong 85 \text{ m}^3/\text{hr} = 0,024 \text{ m}^3/\text{s}$$

Los anteriores cálculos exponen que se necesita una planta de tratamiento de agua potable con una capacidad de 23,6 litros/segundo para satisfacer las necesidades de una población de 4627 habitantes, que llegan a ser alrededor de 1500 familias.

4.3.2. Sistema de pretratamiento

4.3.2.1. Diseño de la columna de aireación de cascada

En este tipo de aireadores el agua se deja caer en láminas o capas delgadas sobre uno o más escalones de concreto para producir turbulencia en donde el agua entra en contacto íntimo con el aire creando la transferencia de gas.

Los aireadores de cascada son ampliamente usados debido a que son de fácil diseño y económicos.

Cuadro IV-3.- Parámetro de diseño – aireadores de cascada

Parámetro	Valor	Unidad
-----------	-------	--------

Carga hidráulica C_L	0,01 – 0,03	m^3/ms
Altura de escalón	15 – 30	cm
Longitud del escalón	30 – 60	cm
Altura de la cascada	1,2 – 5,0	cm

Fuente: Reglamento técnico de diseño para plantas potabilizadoras de agua, NB-689.

4.3.2.1.1. Dimensionamiento del aireador

a) Longitud del aireador de cascada

$$L = \frac{Q_d}{C_L}$$

Donde:

L = Longitud total del aireador, m.

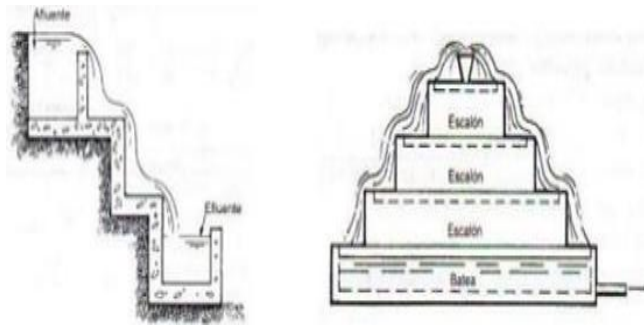
C_L = Carga lineal del aireador en m^3/ms .

$$L = \frac{0,024 m^3/s}{0,02 m^3/ms}$$

$$L = 1,2m$$

4.3.2.1.2. Esquema del aireador de cascada

Figura IV-2.- Aireador de cascada



Fuente: Aireador de cascada, Libro Potabilización del agua, 2000

4.3.3. Dimensionamiento del sistema de mezcla rápida

La mezcla rápida es una operación empleada, con el fin de dispersar las diferentes sustancias químicas que se emplean y también los gases.

Es recomendable diseñar un vertedero triangular como unidad de mezcla, ya que es recomendable para caudales menores de 30 l/s. Para el cálculo del sistema se consiguen las ecuaciones en el Reglamento Técnico de Diseño de Plantas de Tratamiento de Agua NB-689.

a) Caudal específico

$$q = \frac{Q}{B}$$

Donde:

q = Caudal específico, m^3/ms .

Q = Caudal de diseño, m^3/s .

B = Ancho de vertedero, m.; se adopta un valor para el cual se verifican las condiciones hidráulicas (0,45m).

Reemplazamos los datos en la ecuación anterior:

$$q = \frac{0,024 \text{ m}^3/s}{0,45m}$$

$$q = 0,053 \text{ m}^3/\text{ms}$$

b) Carga hidráulica

$$H = 0,67 * q^{2/3}$$

Donde:

H = Carga hidráulica, m.

Reemplazamos los datos en la ecuación anterior:

$$H = 0,67 * 0,053^{2/3}$$

$$H = 0,095 \text{ m}$$

c) Altura crítica

$$h_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}$$

Donde:

h_c = Altura crítica, m.

g = Gravedad, m^2/s .

Reemplazamos los datos en la ecuación anterior:

$$h_c = \sqrt[3]{\frac{(0,053 \text{ m}^3/\text{ms})^2}{9,81 \text{ m}^2/\text{s}}}$$

$$h_c = 0,066 \text{ m}$$

d) Altura de agua en la sección (1)

$$h_1 = \frac{\sqrt{2} * h_c}{\sqrt{\frac{P}{h_c} + 2,56}}$$

Donde:

h_1 = Altura de agua en la sección, m.

h_c = Altura crítica, m.

P = Altura de la cresta, m; se adopta un valor para el cual se verifican las condiciones hidráulicas (1 m).

Reemplazamos los datos en la ecuación anterior:

$$h_1 = \frac{\sqrt{2} * 0,066m}{\sqrt{\frac{1 m}{0,066 m} + 2,56}}$$

$$\mathbf{h_1 = 0,022m}$$

e) Velocidad en la sección (1)

$$V_1 = \frac{q}{h_1}$$

Donde:

V_1 = Velocidad en la sección, m/s.

h_1 = Altura de agua en la sección, m.

q = Caudal específico, m³/ms.

Reemplazamos los datos en la ecuación anterior:

$$V_1 = \frac{0,053 m^3/ms}{0,022m}$$

$$\mathbf{V_1 = 2,41 m/s}$$

f) Número de Froude

$$F_1 = \frac{V_1}{\sqrt{g * h_1}}$$

Donde:

F_1 = Número de Froude, (adimensional).

Reemplazamos los datos en la ecuación anterior:

$$F_1 = \frac{2,41 \text{ m/s}}{\sqrt{9,81 \text{ m}^2/\text{s} * 0,022\text{m}}}$$

$$F_1 = 5,19$$

g) Altura de agua en la sección (2)

$$h_2 = \frac{h_1}{2} (\sqrt{1 + 8F} - 1)$$

Donde:

h_2 = Altura de agua de la sección (2), m.

Reemplazamos los datos en la ecuación anterior:

$$h_2 = \frac{0,022\text{m}}{2} (\sqrt{1 + 8 * 5,19} - 1)$$

$$h_2 = 0,061\text{m}$$

h) Velocidad en la sección (2)

$$V_2 = \frac{q}{h_2}$$

Donde:

V_2 = Velocidad en la sección, m/s.

Reemplazamos los datos en la ecuación anterior:

$$V_2 = \frac{0,053 \text{ m}^3/\text{ms}}{0,061\text{m}}$$

$$V_2 = 0,87 \text{ m/s}$$

i) Longitud de resalto

$$L_j = 6(h_2 - h_1)$$

Donde:

L_j = Longitud de resalto, m.

Reemplazando los datos en la anterior ecuación:

$$L_j = 6(0,061m - 0,022m)$$

$$L_j = \mathbf{0,234m}$$

j) Distancia del vertedero a la sección (1)

$$L_m = 4,3 * P \left(\frac{h_c}{P} \right)^{0,9}$$

Donde:

L_m = Distancia del vertedero, m.

h_c = Altura crítica, m.

Reemplazando los datos en la anterior ecuación:

$$L_m = 4,3 * 1m \left(\frac{0,0066m}{1m} \right)^{0,9}$$

$$L_m = \mathbf{0,05m}$$

k) Pérdida de carga en el resalto

$$h_p = \frac{(h_2 - h_1)^3}{4h_1 * h_2}$$

Donde:

h_p = Pérdida de carga del resalto, m.

Reemplazando los datos en la anterior ecuación:

$$h_p = \frac{(0,061 - 0,022)^3}{4 * 0,022 * 0,061}$$

$$h_p = \mathbf{0,011m}$$

l) Velocidad media

$$V_m = \frac{V_1 + V_2}{2}$$

Donde:

V_m = Velocidad media, m.

Reemplazando los datos en la anterior ecuación:

$$V_m = \frac{2,41 \text{ m/s} + 0,87 \text{ m/s}}{2}$$

$$V_m = 1,64 \text{ m/s}$$

m) Tiempo de mezcla

$$T = \frac{L_j}{V_m}$$

Donde:

T = Tiempo de mezcla, s.

Reemplazando los datos en la anterior ecuación:

$$T = \frac{0,234 \text{ m}}{1,64 \text{ m/s}}$$

$$T = 0,143 \text{ s}$$

n) Gradiente de velocidad

$$G = \sqrt{\frac{\gamma}{\mu}} * \sqrt{\frac{H_p}{T}}$$

Donde:

G = Gradiente de velocidad, s^{-1} .

γ = Peso específico del agua, 1000 Kg/m^3 .

μ = Viscosidad absoluta en Kg s/m^2 .

Cuadro IV-4.- Valores de la relación peso específico y viscosidad absoluta a diferentes temperaturas

Temperatura °C	$\sqrt{\gamma/\mu}$
0	2336,94
4	2501,56
10	2736,53
15	2920,01
20	3114,64
25	3266,96

Fuente: Reglamento Técnico de Diseño para Plantas Potabilizadoras de Agua, NB-689.

Para realizar los cálculos se asume una temperatura de 20°C, según la bibliografía.

$$G = 3114,64 * \sqrt{\frac{0,011}{0,143}}$$

$$G = 863,84 \text{ s}^{-1}$$

Cuadro IV-5.- Resumen de los resultados del vertedero triangular

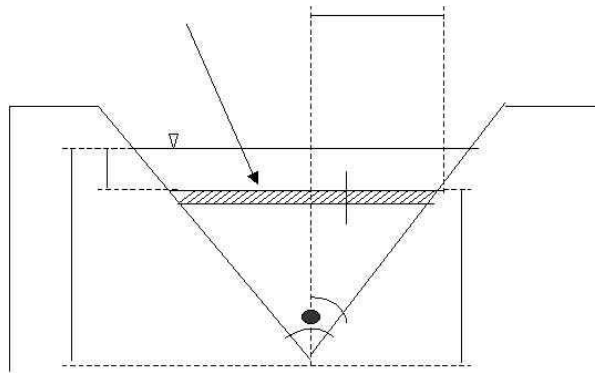
Parámetro	Símbolo	Valor
Caudal específico	Q	0,053 m ³ /ms
Carga hidráulica	H	0,095 m
Altura crítica	h _c	0,066 m
Altura de la sección (1)	h ₁	0,022 m

Velocidad de la sección (1)	V_1	2,41 m/s
Número de Froude	F_1	5,19
Altura de la sección (2)	h_2	0,061 m
Velocidad de la sección (2)	V_2	0,87 m/s
Longitud de resalto	L_j	0,234 m
Distancia del vertedero a la sección (1)	L_m	0,05 m
Pérdida de carga en el resalto	h_p	0,011 m
Velocidad media	V_m	1,64 m/s
Tiempo de mezcla	T	0,143 s
Gradiente de velocidad	G	863,84 s^{-1}

Fuente: Elaboración propia

4.3.3.1. Esquema del sistema de mezcla rápida

Figura IV-3.- Vertedero triangular



Fuente: Tipo de vertedores, Libro Potabilización del agua, 2000

4.3.3.2. Sistema de ablandamiento de agua

Este proceso emplea el producto de solubilidad de un compuesto que contiene un ion o radical que es el considerado perjudicial y que, en consecuencia, debe ser eliminado. El ablandamiento de agua con cal es el proceso de precipitación usado con mayor frecuencia, consiste en la reducción de la dureza por la adición de cal hidratada al agua para precipitar CaCO_3 , $\text{Mg}(\text{OH})_2$ o ambos.

La realización en la práctica del proceso de ablandamiento con resultados satisfactorios, implicará un conocimiento adecuado de las siguientes variables:

Caudal de agua que va a ser tratada: la medida exacta del caudal de agua que se va a tratar es imprescindible para adecuar el tratamiento, ya que la dosificación de reactivos se hará en función del caudal. Además, el flujo de agua debe ser continuamente vigilado, ya que habitualmente se producen variaciones importantes en todas las fuentes de captación.

Dosificación de reactivos: es necesario determinar la cantidad de cal necesaria para realizar el tratamiento adecuado.

a) Tipo de reactivo que se utilizara para el ablandamiento

Se utilizará la cal hidratada como producto químico, gracias a sus características y ventajas, ya que es de fácil accesibilidad y de bajo costo.

Por aplicación de hidróxido de calcio:



b) Cálculo de dosis de la cal hidratada

$$\text{HC}_T = \text{HC}_{\text{Ca}} + \text{HC}_{\text{Mg}} = 1.85 \cdot C_{\text{Ca}} + 6.1 \cdot C_{\text{Mg}}$$

Donde:

HC_T : Aporte de cal calculado para el tratamiento (mg/l)

C_{Ca} : La concentración de calcio que se va eliminar del agua

En plantas pequeñas de tratamiento es donde se emplea la cal; simplemente se mezcla el material con agua en un tanque y se añade al proceso en la medida requerida, bien sea de una sola vez o dosificándola, esto se hace con lechada que puede ir de un 6 a un 8 % de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ en peso según la referencia del operador técnico especializado.

4.3.4. Dimensionamiento del sistema de coagulación - floculación

La floculación se refiere a la aglomeración de las partículas coaguladas en partículas floculantes; la floculación está influenciada por las fuerzas químicas y físicas (carga eléctrica de las partículas, capacidad de intercambio, tamaño y concentración del flóculo, pH, temperatura de agua y la concentración de los electrolitos).

Se diseña un floculador de flujo horizontal, debido a que es recomendable para caudales menores a 100 l/s. Para el cálculo del sistema se consiguen las ecuaciones en el Reglamento Técnico de Diseño de Plantas de Tratamiento de Agua NB-689.

Cuadro IV-6.- Parámetros óptimos de floculación para cada compartimiento

Compartimiento	Gradientes (s ⁻¹)	Tiempos de retención (min)
1	80	5
2	60	10
3	50	15
4	45	20

Fuente: Reglamento Técnico de Diseño para Plantas Potabilizadoras de Agua, NB-689.

a) Tipo de coagulante que se empleará

Se utilizaría el sulfato de aluminio como floculante gracias a sus características y ventajas, ya que es de fácil acceso, bajo costo y especialmente por el manejo sencillo del compuesto.

Conocido como Alumbre, es un coagulante efectivo en intervalos de pH 6 a 8,5. Produce un flóculo pequeño y esponjoso por lo que no se usa en precipitación previa de aguas. Sin embargo, su uso está generalizado en el tratamiento de agua potable y en la reducción de coloides orgánicos y fósforo; por el cual se selecciona este producto y para mejora la coagulación-floculación también se adiciona cal.



Hidrólisis del ion metálico



Reacción con la alcalinidad del agua



b) Cálculo de la dosis de coagulante

El mejor ajuste se logra mediante el modelo logarítmico:

$$Dosis (ppm) = 2.3959 \times \ln (turbiedad, UNT) + 24.355$$

$$Dosis (ppm) = 2.3959 \times \ln (1,59UNT) + 24.355$$

$$\mathbf{Dosis (ppm) = 25,47}$$

c) Volumen del floculador

$$V = Q * T$$

Donde:

V = Volumen total del floculador, m³.

Q = Caudal de diseño, m³/s.

T = Tiempo de floculación, s. (es recomendable un tiempo de 15 min para realizar los cálculos según su bibliografía).

Reemplazando datos en la anterior ecuación:

$$V = 0,024 \text{ m}^3/\text{s} * 900\text{s}$$

$$\mathbf{V = 21,6m^3}$$

d) Ancho del floculador

$$W = \frac{V}{L * H}$$

Donde:

W = Ancho del floculador, m.

V = Volumen total del floculador, m³.

L = Longitud del floculador, m. (La longitud para realizar los cálculos es de 10 m según la bibliografía).

H = Altura de agua; recomendable ≥ 1 metro.

Reemplazando datos en la anterior ecuación:

$$W = \frac{21,6m^3}{10m * 1m}$$

$$W = 2,16m$$

e) Ancho de cada sección (compartimiento)

$$W_c = \frac{W}{N}$$

Donde:

W_c = Ancho de cada compartimiento, m.

W = Ancho del floculador, m.

N = Número de compartimientos (Mínimo 3).

Reemplazando los datos en la anterior ecuación:

$$W_c = \frac{2,16m}{3}$$

$$W_c = 0,72m$$

f) Número de baffles en cada sección o compartimiento

$$n_1 = \left\{ \left[\frac{2\mu T_1}{\rho(1,44 + f)} \right] * \left[\frac{HLG_1}{Q} \right]^2 \right\}^{1/3}$$

Donde:

n_1 = Número de baffles en cada compartimiento

T_1 = Tiempo de floculación en cada compartimiento, s.

G_1 = Gradiente en cada compartimiento, s^{-1} .

H = Profundidad de agua del tanque, m.

L = Largo del tanque, m.

f = Coeficiente de fricción de los baffles (madera = 0,3).

μ = Viscosidad del agua (0,00101 Kg/ms).

Reemplazando los datos en la anterior ecuación:

$$n_1 = \left\{ \left[\frac{2 * 0,00101 \text{ Kg/ms} * 300s}{998,2 \text{ Kg/m}^3 (1,44 + 0,3)} \right] * \left[\frac{1m * 5m * 80s^{-1}}{0,024 \text{ m}^3/s} \right]^2 \right\}^{1/3}$$

$$n_1 = 45,93$$

$$n_2 = 47,77$$

$$n_3 = 48,43$$

g) Espacio entre baffles en cada sección o compartimiento

$$S_i = \frac{L}{n_i}$$

Donde:

S_i = Espacio entre baffles en cada compartimiento, m.

L = Longitud del floculador, m.

n_i = Número de baffles en la sección.

Reemplazamos los datos en la anterior ecuación:

$$S_1 = \frac{10m}{45,93}$$

$$S_1 = 0,22m$$

$$S_2 = 0,21m$$

$$S_3 = 0,21m$$

h) Pérdida de carga en cada sección o compartimiento

$$h_{pi} = \frac{\mu * T_i}{\rho * g} * G_i^2$$

Donde:

h_{pi} = Pérdida de carga en cada sección, m.

μ = Viscosidad dinámica, Kg/ms.

ρ = Densidad del agua, Kg/m³.

g = Constante gravitacional, m/s².

T_i = Tiempo de floculación en cada compartimiento, s.

G_i = Gradiente en cada compartimiento, s⁻¹.

Reemplazando los datos en la anterior ecuación:

$$h_{p1} = \frac{0,00101 \text{ Kg/ms} * 300s}{998,2 \text{ Kg/m}^3 * 9,81 \text{ m/s}^2} * 80^2$$

$$h_{p1} = 0,20m$$

$$h_{p2} = 0,22m$$

$$h_{p3} = 0,23m$$

i) Verificación de la velocidad del flujo

$$V_i = \frac{Q}{A_i} \qquad A_i = S_i * H$$

Donde:

V_i = Velocidad del flujo en cada uno de los compartimientos, m/s.

Q = Caudal de diseño, m³/s.

A_i = Área transversal de cada compartimiento, m².

S_i = Espaciamiento entre baffles en cada compartimiento, m.

H = Altura de agua, m.

$$A_1 = 0,22m * 5m$$

$$A_1 = 1,1m^2$$

$$V_1 = \frac{0,024m^3/s}{1,1m^2}$$

$$V_1 = 0,022 \text{ m/s}$$

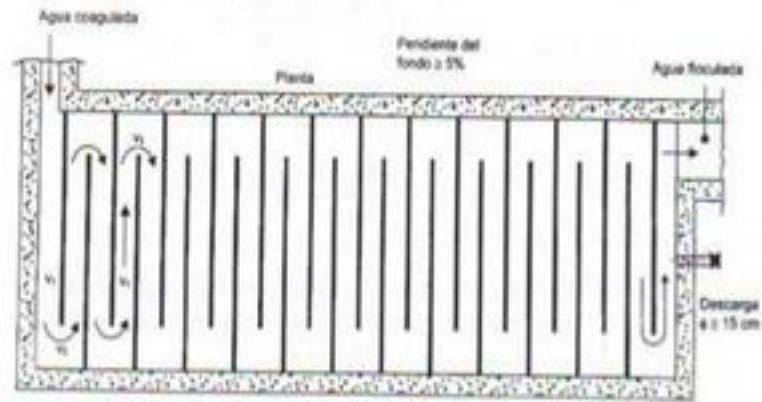
Cuadro IV-7.- Resumen de resultados de un floculador de flujo horizontal

Parámetro	Símbolo	Valor
Tipo de floculante (Sulfato de aluminio)	-	25,47 ppm
Volumen total del floculador	V	21,6 m ³
Tiempo de floculación	T	15 min
Ancho del floculador	W	2,16 m
Altura de agua	H	1 m
Ancho de cada compartimiento	W _c	0,72 m
Número mínimo de compartimientos	N	3
	n ₁	45,93
Número de baffles en cada sección	n ₂	47,77
	n ₃	48,43
Espacio entre baffles	S ₁	0,22 m
Pérdida de carga entre cada sección	hp ₁	0,2
Área transversal de cada compartimiento	A ₁	1,64 m/s
Velocidad de flujo en cada sección	V ₁	0,022 m/s

Fuente: Elaboración propia

4.3.4.1. Esquema del tipo de floculador diseñado

Figura IV-4.- Floculador de flujo horizontal



Fuente: Floculación, Libro Potabilización del agua, 2000

4.3.5. Dimensionamiento del sistema de sedimentación

Las unidades de sedimentación de alta tasa son de alta eficiencia y de poca profundidad con relación a los sedimentadores clásicos.

Para el cálculo del sistema se consiguen las ecuaciones en el Reglamento Técnico de Diseño de Plantas de Tratamiento de Agua NB-689. Para el diseño se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos:

- **Tiempo de retención:** Debe diseñarse de manera que el tiempo de detención esté entre 10 min y 15 min.
- **Profundidad:** La profundidad del tanque debe estar entre 4 m y 5.5 m.
- **Carga superficial:** La carga superficial de la unidad debe estar entre 120 y 185 $\text{m}^3/(\text{m}^2 \text{ día})$
- **Número de Reynolds:** El número de Reynolds (Re) debe ser menor a 500, pero se recomienda un Reynolds menor a 250.
- **Módulos en forma de panel:** La inclinación de las placas debe ser de 55° a 60° . El espacio entre las placas debe ser de 5 cm.

a) Selección de la Velocidad de Sedimentación Crítica

A la velocidad de sedimentación también se conoce como carga superficial, que se espera en un porcentaje (70-98%) de partículas de suspensión. Para el diseño del

sedimentador de alta tasa se recomienda asumir una velocidad de sedimentación crítica para el inicio del cálculo. (Teoría, diseño y control del proceso de clarificación de agua, Capítulo VI).

$$V_{sc} = 30 \text{ m}^3 / \text{m}^2 * \text{día} = 0,00035 \text{ m/s}$$

b) Velocidad inicial entre placas

Es la velocidad que se imprime inicialmente en un objeto.

$$V_o = \frac{V_{sc} * (\sin \theta + L \cos \theta)}{\left(s + \frac{0,013 * V_{sc} * d \cos \theta}{v} \right)}$$

Donde:

V_{sc} = Velocidad de sedimentación crítica ($0,00035 \text{ m}^3 / \text{m}^2 * s$)

θ = Ángulo de separación de las placas (60°)

d = Separación entre placas (0,06 m)

l = Longitud de sedimentación en placas (0,6 m)

L = Longitud relativa ($L = l/e = 10$)

b = Ancho de las placas (0,7 m)

S = Factor de eficiencia de placas planas paralelas (1)

v = Viscosidad cinemática ($0,00000139 \text{ m}^2 / s$)

Reemplazando los datos tenemos:

$$V_o = \frac{0,00035 \text{ m}^3 / \text{m}^2 * s * (\sin 60^\circ + 10 \cos 60^\circ)}{\left(1 + \frac{0,013 * 0,00035 \text{ m}^3 / \text{m}^2 * s * 0,06 * \cos 60^\circ}{0,00000139 \text{ m}^2 / s} \right)}$$

$$V_o = 0,0019 \text{ m/s}$$

c) Tiempo de retención

$$t = \frac{l}{V_o}$$

Donde:

t = Tiempo de retención, s.

l = Longitud recorrida a través del elemento, (0,6m).

$$t = \frac{0,6m}{0,0019 m/s}$$

$$t = 315,78s = 5,26min$$

d) Área Superficial de Sedimentación entre Placas

$$A_s = \frac{Q_d}{V_o \text{sen}\theta}$$

Donde:

A_s = Área superficial, m^2 .

Q_d = Caudal de diseño, m^3/s .

$$A_s = \frac{0,024 m^3/s}{0,0019 m/s * \text{sen}60^\circ}$$

$$A_s = 14,59 m^2$$

e) Número de Placas

El número de placas por fila de 1 m, se calcula mediante la siguiente expresión.

$$N = \frac{Q_d}{l * b * V_o}$$

Reemplazando los datos tenemos:

$$N = \frac{0,024 m^3/s}{0,6m * 0,7m * 0,0019 m/s}$$

$$N = 30,08 \cong 30$$

Así que el número de placas por cada lado del canal distribuidor del sedimentador es $N=15$

f) Longitud del tanque de sedimentación

La longitud del tanque se calcula mediante la siguiente expresión.

$$L_s = \frac{A_s}{B}$$

Reemplazando los datos tenemos:

$$L_s = \frac{14,59m^2}{0,7m}$$

$$L_s = 20,84 m$$

Debido a que esta área A, es la efectiva entre placas o sea no se considera el espesor de las placas, se deberá corregir la longitud calculada con el número de placas.

$$L_o = \frac{d}{\text{sen}\theta} (N - 1) + \frac{e}{\text{sen}\theta} N$$

Donde:

e = Espesor de las placas (0,005 m)

θ = Ángulo de separación de las placas (60°)

d = Separación entre placas (0,06 m)

$$L_o = \frac{0,06m}{\text{sen}60^\circ} (15 - 1) + \frac{0,005m}{\text{sen}60^\circ} * 15$$

$$L_o = 0,88m$$

Se recalculan los datos tomando en cuenta la nueva longitud:

$$L_s = 19,96$$

Cuadro IV-8.- Datos recalculados para el diseño del sedimentador

Datos recalculados

$$A = 13,97 \text{ m}^2 \quad V_o = 0,002 \text{ m/s}$$

$$V_{sc} = 0,00038 \text{ m/s}$$

Fuente: Elaboración propia.

g) Cálculo del número de Reynolds

Para la obtención del número de Reynolds se consiguen con la ecuación siguiente:

$$Re = \frac{V_o * d}{\nu}$$

Donde:

ν = Viscosidad cinemática, (0,00000138 m²/s); según la bibliografía,

$$Re = \frac{0,002 \text{ m/s} * 0,06}{0,00000139 \text{ m}^2/\text{s}}$$

$$Re = 86,33$$

Como el valor de Reynolds es menor a 500 se está garantizando un flujo laminar.

Cuadro IV-9.- Resultados del diseño de un sedimentador de alta tasa

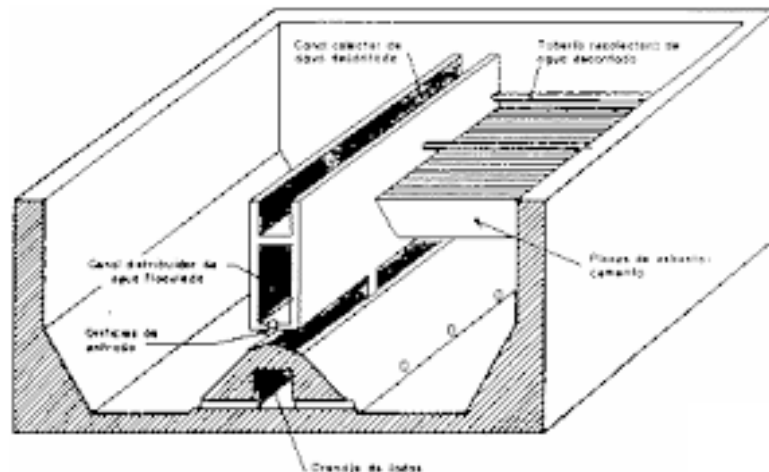
Parámetro	Símbolo	Valor
-----------	---------	-------

Velocidad del agua entre placas	V_o	0,002 m/s
Ancho del sedimentador	B	0,7 m
Longitud del sedimentador	L_s	19,96 m
Área del sedimentador	A_s	13,97 m ²
Número de placas	N_p	15
Número de Reynolds	Re	86,33
Separación entre placas	d	0,06 m
Espesor de las placas	e	0,005 m

Fuente: Elaboración propia

4.3.5.1. Esquema del sedimentador diseñado

Figura IV-5.- Sedimentador de alta tasa



Fuente: Tipos de sedimentadores, Libro Potabilización del agua, 2000

4.3.6. Dimensionamiento del sistema de filtración

a) Velocidad de filtración

El comportamiento hidráulico dentro del filtro de arena es una de las etapas más estudiadas, el objetivo es saber la altura de agua necesaria para garantizar que la velocidad de filtración se encuentre dentro de los valores establecidos, (Reglamento Técnico de diseño para plantas potabilizadoras de agua, NB-689)

$$V_f = 120 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d} - 600 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$$

Para la realización de los cálculos la velocidad de filtración adecuada es de 360 m/d para que el flujo pueda atravesar el lecho de arena.

$$V_f = 360 \text{ m/h} = 0,1 \text{ m/s}$$

Que es la velocidad a la que debe circular el agua para ser considerado filtro lento de arena. Para que se cumplan estas velocidades se necesita saber la columna de agua necesaria para vencer la resistencia que ofrece la cama de arena y a la vez controlar la velocidad del flujo en el medio poroso. Si se considera que el agua va a seguir un régimen laminar en su filtración y mantener una presión constante de agua de entrada se puede utilizar la ley de Darcy.

La Ley de Darcy:

$$q = -K \left(\frac{dh}{dl} \right)$$

Donde:

$q = Q/\text{sección}$ (es decir el caudal que circula por m^2 de sección)

K = Conductividad hidráulica

$\frac{dh}{dl}$ = Gradiente hidráulico expresado en incrementos infinitesimales

Adaptando la ley de Darcy a un filtro genérico, se obtiene la siguiente ecuación:

$$H_1 - H_2 = \frac{v_f}{k} * l$$

$$H_1, H_2 = \frac{h v_f}{kl}$$

Donde:

k = coeficiente de permeabilidad (m/h)

v_f = velocidad de filtración (m/h)

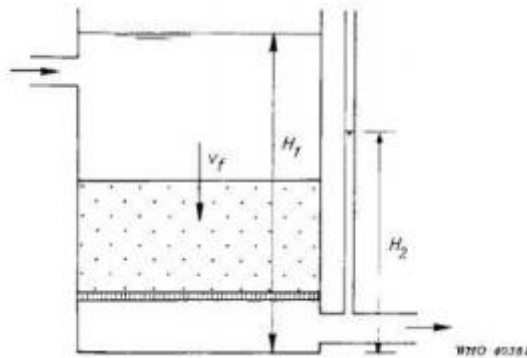
h = diferencia de altura de agua (m)

l = altura del lecho (m)

H_1 = altura de agua cruda constante encima del lecho (m)

H_2 = altura del agua tratada que varía con la velocidad de filtración (m)

Figura IV-6.- Aplicación de la Ley de Darcy en un filtro limpio



Fuente: Cálculo lento de filtro de arena, “Apendice B”.

A medida que pasa el tiempo, la velocidad de filtración va a disminuir debido a la acumulación de partículas en el lecho, disminuyendo el valor de la permeabilidad. Por este motivo es más que recomendable asegurar una altura de agua cruda constante encima del lecho de arena (es decir $H_1 = \text{cte.}$) y controlar la velocidad de filtración en la salida del agua tratada (H_2 variable).

En este caso inicialmente la velocidad de filtración se va a fijar, y así queda fijada H_2 , y con este dato se obtendrá la altura de agua cruda necesaria para que el filtro funcione de manera adecuada, si en algún momento la velocidad de filtración disminuyera se realizaría la limpieza del filtro antes del período habitual.

De esta forma se podrá saber cuándo la permeabilidad del filtro es tan baja (filtro colmatado) que se debe efectuar el mantenimiento del lecho.

Utilizando la ecuación y aplicando los valores de velocidad de filtración que se necesitan para que un filtro lento funcione como tal, se obtienen diferentes alturas mínimas de agua sobrenadante ($H_1=h$) para que el flujo pueda atravesar el lecho (L) con una velocidad adecuada.

Cuadro IV-10.- Coeficientes de permeabilidad de los tipos de lechos

Tipo de lecho	Valores del coeficiente de permeabilidad (cm/s)
Grava	$k = 1$
Arena	$1 > k > 10^{-2}$
Limo	$10^{-2} > k > 10^{-4}$
Arcilla	$10^{-4} > k > 10^{-8}$

Fuente: <http://www.udc.es/dep/dtcon/estructuras/ETSAC/Publicaciones/pub-val/Suelos/suelos.pdf>

El valor medio del coeficiente de permeabilidad de la arena es de:

$$k = 0,0016 \text{ m/s}$$

Para que el filtro tenga un tamaño manejable, y el edificio donde se va a situar todo el tratamiento no ocupe un área demasiado grande en la comunidad, la altura recomendable es de 1 metro ya que el lecho filtrante en ningún momento debe trabajar en seco.

b) Número de filtros

Para el cálculo del número de filtros (N) se utiliza la fórmula empírica:

$$N = 0,0044 * Q_d^{0,5}$$

Donde:

$$Q_d = \text{Caudal de diseño (m}^3/\text{día)}$$

Reemplazamos los datos en la ecuación anterior:

$$N = 0,0044 * \left(2039,8 \text{ m}^3 / \text{día} \right)^{0,5}$$

$$N = 0,199 \cong 2$$

c) Área superficial total de filtración

Para el cálculo del área superficial se consiguen con la ecuación siguiente:

$$A_{tf} = \frac{Q_d}{V_f}$$

$$0,024 \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$A_{tf} = \frac{0,024 \text{ m}^3 / \text{s}}{0,000083 \text{ m/s}}$$

$$A_{tf} = 289,16 \text{ m}^2$$

d) Área superficial de cada filtro

Se aplica la siguiente ecuación:

$$A_s = \frac{A_{tf}}{N}$$

$$A_s = \frac{289,16 \text{ m}^2}{2}$$

$$A_s = 144,58 \text{ m}^2$$

Una vez conocida el área del filtro, y sabiendo que va a ser circular; es la mejor relación área espacio.

$$D = \sqrt{\frac{4 * A_s}{\pi}}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 * 144,58 \text{ m}^2}{\pi}}$$

$$D = 13,57 \text{ m}$$

Así, el diámetro del filtro será de 13,57 metros. Una vez conocidas las características del filtro, como después del tratamiento, se tendrá un tanque de almacenamiento de agua tratada, el cual puede abastecer a la población.

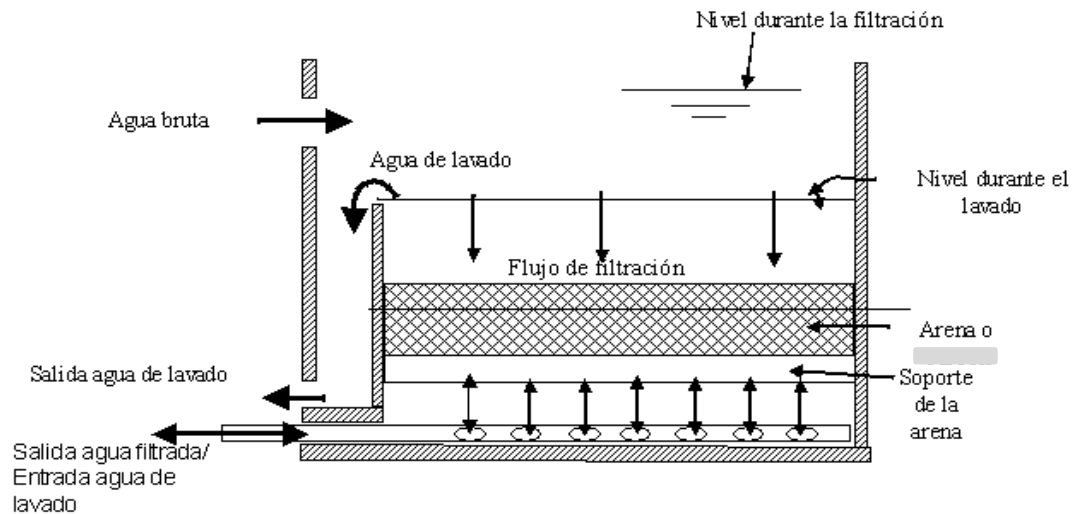
Cuadro IV-11.- Resumen de datos obtenidos para un filtro de arena

Parámetro	Símbolo	Valor
Tipo de lecho	-	Arena
Diámetro medio de la partícula	d_p	0,026 m
Partículas retenidas	-	>5 μm
Caudal	Q_d	0,024 m^3/s
Velocidad	V_f	0,000083 m/s
Área de cada filtro	A_s	144,58 m^2
Diámetro del filtro	D	13,57 m
Altura de agua sobrenadante	H_{sn}	1 m
Espesor de lecho	H_l	1 m
Número de filtros	-	2

Fuente: Elaboración propia

4.3.6.1. Esquema del sistema de filtración

Figura IV-7.- Filtro de arena



Fuente: Filtración, Libro Potabilización del agua, 2000

4.3.7. Desinfección del agua

El método de desinfección más aplicado en los sistemas de abastecimiento de agua, es el que emplea cloro y sus compuestos derivados en el tratamiento.

4.3.7.1. Desinfectante a emplear

➤ Hipoclorito de sodio

Hipoclorito de sodio (NaClO) es un compuesto que puede ser utilizado para desinfección del agua. Se usa a gran escala para la purificación de superficies, blanqueamiento, eliminación de olores y desinfección del agua.

➤ Características del hipoclorito de sodio

El hipoclorito de sodio es una solución clara de ligero color amarillento y un olor característico. El hipoclorito de sodio tiene una densidad relativa de 1,1 (5,5% solución acuosa). Como agente blanqueante de uso doméstico normalmente contiene 5% de hipoclorito de sodio (con un pH de alrededor de 11, es irritante). Si está a mayor concentración, contiene un 10 a 15% de hipoclorito de sodio (con un pH alrededor de 13, se quema y es corrosivo).

Hipoclorito de sodio es inestable. El cloro se evapora a razón de 0,75 gramos de cloro activo por día desde la solución. Después de calentado el hipoclorito de sodio se

desintegra. Esto también ocurre cuando el hipoclorito de sodio contacta con ácidos, luz del día, ciertos metales y venenos, así como gases corrosivos, incluyendo el gas de cloro. El hipoclorito de sodio es un oxidante fuerte y reacciona con compuestos combustibles y reductores. El hipoclorito de sodio es una base débil inflamable. Estas características se deben tener en cuenta en los procedimientos de transporte, almacenamiento y uso del producto.

➤ **Cómo afecta el pH al añadir hipoclorito de sodio al agua**

Debido a la presencia de soda cáustica en el hipoclorito de sodio, el valor del pH aumenta. Cuando el hipoclorito de sodio se disuelve en agua, se generan dos sustancias, que juegan el papel de oxidantes y desinfectantes. Estos son ácido hipocloroso (HOCl) y el ion de hipoclorito el cual es menos activo (OCl^-). El pH del agua determina la cantidad de ácido hipocloroso que se forma. Cuando se utiliza hipoclorito de sodio, se utiliza el ácido acético para disminuir el pH.

3.3.7.2. Demanda de cloro

Es necesario añadir la dosis necesaria de cloro para que, a la salida del tratamiento, la concentración de cloro residual libre en el sistema de distribución debe estar entre 0,2 mg/l y 1,0 mg/l, según lo estable la norma, y se mantenga un mínimo de 0,2 mg/l en todos los puntos de la red de distribución permanentemente.

La dosis necesaria en la desinfección del agua es la suma de dos factores, la demanda de cloro y el cloro libre residual exigido. Se realiza los cálculos con la siguiente ecuación:

$$C_1 Q_1 = C_2 Q_2$$

Donde:

C_1 = Concentración del producto a utilizar, 85000 mg/l.

C_2 = Concentración residual del cloro presente en el agua, 0,6 mg/l.

Q_2 = Caudal de diseño, l/s.

$$Q_1 = \frac{C_2 Q_2}{C_1}$$

$$Q_1 = \frac{0,6 \text{ mg/l} * 24 \text{ l/s}}{85000 \text{ mg/l}}$$

$$Q_1 = 0,00017 \text{ l/s}$$

4.3.7.3. Esquema del sistema de desinfección

Figura IV-8.- Sistema de desinfección



Fuente: Desinfección, Libro Potabilización del agua, 2000

ASPECTOS ECONÓMICOS DEL PROYECTO

5.1. Inversión del Proyecto

Se han determinado las inversiones del proyecto, en función de los requerimientos programados en el capítulo anterior; basados en costos de construcción, maquinaria y equipos, entre otros, que se precisan para la operación de la planta.

5.2. Costos de producción

Los costos de producción o también llamados costos de operación, son los gastos necesarios para mantener el proyecto a flote. La diferencia entre el ingreso (por ventas y otras entradas) y el costo de producción indican el beneficio bruto. El destino económico de la empresa está asociado con el ingreso y el costo de producción de los bienes vendidos.

El costo de producción tiene dos características opuestas, la primera es que para producir bienes es necesario generar un costo, la segunda característica es que los costos deberían ser mantenidos tan bajos como sea posible y eliminados los innecesarios. Esto no significa el corte o la eliminación de los costos indiscriminadamente.

Los costos de producción pueden dividirse en dos grandes categorías: costos directos o variables, que son proporcionales a la producción, como la materia prima; y los costos indirectos, también llamados fijos que son independientes de la producción.

5.2.1. Detalle de producción de agua

En el siguiente cuadro se muestra a detalle la producción de agua.

Cuadro V-1.- Programa de producción (Bs)

Año	% Cap. Ut.	Producción (lt/día)	Ventas	Compra	Egresos	Vol req	Vol exceso	Ventas (Bs)
1	65	303.680.000,00	6.908.720,00	337.422.222,22	7.457.031,11	311.089.500,00	-7.409.500,00	238.410,70
2	85	397.120.000,00	11.814.320,00	441.244.444,44	9.751.502,22	326.643.975,00	70.476.025,00	2.989.291,24
3	95	443.840.000,00	14.757.680,00	493.155.555,56	10.898.737,78	342.976.173,75	100.863.826,25	4.078.995,80
4	95	443.840.000,00	14.757.680,00	493.155.555,56	10.898.737,78	360.124.982,44	83.715.017,56	3.506.225,59
5	95	443.840.000,00	14.757.680,00	493.155.555,56	10.898.737,78	378.131.231,56	65.708.768,44	2.904.816,87
6	95	443.840.000,00	14.757.680,00	493.155.555,56	10.898.737,78	397.037.793,14	46.802.206,86	2.273.337,71
7	95	443.840.000,00	14.757.680,00	493.155.555,56	10.898.737,78	416.889.682,79	26.950.317,21	1.610.284,59
8	95	443.840.000,00	14.757.680,00	493.155.555,56	10.898.737,78	437.734.166,93	6.105.833,07	914.078,82
9	95	443.840.000,00	14.757.680,00	493.155.555,56	10.898.737,78	459.620.875,28	-15.780.875,28	183.062,77
10	95	443.840.000,00	14.757.680,00	493.155.555,56	10.898.737,78	482.601.919,04	-38.761.919,04	-584.504,10

Fuente: Elaboración propia

5.2.2. Costo de producción por litro de agua

Cuadro V-2.- Costos de producción por litro de agua tratada (Bs)

	Unidad	Precio de materiales	Cantidad	Costos producción
Precio Agua	TM		1.600,00	0,001
Rendimiento	LT/TM		1.250.000,00	
Hidróxido de calcio	de Kg	2,21	0,02	0,0442
Hipoclorito de sodio	de Kg	6,30	0,003	0,0189
Sulfato de aluminio	de Kg	45,24	0,0045	0,2036
Energía	MPC	1,20	0,0005	0,006
Total (Bs)				0,2740

Fuente: www.improqum.com.bo

5.2.3. Costos de mano de obra

Cuadro V-3.- Sueldos y Salarios (Bs)

	Cantidad	Sueldo/mes	Sueldo/año	Cargas sociales	Total
Gerente	1	5.050,00	65.650,00	15.974,83	81.624,83
Enc. Laboratorio	1	3.030,00	39.390,00	9.584,90	48.974,90
Encargado del proceso	1	3.411,00	44.343,00	10.790,13	55.133,13
Técnico I	3	2.499,00	97.461,00	23.715,51	121.176,51
Técnico II	3	2.247,00	87.633,00	21.324,03	108.957,03
Auxiliar I	1	1.815,00	23.595,00	5.741,45	29.336,45
Total	10		358.072,00	87.130,85	445.202,85

Fuente: Escala salarial del gobierno autónomo de Tarija, 2017.

5.2.4. Cálculo de la depreciación

La depreciación es la disminución del valor de las inversiones fijas por un uso físico. La depreciación de los activos fijos se detalla en el siguiente cuadro y la fórmula lineal para el cálculo de la devaluación, (Paredes Z. R., 1994).

$$D = \frac{V.I.}{n}$$

Donde:

V.I. = Valor inicial

n = Años de vida del activo fijo

Cuadro V-4.- Detalle de la depreciación en un periodo de 10 años (Bs)

Periodo	Terrenos*	Edificios y Estructuras	Muebles y Enseres	Maquinaria y Equipo	Herramientas y Utiles	Equipo de Transporte	Total
1		16.750,00	537,50	35.550,00	2.500,00	75.114,00	130.451,50
2		16.750,00	537,50	35.550,00	2.500,00	75.114,00	130.451,50
3		16.750,00	537,50	35.550,00	2.500,00	75.114,00	130.451,50
4		16.750,00	537,50	35.550,00	2.500,00	75.114,00	130.451,50
5		16.750,00	537,50	35.550,00	2.500,00	75.114,00	130.451,50
6		16.750,00	537,50	35.550,00	2.500,00	75.114,00	130.451,50
7		16.750,00	537,50	35.550,00	2.500,00	75.114,00	130.451,50
8		16.750,00	537,50	35.550,00	2.500,00	75.114,00	130.451,50
9		16.750,00	537,50	35.550,00	2.500,00	75.114,00	130.451,50
10		16.750,00	537,50	35.550,00	2.500,00	75.114,00	130.451,50
Total		167.500,00	5.375,00	355.500,00	25.000,00	751.140,00	1.304.515,00

Costo de Inversión	300.000,00	670.000,00	5.375,00	355.500,00	10.000,00	375.570,00	1.716.445,00
Inversiones Adicionales					15.000,00	375.570,00	390.570,00
Total	300.000,00	670.000,00	5.375,00	355.500,00	25.000,00	751.140,00	2.107.015,00
Valor Residual	300.000,00	502.500,00			0,00	0,00	802.500,00
Factor para depreciación anual	0	0,025	0,10	0,10	0,25	0,20	

Fuente: Elaboración propia

(*) Considera que se invertirá en terrenos 1 Ha = 300000 Bs

5.2.5. Capital de operaciones

El capital de operaciones considera aquellos recursos que requiere la empresa para poder operar. En este sentido el capital de trabajo es lo comúnmente conocemos como activo corriente.

La empresa para poder operar requiere de recursos para cubrir necesidades de insumos, materia prima, mano de obra reposición de activos fijos, etc.

Estos recursos deben estar disponibles a corto plazo para cubrir necesidades de la empresa a tiempo

Cuadro V-5.- Detalle del capital de operaciones (Bs)

Activo Circulante	DÍAS	IMPORTE
Cuentas a Cobrar	60	1.890.294,47
Existencias :		
Ms.Ps. y Materiales	30	895.786,67
Repuestos (5 % Inversión)		85.822,25
Productos Terminados (30 % Producción)	109,5	3.449.787,41
Efectivo en Caja (Costo operación - materiales)	15	24.680,29
Total Activo Circulante		6.346.371,09
Pasivo Circulante		
Cuentas a Pagar (Materiales)	45	1.343.680,00
Capital de Trabajo (AC-PC)		5.002.691,09

Fuente: Elaboración propia

*Cuentas a Cobrar: Los retrasos de pago de los beneficiarios

El capital de trabajo tiene relación directa con la capacidad de la empresa que genera flujo de caja. El flujo de caja o efectivo que la empresa genere será el que se encargue de mantener o de incrementar el capital de trabajo.

La capacidad que tenga la empresa de generar efectivo con una menor inversión o una menor utilización de activos, tiene gran efecto en el capital de trabajo. Es el flujo de caja generado por la empresa el que produce los recursos para operar la empresa.

5.3. Estimación de los costos

Para estimar los costos del proyecto es necesaria la cotización de los materiales e insumos necesarios para el proyecto. También se evaluará los costos de mano de obra que se encargarán de poner en marcha el proyecto; estos son profesionales y técnicos que se encargan de realizar el control y el funcionamiento de distintos equipos y su proceso.

✓ Costos directos

Los costos directos son los que se asocian con el producto de una forma muy clara que no necesita de un reparto, como ser costos de mano de obra directa y la materia prima con la cual se fabrica el producto, es decir, el agua potable que se pretende producir.

✓ Costos indirectos

Los costos indirectos no son directos al producto ni tampoco al centro del proceso de producción, donde es necesario un reparto de costes.

En el siguiente cuadro los costos anuales de producción en 10 años reflejan la repartición de costos directos e indirectos.

Cuadro V-6.- Costos anuales de Producción (Bs)

Directos :	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Ms.Ps. y Materiales	7.457.031,1 1	9.751.502,22	10.898.737,7 8	10.898.737,7 8	10.898.737,7 8	10.898.737,7 8	10.898.737,7 8	10.898.737,7 8	10.898.737,7 8	10.898.737,7 8
Salarios	445.202,85	445.202,85	445.202,85	445.202,85	445.202,85	445.202,85	445.202,85	445.202,85	445.202,85	445.202,85
Total Costos Directos	7.902.233,9 6	10.196.705,0 8	11.343.940,6 3	11.343.940,6 3	11.343.940,6 3	11.343.940,6 3	11.343.940,6 3	11.343.940,6 3	11.343.940,6 3	11.343.940,6 3
Indirectos :										
Gastos Generales	50.000,00	50.000,00	50.000,00	50.000,00	50.000,00	50.000,00	50.000,00	50.000,00	50.000,00	50.000,00
Mantenimiento	105.350,75	105.350,75	105.350,75	105.350,75	105.350,75	105.350,75	105.350,75	105.350,75	105.350,75	105.350,75
Total Costos Indirectos	155.350,75	155.350,75	155.350,75	155.350,75	155.350,75	155.350,75	155.350,75	155.350,75	155.350,75	155.350,75
Gastos de Operación	8.057.584,7 1	10.352.055,8 3	11.499.291,3 8	11.499.291,3 8	11.499.291,3 8	11.499.291,3 8	11.499.291,3 8	11.499.291,3 8	11.499.291,3 8	11.499.291,3 8

Fuente: Elaboración propia

Cuadro V-8.- Costos de explotación (Bs)

VARIABLES	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Costos										
Directos	7.902.233,96	10.196.705,08	11.343.940,63	11.343.940,63	11.343.940,63	11.343.940,63	11.343.940,63	11.343.940,63	11.343.940,63	11.343.940,63
FIJOS										
Costos										
Indirectos	155.350,75	155.350,75	155.350,75	155.350,75	155.350,75	155.350,75	155.350,75	155.350,75	155.350,75	155.350,75
Depreciación	130.451,50	130.451,50	130.451,50	130.451,50	130.451,50	130.451,50	130.451,50	130.451,50	130.451,50	130.451,50
Total Costos										
Fijos	285.802,25	285.802,25	285.802,25	285.802,25	285.802,25	285.802,25	285.802,25	285.802,25	285.802,25	285.802,25
Total	8.188.036,21	10.482.507,33	11.629.742,88	11.629.742,88	11.629.742,88	11.629.742,88	11.629.742,88	11.629.742,88	11.629.742,88	11.629.742,88

Fuente: Elaboración propia

5.4. Inversión y financiamiento

Para la construcción y funcionamiento de una Planta Tratamiento de agua, se requiere una gran cantidad de inversión.

Cuadro V-8.- Inversión total y financiamiento (Bs)

	Inversión	Cap. Soc.,	Crédito	
Inversión Fija	2.107.015,00	30%		
Capital de Trabajo	5.002.691,09	70%		
Total	7.109.706,09	4.976.794,26	2.132.911,83	12%

Fuente: Elaboración propia

4.4.1. Costo total de producción

Cuadro V-9.- Detalle del costo total de producción (Bs)

Años	Periodo	Costo de Operación	Depreciac.	Intereses	Total
2017	1	8.057.584,71	130.451,50	255.949,42	8.443.985,63
2018	2	10.352.055,83	130.451,50	255.949,42	10.738.456,74
2019	3	11.499.291,38	130.451,50	255.949,42	11.885.692,30
2020	4	11.499.291,38	130.451,50	223.955,74	11.853.698,62
2021	5	11.499.291,38	130.451,50	191.962,06	11.821.704,95
2022	6	11.499.291,38	130.451,50	159.968,39	11.789.711,27
2023	7	11.499.291,38	130.451,50	127.974,71	11.757.717,59
2024	8	11.499.291,38	130.451,50	95.981,03	11.725.723,91
2025	9	11.499.291,38	130.451,50	63.987,35	11.693.730,24
2026	10	11.499.291,38	130.451,50	31.993,68	11.661.736,56

Fuente: Elaboración propia

5.5. Organización de la empresa

El estudio de la organización es muy importante porque permite conocer aspectos relacionados con la figura jurídica que deberá adoptar la empresa, así como la organización técnica y administrativa que aporte los elementos necesarios para conseguir que la empresa logre una estructura completa para dar respuesta a las actividades propias de su función productiva.

A través de la estructuración técnica de la empresa es posible establecer las líneas de autoridad y responsabilidad que deben existir entre los niveles jerárquicos tanto de las áreas operativas como administrativas.

5.6. Objetivos

Los objetivos que se persiguen con el estudio de organización, son los siguientes:

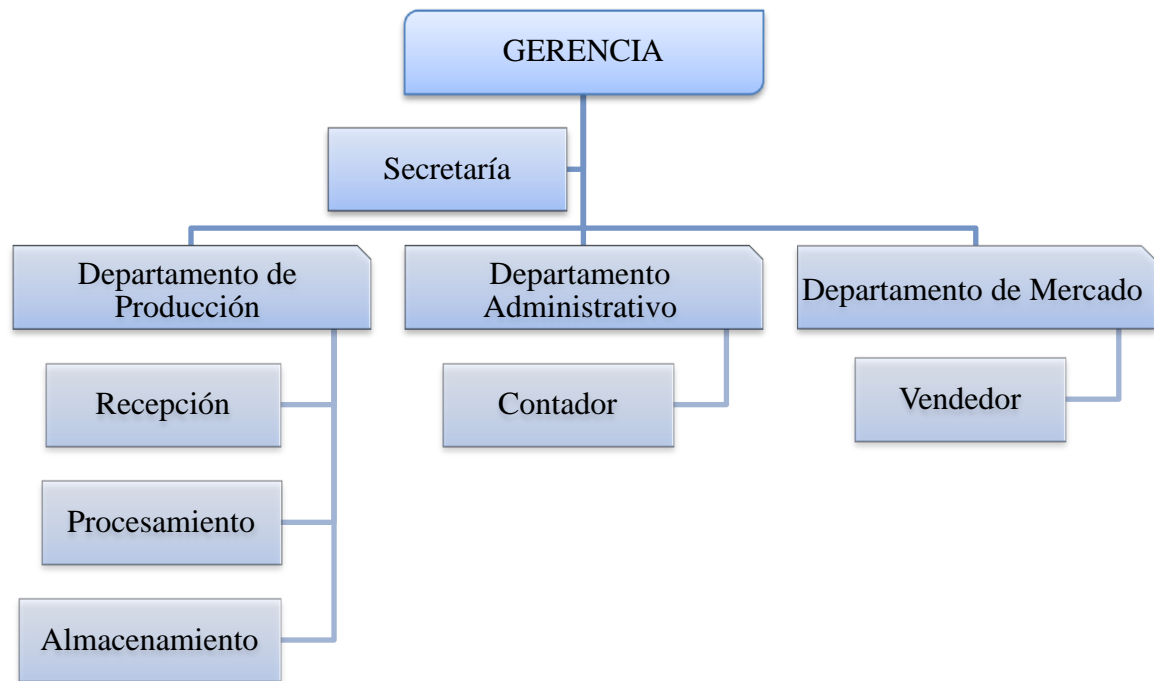
- a) Definir la estructura organizacional de acuerdo a las actividades y necesidades de la empresa estableciendo las funciones de cada puesto.
- b) Determinar la figura jurídica más conveniente para la empresa y el marco legal que regulará su funcionamiento.
- c) Determinar los requisitos necesarios para la puesta en marcha.

5.7. Estructura organizacional

El diseño de la estructura organizacional de la empresa se define a partir de los factores internos como son la capacidad de producción, así como las actividades de administración y ventas que se deben realizar dentro de la empresa para lograr la mayor eficiencia de los recursos económicos y alcanzar los objetivos planteados.

El personal de cada área trabajará de acuerdo a funciones específicas y hacia el logro de objetivos establecidos en dicha área acorde a los objetivos y metas generales.

Figura V-1.- Organización propuesta



Fuente: Elaboración propia

Las funciones genéricas que desarrollarán los diferentes puestos en la planta son las siguientes:

a) Gerente:

Tiene entre sus funciones la de sugerir las políticas de la planta y desarrollarlas, tomar decisiones y ejercer los controles de la producción. Además, es el coordinador de todas las funciones de la planta, comercialización de los productos y es el encargado de mantener la armonía entre los empleados de la empresa e implementar los planes de trabajos necesarios para el logro de los objetivos con un costo mínimo de tiempo, dinero y esfuerzo humano.

b) Secretaria:

Será encargada de atender actividades que le encomiende el gerente, así como atender llamadas telefónicas, hacer oficios, realizar la función de recepción.

c) Contador:

Será personal de apoyo a la gestión económica encargada de llevar los libros, elaborar los informes financieros, controlar y efectuar el inventario de productos e insumos.

d) Producción:

Contaría con un Jefe de producción, quien sería el encargado de supervisar a los obreros en el área de recepción, producción y almacenamiento, quien tendría que ver de manera externa con los proveedores de la maquinaria.

e) Obreros:

Los obreros realizarán las actividades de producción dentro de la empresa. Estas actividades comprenden desde la recepción del agua al ingresar a la toma de agua, procesamiento, manejo de los equipos para la purificación de agua y almacenamiento del producto terminado. Sin embargo, debido a la variedad de las operaciones, todo el personal deberá estar capacitado para realizar cualquier actividad de producción para evitar personal ocioso.

f) Mercadeo:

Contará con una persona responsable de la promoción, organización de las rutas de distribución, venta y recibo de los ingresos de ventas, colocar el producto en el tiempo y lugar adecuado para que sea adquirido por los consumidores finales.

g) Vendedores:

Los vendedores serán los encargados de llevar el producto a los intermediarios, previa negociación con el encargado de mercadeo y de acuerdo a los puntos de venta establecidos por el gerente.

EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO

6.1. Introducción

Por medio de la evaluación del proyecto, podemos tomar la decisión de invertir o no, en base a la comparación de utilidades o beneficios con los respectivos costos de producción. En la evaluación del proyecto se realiza el análisis de la rentabilidad mediante los indicadores económicos del valor neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR).

6.2. Determinación del punto de equilibrio

El punto de equilibrio, se da cuando el valor de los ingresos es igual al valor de los costos de producción, es decir, es el nivel de producción donde los beneficios por ventas son iguales a la suma de los costos fijos y variables, (Paredes Z., R., 1994).

6.2.1. Punto de equilibrio contable

El punto de equilibrio, se determina con las siguientes relaciones, (Paredes Z., R., 1994).

$$P * Q = CF + C_v Q$$

$$Q_o = \frac{CF}{P - C_v}$$

$$C_v = \frac{CV}{Q}$$

Donde:

C_v = Costo variable unitario

P = Precio

Q = Cantidad

CF = Costo fijo

CV = Costo variable

Cuadro VI-1.- Punto de equilibrio contable (Bs)

Años	Ventas	C.F.	C.V	P.E. (%)
2017	6.908.720,00	285.802,25	7.902.233,96	-28,77
2018	11.814.320,00	285.802,25	7.902.233,96	7,31
2019	14.757.680,00	285.802,25	7.902.233,96	4,17
2020	14.757.680,00	285.802,25	7.902.233,96	4,17
2021	14.757.680,00	285.802,25	7.902.233,96	4,17
2022	14.757.680,00	285.802,25	7.902.233,96	4,17
2023	14.757.680,00	285.802,25	7.902.233,96	4,17
2024	14.757.680,00	285.802,25	7.902.233,96	4,17
2025	14.757.680,00	285.802,25	7.902.233,96	4,17
2026	20.562.871,09	285.802,25	7.902.233,96	2,26
$P*Q = CF + CvQ$			Análisis Dimensional	
$Q_0 = CF / (P - Cv)$			Costo Fijo = Bs	
			P = Bs/Litro	
$Cv = CV/Q$		0,026Bs/Litro	$Cv =$ Bs/Litro	
$Peq =$		31.832.138,36Litros	7,17%	

Fuente: Elaboración propia

6.2.2. Punto de equilibrio económico (Bs)

Se calcula mediante la siguiente expresión, (Paredes Z. R., 1994).

$$PE_e = \frac{\text{Costo variable}}{\text{Ventas} - \text{Costo fijo economico}}$$

Cuadro VI-2.- Punto de equilibrio económico (Bs)

INVERSIÓN	4.976.794,26				
Factor de Actualización a 10/12	5,65				
F.C.Ctte	880.848,54				
Costos Fijos		285.802,25			
(-) Depreciación		130.451,50			
Costo de Oportunidad del K		880.848,54			
C.F. Econ		1.036.199,29			
	Año	Ventas	CF Econ	C.V.	PE (%)
	2023	14.757.680,00	1.036.119,29	7.902.233,96	15,11

Fuente: Elaboración propia

6.3. Índice de rentabilidad

6.3.1. Rentabilidad de la inversión

Este índice permite medir la rentabilidad del capital de inversión; se calcula mediante la siguiente ecuación (Encinas M., 2006).

$$R = \frac{\text{Utilidad neta}}{\text{Inversión total}}$$

$$R = 0,33$$

Esto se interpreta que por cada boliviano invertido se obtendrá 0,33 Bs.

6.4. Valor actual neto (VAN)

El VAN mide el aporte económico de un proyecto a los inversionistas. Esto significa que refleja el aumento o disminución de la riqueza de los inversionistas al participar en los proyectos.

El VAN es el excedente que queda para los inversionistas después de haber recuperado la inversión y el costo de oportunidad de los recursos destinados. Las alternativas con mayor valor actual neto (VAN) son aquellas que maximizan la riqueza.

El VAN realiza el cálculo, con la formulación matemática del valor actual neto una vez simplificada la siguiente ecuación.

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{BN_t}{(1+i)^t} - I_o$$

Donde:

BN_t = Beneficio neto del flujo en el periodo

i = Tasa de interés

n = Número de periodos

I_o = Inversión inicial

Los beneficios para el proyecto son en una tasa de interés de 12%.

$$VAN = 4.261.691,08 Bs$$

El resultado nos da un VAN mayor que cero, lo que significa que es conveniente realizar la inversión, el valor obtenido muestra que el proyecto genera ese monto luego de recuperar las inversiones y cubrir los costos de producción.

6.5. Tasa interna de retorno (TIR)

La tasa interna de retorno representa el rendimiento financiero del dinero invertido en el proyecto, es decir, cuánto de interés ganaría anualmente el proyecto sobre el monto total invertido.

Se puede señalar también que la tasa interna de retorno (TIR), es aquella tasa de actualización que, aplicada al flujo neto, logra que el VAN del proyecto sea igual a cero.

Matemáticamente se puede expresarse de la siguiente manera:

$$TIR = i_1 * (i_2 - i_1) * \left[\frac{VAN_1}{VAN_1 + VAN_2} \right]$$

$$TIR = 0,25 = 24\%$$

La tasa interna de retorno (TIR) del proyecto es de 26% resultado que muestra que la factibilidad financiera del proyecto y permite asegurar la recuperación del capital con adecuado rendimiento.

6.6. Relación de Beneficio Costo

Es un indicador que mide la dependencia que existe entre los ingresos de un proyecto y los costos incurridos a lo largo de su vida útil incluida la inversión efectuada en el momento cero y que permite tomar la decisión para elegir entre proyectos alternativos.

Para calcular la relación beneficio costo, se emplea la ecuación siguiente, (Paredes Z. R., 1994).

$$\frac{B}{C} = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{Y_t}{(1+i)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{E_t}{(1+i)^t}}$$

Donde:

Y_t = Ingresos

E_t = Egresos

Los ingresos y egresos actualizados a la tasa de interés del 12%, dan una relación de beneficio/costo de:

$$\frac{B}{C} = 1,16$$

Como la relación beneficio/costo es mayor a la unidad, el proyecto es aceptable, ya que los beneficios son superiores a los costos, confirmando la rentabilidad del proyecto.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. CONCLUSIONES

Una vez concluido el trabajo se tuvieron las siguientes conclusiones:

- Se cumplió con el diseño de una planta de tratamiento de agua potable; con la disponibilidad de la materia prima; asimismo, como el estudio de mercado, la ingeniería del proyecto y el análisis económico.
- Las directrices creadas tomando en cuenta los principios de producción más limpia, permitirán un manejo del proceso basado en la integración de estos aspectos, que en suma reflejen la responsabilidad de la empresa hacia el entorno y la importancia de lograr el cumplimiento de las diversas normativas involucradas a través de la gestión del proceso.
- Con el presente proyecto los comunarios que habitan las trece comunidades del municipio del Puente que son aledañas al río San Juan del Oro contarán con una planta para el tratamiento y potabilización de agua que cumplan los requisitos de Agua Potable NB-512.
- Se pretende llegar a los domicilios de las trece comunidades aledañas al río San Juan del Oro con agua potable con un precio económico de acuerdo a su economía.
- Se estimó la población con una proyección de 10 años con un índice anual de crecimiento del 5 %.
- Se evaluaron los parámetros de calidad de la fuente de aprovisionamiento para la planta de tratamiento de agua con un análisis de laboratorio.
- Se realizó el diseño de la planta de tratamiento y potabilización de agua para el caudal de $0,024 \text{ m}^3/\text{s}$ con una proyección de 10 años.

- La localización de la planta es en la comunidad de Carrizal, debido a la disponibilidad de materia prima (agua).
- Dado que el agua potable que se pretende producir es consumida por toda la población es que se tomó en cuenta que exista un laboratorio de control de calidad y así cumplir con las normas vigentes, en lo que respecta a la norma que se debe cumplir para que se pueda comercializar el producto.
- El monto total de inversión asciende a 7.000.000 Bs, incluyendo maquinaria, equipos, mano de obra, obras civiles y demás que contemplan la puesta en marcha de este tipo de plantas procesadoras.
- Se realizó la evaluación económica y se obtuvo un Van de 4.261.691,08 Bs con una TIR de 24%. La relación beneficio costo, nos dio un valor de 1,16 lo que indica que los beneficios son mayores a los costos.
- El resultado del presente estudio demuestra la viabilidad técnico-económica y financiera para la ejecución de la actual preposición, ya que exhibe un rendimiento económico atractivo, pudiendo soportar de posibles situaciones adversas dentro de un margen razonable, lo que constituye una buena alternativa de inversión. Asimismo, con su implementación logrará incentivar el desarrollo de las comunidades en los aspectos sociales, económicos y ambientales.

7.2. RECOMENDACIONES

- Contar con profesionales competentes que estén a cargo tanto de la producción, así como de la gestión de los sistemas integrados.
- Para lograr el cumplimiento de las directrices uno de los ejes primordiales es la constante capacitación del personal en temas como la política de la empresa, la responsabilidad particular en el éxito general de la empresa, la importancia de los distintos aspectos del proceso productivo tanto para los proveedores de los insumos y clientes así como para la sociedad en general que habita las comunidades del Municipio del

Puente; a través de esta educación y del compromiso colectivo es que se garantiza el éxito de la gestión por procesos.

- Se recomienda que el concepto de mejora continua se implante tan pronto como se inicien operaciones en la planta comenzando con el establecimiento de una política gerencial que incluya todos los aspectos ya mencionados.
- Para la planta en funcionamiento se recomienda la creación de la documentación completa que forma parte de los programas, pre requisitos de las buenas prácticas de manufactura, para extender la gestión por procesos también a los procesos auxiliares.
- Se aconseja un estudio más profundo en la seguridad industrial y los riesgos que se pueden presentar en el proceso, tomando en cuenta señalizaciones en los lugares visibles, en el ingreso, almacenamientos y otras áreas.

FUENTES DE INFORMACIÓN, BIBLIOGRAFÍA

Datos estadísticos INE Bolivia 2015 *Estadísticas Socioeconómicas del Departamento de Tarija*, de: www.ine.gob.bo

Planes Maestros Metropolitanos de Agua Potable y Saneamiento de Cochabamba, La Paz y El Alto, Santa Cruz y el Valle Central de Tarija (Bolivia) *Plantas de Tratamiento de Agua Potable :: PTAPs*, de: http://paap.mmaya.gob.bo/PlanesMaestrosMetropolitanos/SANTACRUZ/INFORME_ETA_PA_II/ANEXOS_VARIOS/Anexo%204.1.2.pdf

Espinoza. (2013, Junio 15) *Diseño-de-Planta-de-Tratamiento*, de: <https://es.scribd.com/doc/153936433/72702150-Diseno-de-Planta-de-Tratamiento#download>

Hammeken Arana, A. M., Romero García, E. (2005). *Análisis y diseño de tratamiento primario*,

de: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/hammeken_a_am/capitulo5.pdf

http://www.elaguapotable.com/tratamiento_del_agua.htm

Ramírez, F. (2015, Mayo 16). *Descripción del tratamiento del potabilización de agua-Universidad de Salamanca*, de: http://www.elaguapotable.com/tratamiento_del_agua.htm

Ministerio de Medio Ambiente y Agua Viceministerio de Agua Potable y Saneamiento Básico. *Guía Técnica de Diseño y Ejecución de Proyectos de Agua y Saneamiento con Tecnologías y Alternativas*, de: <http://saludpublica.bvsp.org.bo/textocompleto/bvsp/boxp68/guia-tecnica-agua.pdf>

Comisión Nacional del Agua, México. (2007). *Diseño de Plantas Potabilizadoras Tipo de Tecnología Simplificada* de: <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/Libros/11DisenoDePlantasPotabilizadorasTipoDeTecnologiaSimplificada.pdf>

Reglamento Nacional, Bolivia. (2004, Diciembre). *Reglamentos Técnicos de Diseño para Sistemas de Agua Potable (NB-689),* **de:** <http://www.anesapa.org/wp-content/uploads/2014/07/NB689AguaPotableREGLAMvol02.pdf>

Reglamento Nacional, Bolivia. (2004, Diciembre).

Serrano A., Jesús. *Proyecto de un Sistema de Abastecimiento de Agua Potable en Togo,* **de:** http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/5469/PFC_Jesus_Serrano_Alonso.pdf?sequence=1

Ahumada Theoduloz, Gerardo. (2006, Noviembre 30). *Diseño e Implementación Planta Piloto de Tratamiento de Agua Potable con Fines Docentes,* **de:** http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/uruguay30/CH02220_Ahumada_Theoduloz.pdf

Marrón, Cesar. (1999). *Tratamiento de agua por filtración lenta,* **de:** <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjKqMyc2PDUAhUKNSYKHVi0Cf8QFggyMAI&url=http%3A%2F%2Fwww.solucionespracticas.org.pe>

Segovia, D. Arley. (2015). *Diseño de la mejor alternativa de solución para la potabilización de agua de abastecimiento doméstico,* **de:** <http://stadium.unad.edu.co/preview/UNAD.php?url=/bitstream/10596/5915/1/1118532164.pdf>

Melo Parra, Anderson. (2016). *Diseño y Construcción de una planta piloto para el tratamiento de agua potable en el laboratorio de la Universidad Católica de Colombia,* **de:** <http://repository.ucatolica.edu.co:8080/bitstream/10983/14034/4/Proyecto%20de%20grado%20-%20Dise%C3%B1o%20y%20construcci%C3%B3n%20de%20una%20PTAP.pdf>

Capítulo VI. Sedimentadores de alta tasa, **de:** <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan/002554/02554-02.pdf>

Jiménez, Blanca., Buitrón, German. *Sedimentadores de alta tasa para efluentes secundarios de tipo biológico,* **de:**<http://www.iingen.unam.mx/es-mx/difusion/CongresoSMBB/SMBB/Libros/513.pdf>

Diseño Sedimentación. *Teoría, diseño y control de los procesos de clarificación de agua,* **de:** <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan/002320/002320-05c.pdf>

Arboleda, Jorge. (1973). *Teoría, diseño y control de los procesos de clarificación de agua,* **de:** <http://civilgeeks.com/2014/08/09/libro-de-teoria-diseno-y-control-de-los-procesos-de-clarificacion-del-agua/>